

HILFSBUCH FÜR DIE
ELEKTROTECHNIK
HERAUSGEGEBEN VON K.STRECKER

ZEHNTE AUFLAGE

BAND 1

SCHWACHSTROMAUSGABE

Hilfsbuch für die **Elektrotechnik**

Unter Mitwirkung namhafter Fachgenossen
bearbeitet und herausgegeben

von

Dr. Karl Strecker

Zehnte, umgearbeitete Auflage

Schwachstromausgabe
(Fernmeldetechnik)

Mit 1057 Abbildungen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH
1928

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.

Copyright 1928 by Springer-Verlag Berlin Heidelberg
Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin 1928
Softcover reprint of the hardcover 10th edition 1928

ISBN 978-3-642-90445-5 ISBN 978-3-642-92302-9 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-642-92302-9

Vorwort.

Die 1. Auflage dieses Buches erschien zu einer Zeit (1888), wo die Fernmeldetechnik noch wenig entwickelt war; sie konnte, ohne zu stark zu werden, auch diesen Zweig der Elektrotechnik aufnehmen. In den späteren Auflagen, bis zur 8. einschließlich (1912) wurde dieser Standpunkt festgehalten, obgleich zu diesem Zweck die Fernmeldetechnik schließlich etwas vernachlässigt werden mußte. Als die 9. Auflage erschien (1921), mußte man den Standpunkt ändern; sie erschien (der ungünstigen Zeitverhältnisse wegen) ohne die älteren Teile der Fernmeldetechnik und nahm nur das Funkwesen auf. Für die 10. Auflage aber entschloß man sich, da das ganze Gebiet zu umfangreich für einen Band war, zwei Bände herzustellen, eine Starkstrom- und eine Schwachstromausgabe, die den gleichen allgemeinen Teil enthalten sollten; eine Ausgabe, die den Starkstrom- und den Schwachstromteil neben dem allgemeinen Teil umfaßte, war zwar in Aussicht genommen, dürfte aber wegen des großen Umfanges (100 Druckbogen) wenig Gegenliebe finden. Die Starkstromausgabe ist 1925 erschienen.

Es dürfte interessieren, zu sehen, wie der Umfang des Schwachstromteiles gewachsen ist. Bei der 1. Auflage (1888) betrug der Schwachstromteil (einschließlich zugehöriger Meßkunde) rund $\frac{1}{6}$ des Buches, bei der 8. Auflage $\frac{1}{5}$; bei der 10. Auflage aber würde der Schwachstromteil die Hälfte eines Gesamtbandes ausmachen und rund 1,7mal so stark sein, wie der Starkstromteil. Es ergibt sich hieraus, daß es sich, genau genommen, nicht um eine zehnte, sondern um eine erste Auflage handelt.

Die Gliederung des Stoffes ist der der Starkstromausgabe angepaßt. Der allgemeine 1. Teil und vom 2. Teil der 1. Abschnitt (S. 1 bis 190) sind mit kleinen Änderungen der Starkstromausgabe entnommen; die Nummern der Paragraphen und Abbildungen stimmen überein. In dem Kapitel über Sammler (S. 274f.) ist gleichfalls nur wenig geändert; die Paragraphen, die im wesentlichen ungeändert geblieben sind, zeigen daher außer der Nummer, mit der sie in diesen Band eingefügt wurden, auch noch die Nummer aus der Starkstromausgabe. Es folgt ein Abschnitt über technische Messungen in der Schwachstromtechnik, der mit (1001) beginnt, um nicht Nummern aus der Starkstromausgabe zu wiederholen. Auch die Nummern der Abbildungen schließen an die letzte Nummer der Starkstromausgabe an. Ähnlich wurde der Teil, der die Schwachstromtechnik umfaßt, vierter Teil genannt, weil die Starkstromtechnik als dritter Teil bezeichnet worden ist.

Von dem neuen Teil, der mit S. 191 beginnt, schließt sich das Kapitel: Messungen an Telegraphen- und Fernsprechanlagen in der Hauptsache an das gleichbenannte Kapitel der 8. Auflage (von 1912) an; manches konnte wieder benutzt werden, doch war auch nicht wenig zu ändern. Die folgenden beiden Kapitel sind neu hinzugekommen; sie gelten den Wechselstrommessungen und tragen als kennzeichnende Unterscheidung die Namen: Messungen mit Sprachfrequenz, Messungen mit Hochfrequenz, wengleich es sich auch in den folgenden Kapiteln: Feldstärkemessungen und Messungen an Elektronenröhren, noch um Hochfrequenz handelt. Die Messungen an Elementen und Sammlern sind wieder mit den nötigen Änderungen der älteren Auflage entnommen worden. Dies gilt auch von den beiden ersten Kapiteln des folgenden Abschnitts, dem 1. des

vierten Teils; die Stromversorgung der Ämter mußte dagegen stark umgearbeitet werden, weil sich die Technik dieses Gegenstandes in vielen Punkten geändert hat.

Fast vollkommen neu ist der II. Abschnitt dieses Teils, der sich mit der Erzeugung schneller elektrischer Schwingungen beschäftigt. Obgleich er auch nahe Verwandtschaft mit dem letzten Abschnitt des Buches hat, wurde er doch als zur Stromerzeugung gehörig mit den andern Stromquellen in nähere Beziehung gebracht.

Einen breiten Raum nimmt ihrer Bedeutung entsprechend die Telegraphenleitung ein. Auf einen Abriß ihrer Theorie, der neu einzufügen war, folgt die praktische Ausführung, die Störungen und deren Bekämpfung und die besonderen Einrichtungen und Maßnahmen zur Verbesserung der Leitung.

Es folgt die Telegraphie auf Leitungen — ein einleitendes Kapitel, Apparate und Schaltungen —, deren außerordentliche Fortschritte gleichfalls zu einer Neubearbeitung nötigten, in die allerdings zahlreiche Angaben, besonders viele Abbildungen aus der 8. Auflage übernommen werden konnten. Ganz neu sind die Bildtelegraphie, von der an dieser Stelle nur ein kurzer Abriß gegeben wurde (Ergänzungen findet man an andern Stellen des Buches), und die Wechselstromtelegraphie. Den Schluß des Abschnitts bilden zwei kürzere Kapitel: Technische Einrichtung des Telegraphenamts und Telegraphenbetrieb, die in den früheren Auflagen fehlten.

Der nun folgende Abschnitt Fernsprechwesen ist der umfangreichste des Buches; er nimmt genau ein Drittel des gesamten Umfangs in Anspruch, ein Zeichen seiner großen praktischen Bedeutung. Als Einleitung dient ein Kapitel, das die Grundfragen der Fernsprechtechnik behandelt und auch auf ausländische Verhältnisse eingeht, während in den folgenden Kapiteln ausschließlich von den Einrichtungen der Deutschen Reichspost die Rede ist (ausgenommen auf S. 803/6). Diese Beschränkung war nötig, damit der Umfang des Buches nicht noch weit größer wurde. Während das oben erwähnte Kapitel über die Telegraphenleitung auch für die Fernsprechleitung gilt, kommen hier mehrere wichtige Kapitel hinzu, die der Verstärkertechnik gewidmet sind, ein ganz neuer Stoff, der noch in der Entwicklung begriffen ist. Daran schließen sich Theorie und Aufbau des Telephons und des Mikrophons und die Fernsprechapparatur, d. h. die verschiedenen Formen von Telephon und Mikrophon, die Wecker, Induktoren, Induktionsspulen, Umschalter, Kondensatoren. Es folgen die ZB-Schaltschränke und deren Schaltungen nebst den Einzelteilen der Schaltschränke. Die OB-Schränke und Schaltungen wurden weggelassen, weil sie die Leser dieses Buches weniger interessieren. Das umfangreichste Kapitel des Buches ist das nun folgende über die Selbstanschlußämter, ein Gegenstand, der schon zu einem gewissen Abschluß gekommen und doch immer noch im Fluß ist. Besondere Sorgfalt wurde auf die Darstellung der außerordentlich verwickelten Stromläufe verwandt. Kreuzungen der Leitungen wurden fast völlig vermieden; die Teile eines Apparates wurden in der üblichen Weise getrennt und jeder Teil (z. B. Anker und Wicklung) dahin gezeichnet, wo er am besten in den Stromweg einzuordnen war. Diese Stromläufe erhielten dann nach Art der Landkarten und Stadtpläne ein Koordinatensystem, allerdings ohne Netzlinien, nur durch Buchstaben und Zahlen nebst einer Zentimeterteilung an zwei Rändern angedeutet; eine Relaisübersicht gibt die Lage der Relais, ihrer Wicklungen und Kontakte im Schaltbild an. Hierdurch wird vermieden, daß der Leser mühsam die Relais und ihre Teile im Schaltbild aufsuchen muß. An dieses Kapitel schließt sich ein völlig neuer Gegenstand, der Fernsprech-Schnellverkehr.

Es folgen mehrere Abschnitte, die sich mit den Fernsprechämtern befassen; der erste davon behandelt die für ein Fernsprechamt nötigen Räumlichkeiten, die Aufstellung der Amtseinrichtungen und die Leitungen innerhalb der Ämter; der zweite die Fernsprechgebühren und ihre Ermittlung, der dritte den Betrieb auf den Ämtern. Es wurden dann noch einige kleinere Kapitel zugefügt, die sich in die größere Ordnung des Abschnitts nicht so gut einpassen ließen und

daher nur angehängt wurden: Nebenstellenanlagen, Fernsprechgehäuse, Private Fernsprechanlagen, Mehrfachsprechen, Simultanbetrieb und zum Schluß die ausichtsreiche Trägerstromtelephonie.

Der 6. Abschnitt umfaßt eine Anzahl kleinerer, in sich abgeschlossener Kapitel, von denen die meisten auch in der 8. Auflage behandelt worden sind. Überall wurde die neue Entwicklung gebührend berücksichtigt. Die älteren Kapitel sind Eisenbahntelegraphie und Signalwesen, Feuer- und Polizeitelegraphie, elektrische Signal-, Fernmelde- und Meßapparate, Haus- und Gasthoftelegraphen und elektrische Uhren, sowie der Gebäude-Blitzableiter. Neu hinzugefügt wurde ein Kapitel über Wasserschallapparate.

Der letzte Abschnitt des Buches ist dem Funkwesen gewidmet. Auf ein einleitendes Kapitel über die physikalischen Grundlagen folgen solche über die Antennen, über die Sender und ihre Schaltungen, die Empfänger nebst Schaltungen, die gerichtete Funktelegraphie, Schnelltelegraphie und Schreiberempfang, Funktelephonie und Rundfunk. Zu diesen Kapiteln gehören sachlich die an früheren Stellen eingeordneten Kapitel über Elektronenröhren, über Messungen mit Hochfrequenz, Messungen der Feldstärke und an Elektronenröhren und Erzeugung schneller elektrischer Schwingungen. Daran schließen sich noch kurze Kapitel über funktelegraphische Bildübertragung, über Zugtelephonie und über Luftstörungen.

Ein Anhang bringt die Einheits-, Formel- und mathematischen Zeichen und die Sätze des AEF nach den letzten Beschlüssen im Oktober 1927 und eine Festsetzung des CCI über die Einheit des Übertragungsmaßes.

Durch zahlreiche Hinweise im Text sind die verschiedenen Teile des Buches, in denen oft dieselben Gegenstände erwähnt und behandelt werden, zueinander in Beziehung gesetzt worden. Daneben wird das Sachregister fleißiger Benutzung empfohlen, um die Stellen aufzufinden, wo ein gesuchter Gegenstand besprochen wird.

Großer Wert wurde auf Anführung einschlägiger Literatur gelegt. Sie mag ersetzen, was alles trotz des großen Umfangs des Buches nicht ausführlicher behandelt werden konnte.

Nach Möglichkeit sind die Einheits- und Formelzeichen, sowie die mathematischen Zeichen des AEF benutzt worden. Da diese Zeichen im letzten Jahre vermehrt und zum Teil schärfer gefaßt worden sind (vgl. EMKE und Spannung U , Satz V des AEF), unterscheiden sich manche Formeln der Starkstromausgabe von den gleichen der Schwachstromausgabe (vgl. z. B. S. 145). Das Zeichen für bis: ... (vgl. S. 6) ist ziemlich durchweg angewandt worden; nur im Inhaltsverzeichnis hat man den Strich — dafür beibehalten, um dasselbe Bild wie in der Starkstromausgabe zu haben.

Die Absicht, die mit diesem Buch verfolgt wird, ist, der Gesamtheit derer zu dienen, die als Studierende, Ingenieure oder Beamte sich irgendwie mit Fragen der Schwachstromtechnik und Nachrichtenübermittlung zu beschäftigen haben. Ein stattlicher Stab hervorragender Fachgenossen, deren Beteiligung aus dem nachfolgenden Verzeichnis zu ersehen ist, hat den Herausgeber durch hingebende Mitarbeit unterstützt; meist sind es dieselben Beamten (der DRP und der Industrie), die einen großen Teil der Entwicklungsarbeit auf den von ihnen dargestellten Gebieten geleistet haben. Ihnen allen danke ich herzlich für ihre Unterstützung, durch die in erster Linie dieses Werk zustande gekommen ist.

Die Verlagsbuchhandlung hat in gewohnter Großzügigkeit das Buch mit zahlreichen Abbildungen ausgestattet; von den über 1000 Abbildungen des Bandes sind wohl 800 neu angefertigt worden. Der Verlagsbuchhandlung Julius Springer danke ich herzlich für das auch jetzt, wie während einer länger als 40 Jahre bestehenden Verbindung stets bewiesene freundliche Entgegenkommen.

Heidelberg, Dezember 1927.

Strecker.

Verzeichnis der Mitarbeiter

und der von ihnen bearbeiteten Abschnitte.

- Arndt, Kurt, Prof. Dr., Charlottenburg (Techn. Hochschule). (1094) ... (1107), (1112) ... (1119).
- Bäumler, Max, Postrat, Berlin (TRA). (1068) ... (1071), (2250) ... (2255).
- Bloch, Leopold, Dr.-Ing., Berlin (Osram G. m. b. H.). (12) ... (17).
- Böhm, Otto, Dr.-Ing., Berlin (Telefunken), gemeinsam mit Dr. Rud. Mayer, (1218) ... (1226).
- Boos, Bernhard, Dr., Physiker, Köln-Mülheim (Felten & Guillaume Carlswerk A. G.), gemeinsam mit Dr. Ulf. Meyer. (1037) ... (1049), (1052), (1053).
- Brederlow, Georg, Postrat, Berlin (OPD). (1574) ... (1585).
- Breisig, Franz, Ministerialrat Prof. Dr., Berlin (RPM u. Techn. Hochschule). (1227) ... (1250).
- Bügler, R., Direktor, Berlin-Siemensstadt (S & H, Wernerwerk). (2034) ... (2046), (2079) ... (2093).
- Büttner, Max, Dr. phil., Direktor, Berlin (Gesellschaft f. el. Zugbeleuchtung). (1108) ... (1111), (1120) ... (1143).
- Clausen, Walter, Dr., Telegraphendirektor, Dortmund (OPD). (1144) ... (1155)..
- Clausing, Artur, Obering., Berlin-Siemensstadt (S & H, Wernerwerk). (1532) ... (1548).
- Dohmen, Karl, Oberpostrat, Berlin (TRA). (1388) ... (1394).
- Feige, Artur, Dr.-Ing., Berlin (TRA). (1395) ... (1403).
- Fenner, Karl, Postrat, Berlin (TRA). (1036), (1385) ... (1387), (1975) ... (1984).
- Feuerhahn, Martin, Postrat, Berlin (TRA). (1549) ... (1573).
- Fischer, Rudolf, Dr., Postrat, Berlin (RPM). (1001) ... (1035).
- Große, Karl, Oberingenieur, Berlin-Siemensstadt (S & H, Wernerwerk). (1715) ... (1734), (1773) ... (1793), (1968) ... (1974), (2066) ... (2078).
- Gumlich, Ernst, Geh. Regierungsrat Prof. Dr., Charlottenburg. (28) ... (43), (239) ... (251).
- Günther, Ludwig, Postrat, Berlin (TRA). (1794) ... (1901).
- Hahnemann, Walter, Direktor, Berlin-Tempelhof (C. Lorenz A.-G.), gemeinsam mit Dr. Hecht. (1675) ... (1714), (2058) ... (2065).
- Harbich, Hans, Dr.-Ing., Abteilungsdirektor, Berlin (TRA), (2108) ... (2127).
- Hartz, Richard, Oberpostrat, Berlin (TRA). (1935) ... (1948).
- Hecht, Heinrich, Dr. phil., Kiel (Electroacoustic G. m. b. H.), gemeinsam mit Hahnemann. (1675) ... (1714), (2058) ... (2065).
- Hersen, Karl, Oberpostrat und Abteilungsdirigent, Berlin (TRA). (1586) ... (1613).
- Höpfner, Karl, Ministerialrat, Berlin (RPM). (1050), (1051), (1614) ... (1641).
- Jaeger, W., Geh. Regierungsrat Prof. Dr., Berlin-Friedenau. (148) ... (161), (165), (166), (179) ... (183).
- Jäger, Paul, Dr., Postrat, Berlin (TRA). (1329) ... (1347).
- Jipp, August, Ingenieur, Berlin-Siemensstadt (S & H, Wernerwerk). (1437) ... (1531), (2248).
- Kiebitz, Franz, Prof. Dr., Oberpostrat und Abteilungsdirigent, Berlin (TRA). (1054) ... (1067).

- Kleinsteuber, Paul, Postrat, Berlin (OPD). (1960) ... (1967).
 Kuhn, Oskar, Oberpostrat, Berlin (TRA). (1922) ... (1934).
 Lange, Fritz, Dr., Berlin (Telefunken). (2202) ... (2238).
 Mayer, Rudolf, Dr., Ingenieur, Berlin (Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen), gemeinsam mit Dr. O. Böhm. (1218) ... (1226).
 Meißner, Alexander, Dr., OBERINGENIEUR, Berlin (Telefunken). (2128) ... (2139).
 Meyer, Ulfilas, Dr., OBERINGENIEUR, Köln-Mülheim (Felten & Guillaume Carls-
 werk A.-G.), gemeinsam mit Dr. B. Boos. (1037) ... (1049), (1052),
 (1053).
 Möller, Hans Georg, Prof. Dr., Hamburg (Universität). (1072) ... (1093),
 (1190) ... (1217).
 Muth, Hans, OBERINGENIEUR, Rio de Janeiro (Telefunken). (1985) ... (2004).
 Neumann, Ernst, Postrat, Berlin (TRA). (1667) ... (1674).
 Orlich, Ernst, Geh. Regierungsrat Prof. Dr., Charlottenburg (Techn. Hoch-
 schule). (162) ... (164), (167) ... (178), (184) ... (238).
 Pohle, Otto, Dr. phil., OBERINGENIEUR, Berlin. (2249).
 Pohlmann, Bruno, OBERINGENIEUR, Berlin-Siemensstadt (S & H, Wernerwerk).
 (1173) ... (1189).
 Riemenschneider, Kurt, Dipl.-Ing., Prof., Karlsruhe (Staatstechnikum).
 (1156) ... (1166), (2140) ... (2201).
 Roudolf, Oskar, Oberregierungsbaurat z. D., Berlin. (2005) ... (2033).
 Ruppel, Sigwart, Prof., Dipl.-Ing., Frankfurt a. M. (2094) ... (2106).
 Scheller, Otto, Direktor, Berlin-Tempelhof (C. Lorenz A.-G.). (1167) ... (1172).
 Schmidt, Georg, Postrat, Berlin (TRA). (1348) ... (1384).
 Senger, Max, Oberpostrat u. Abteilungsdirigent, Berlin (TRA). (1300) ... (1328).
 Sittenmann, E. M., Dipl.-Ing., Direktor, Berlin (Automatische Fernsprechanlagen-Baugesellschaft). (1735) ... (1772).
 Stahl, Hans, Dipl.-Ing., Berlin (TRA). (1404) ... (1436).
 v. Steinwehr, H., Oberregierungsrat Prof. Dr., Charlottenburg (Phys.-Techn. Reichsanstalt). (75) ... (90).
 Urban, Richard, OBERINGENIEUR, Berlin-Siemensstadt (S & H, Wernerwerk).
 (2047) ... (2057).
 Wagner, Karl Willy, Präsident a. D., Dr.-Ing. e. h., Dr., Prof., Berlin (Technische Hochschule). (8), (9), (44) ... (74), (91) ... (147).
 Weichart, F., Postdirektor, Berlin (TRA). (2239) ... (2247).
 Winnig, Karl, Oberpostrat, Berlin (TRA). (1251) ... (1299).
 Wolff, Friedrich, Postrat, Berlin (TRA). (1902) ... (1921).
 Wölk, Joseph, Telegraphendirektor, Berlin (OPD). (1949) ... (1959).
 Zühlke, Richard, Postrat, Berlin (TRA). (1642) ... (1666).
 Der Herausgeber (1) . (7), (10), (11), (18) ... (27), (2107), (2256) ... (2271).

Inhaltsverzeichnis.

I. Teil. Allgemeine Hilfsmittel.

Nr.	I. Abschnitt. Tabellen, Formeln, Bezeichnungen.	Seite
1—7	Mathematik, Mechanik, Wärme Querschnitt und Gewicht von Eisen- und Kupferdrähten 1. — Tafel zur Berechnung des Widerstandes von Drähten 2 u. 3. — Um- wandlung komplexer Größen 4. — Vielfache von 0,735 5. — Mathe- matische Zeichen 6. — Näherungsformeln für das Rechnen mit kleinen Größen 7. — Tabelle der Werte von e^{-x} 8.	1
8—9	Vektorrechnung	9
10	Bezeichnungen	13
11	Englisches Gewicht und Maß	17
12—17	Nomographie	18
18—19	Statik Zusammensetzung von Kräften 24. — Trägheitsmomente 25.	24
20—21	Festigkeit.	26
22	Dichte verschiedener Körper	29
23—27	Wärme Temperaturen, Wärmeleitung 31. — Spezifische Wärme, Ver- dampfungswärme, Ausdehnungskoeffizienten 32.	31
II. Abschnitt. Magnetismus und Elektrizität.		
28—43	Magnetismus Magnetische Stoffe. Verteilung des Magnetismus. Herstellung der Magnete 33. — Äußerungen der magnetischen Kraft 34. — Magne- tisches Feld und Potential; magnetische Spannung 36. — Magne- tische Induktion; Kraftlinien. Magnetisierungskurve 37. — Mag- netische Eigenschaften von Eisensorten 41. — Hysterese 44. — Der magnetische Kreis 45. — Erdmagnetismus 47.	33
44—60	Das elektrische Feld Einheit der Elektrizitätsmenge. Elektrisches Feld 47. — Span- nung. Dielektrische Verschiebung. Dielektrizitätskonstanten 48. — Dielektrischer Energieverlust 49. — Kapazität; Formeln 51. — Ge- samtenergie des elektrischen Feldes. Mechanische Kräfte elektrischen Ursprungs 54. — Durchbruchfeldstarke und Durchschlagsspannung, Gase, Flüssigkeiten, feste Körper 55.	47
61—74	Der elektrische Strom a) Metallisch leitende Körper: Eingepagte Feldstarke. Ohmsches Gesetz 59. — Energieumsatz. Potential. Lineare Leiter. Kirchhoffsche Satze 60. — Widerstände ausgedehnter Leiter 61. — Temperatureinfluß. Spezifischer Widerstand 62. — Widerstands- materialien 63. — Erwärmung von Leitungen. Joulesches Gesetz. Thermoelektrische Kräfte 64.	59
75—90	b) Elektrolyte: Leitfähigkeit 66. — Dissoziation. Gesetz von Faraday. Überführungszahlen, Wanderung der Ionen 67. — Atom- und Äquivalentgewichte und elektrochemische Äquivalente. Ionen- beweglichkeiten 68. — Zersetzungs- und Überspannung. Polarisat- ion und Depolarisation 69. — Umkehrbare Elektroden 70. — Berechnung elektromotorischer Kräfte 71. — Elektrodenpotentiale und Zer- setzungsspannungen 72.	

Nr.		Seite
91—95	c) Isolierstoffe: Flüssigkeiten 72. — Feste Körper. Durchgangswiderstand 73. — Temperatureinfluß. Oberflächenwiderstand 75. — Wechselstromwiderstand 76.	
96—102	d) Gase: Selbstandige und unselbstandige Strömung. Elektronenrohre 76. — Röhren mit 3 Elektroden. Glimmentladung 78. — Glimmverluste. Glimmentladung in verdünnten Gasen. Lichtbogen 79. — Der Funken 80. — Der Blitz 81.	
103—111	Das magnetische Feld elektrischer Ströme Grundlegende Beziehungen. Magnetische Umlaufspannung. Vektorpotential. Lineare Leiter 82. — Berechnung magnetischer Kreise 83. — Magnetische Energie. Selbstinduktivitäten 84. — Gegeninduktivitäten. Rasch veränderliche Felder. Verschiebungsstrom 88.	82
112—123	Elektromagnetische Induktion. Grundgesetz von Faraday-Maxwell 89. — Gegeninduktion zwischen Starkstrom- und Fernmeldeleitungen 91. — Lenzsches Gesetz. Wirbelströme 92. — Einfachleitung mit Rückleitung durch die Erde; Erdkabel; Seekabel 97. — Wirkwiderstand 98. — Kraruplexer 99.	89
124—128	Energiebeziehungen im elektromagnetischen Felde; mechanische Kräfte Feld linearer Ströme. Mechanische Kräfte 100. — Energiestrom. Elektromagnetische Wellen 101. — Werte einiger Wellenlängen 102.	100
129—147	Veränderliche Ströme Wechselströme 103. — Sinusförmige Ströme. Wechselströme von beliebiger Kurvenform 104. — Harmonische Komponenten eines Wechselstroms 105. — Darstellung durch Fouriersche Reihen 106. — Polarogramm der Wechselstromgroßen 107. — Wirk- und Blindgrößen 108. — Komplexe Rechnung 109. — Allgemeine Gleichungen des Wechselstromkreises 110. — Wichtige Stromkreise 111. — Ausgleichsvorgänge 114. — Regel von Heaviside 117. — Spannungs- und Stromverteilung in Leitungen. Beharrungszustand bei Wechselstrom 118. — Ausgleichsvorgänge 119. — Kettenleiter 121.	103

II. Teil. Elektrische Meßkunde.

I. Abschnitt. Elektrische Meßverfahren und Meßvorrichtungen.

148—151	Hilfsmittel bei den Messungen Genauigkeit 124. — Einige besondere Einrichtungen an Meßvorrichtungen (Zeiger- und Spiegelablesung, Dämpfung u. a.) 125.	124
152—166	Galvanometer Arten. Schwingungsdauer. Dämpfung 126. — Empfindlichkeit. Nadelgalvanometer 127. — Tangentenbussole usw. Astasie 128. — Panzergalvanometer 129. — Drehspulengalvanometer 130. — Saitengalvanometer. Zeigergalvanometer 132. — Differentialgalvanometer 133. — Wahl eines passenden Galvanometers 134.	126
167—169	Dynamometer	135
170—171	Das Telephon als Meßinstrument für Wechselströme, Vibrationsgalvanometer.	135
172	Elektrokalorimeter Hitzdrahtinstrumente 136.	136
173—177	Elektrometer Messung mit dem Quadrantenelektrometer. Direkt zeigende Elektrometer 138. — Elektrometer für hohe Spannung 139.	137
178	Schreibende Meßgeräte	139
179	Voltameter Wasser- und Knallgasvoltameter, Metallvoltameter 140.	140
180—183	Normalelemente	141
184—195	Widerstände Herstellung und Formen 142. — Verfahren der Widerstandsmessung. Widerstand aus Strom und Spannung. Widerstandsmesser 144. — Wheatstonesche Brücke 145. — Kleine Widerstände. Zersetzbare Leiter 147. — Untersuchung der Isolierstoffe 148.	142

Nr.		Seite
196—203	Strom- und Spannungsmessung	153
	Regeln des VDE, Bezeichnungen der Instrumente 153. — Strommessung mit direkt zeigenden Apparaten. Spannungsmessung mit direkt zeigenden Apparaten 156. — Potentialmessung, Kompensationsmethode 157. — Kompensationsapparate 158. — Messung von Scheitelwerten der Spannung 159.	
204—205	Messung einer Elektrizitätsmenge	160
206—217	Wechselstromwiderstände (Induktivitäten und Kapazitäten) Selbstinduktivitäten 161. — Gegeninduktivitäten, Kapazitäten 165. — Dielektrizitätskonstante 167.	161
218—232	Wechselstrommessungen	169
	Spannung, Strom, Leistung 169. — Methoden der 3 Spannungs- und der 3 Strommesser. Dynamometer 171. — Elektrometer 173. — Hitzdrahtapparate. Weicheisenapparate. Drehfeldmeßgeräte. Spannungs- und Stromwandler 174. — Kompensationsmethode 175. — Phasenverschiebung 176. — Frequenz 177.	
233—235	Prüfung von Spannungs-, Strom- und Leistungsmessern . .	177
236—238	Aufnahme von Stromkurven und deren Analyse	178
239—251	Magnetische Messungen	181
	Magnetisches Moment 181. — Starke der Magnetisierung, Koerzitivkraft, Horizontalstärke des Erdmagnetismus, Kraftlinienmenge 182. — Feldstärke 183. — Eisenuntersuchung 184. — Bei sehr kleinen Feldstärken. Bei hoher Feldstärke 187. — Nullkurve, Kommutierungskurve, Dynamoblech 188. — Entmagnetisierung 190.	
II. Abschnitt. Technische Messungen.		
1001 ¹⁾ —1030	Messungen an Telegraphen- und Fernsprechanlagen . .	191
	Messungen an Kabeln: Prüfung der Kabel während der Fabrikation und Verlegung 191. — Messungen an Unterseekabeln. Bestimmung der Eigenschaften von Kabeln. Leitungswiderstand 192. — Einfluß des Erdstromes bei Widerstandsmessungen. Isolationswiderstand 193. — Kapazität 194. — Kabeltemperatur 195. — Doppelleitungskabel 196. — Ortsbestimmung von Fehlern in Kabeln und Freileitungen. Nebenschließungen und Berührungen. Widerstandsmessungen. Allgemeine Gleichungen 197. — Berührung eindrähtiger Leitungen und in Doppelleitungen 198. — Nebenschluß in einer Doppel- und in einer Einzelleitung, Chemische Veränderungen der Kupferader 199. — Erdfehler in einer oder mehreren oder allen Adern eines mehradrigen Kabels 200. — Berührung zweier Adern 201. — Potentialmessungen 202. — Strommessungen 203. — Unterbrechung der Leitung. Ladungsmessung 203. — Fehlerermittlung ohne Messung. Halbieren der Leitung 204. — Messungen an Erdleitungen 204. — Apparate und Hilfsmittel für die Messungen. Galvanometer 206. — Messung des Leitungswiderstandes 207. — Des Isolationswiderstandes 208. — Kurbelmeßkasten 209. — Ohmmeter. Graphische Hilfsmittel 210. — Eicheinrichtung für Fernsprechvermittlungsstellen 213.	
1031—1036	Aufsuchen, Beseitigen und Verhüten von Betriebsstörungen Aufsuchen der Fehlerstelle 215. — Untersuchungsstellen. Beseitigung und Verhütung der Betriebsstörungen 216. — Meßgeräte 217. — Gleichgewichtsstörungen 218.	215
1037—1053	Messungen mit Sprachfrequenz	219
	Allgemeine Regeln. — Brückenmethoden: Teilkapazitäten und Verlustwinkel 219. — Betriebskapazitäten von Kabeln. Selbstinduktivitäten und Widerstände 220. — Kapazitive Kopplungen im Vierer und kapazitive Erdkopplungen 222. — Frequenzen 224. — Scheinwiderstände 225. — Eigenschaften von Fernhörern 226. — Kompensationsmethoden. Komplexe Widerstände 226. — Komplexe Spannungen 227. — Betriebskapazität und Ableitung 228. — Dämpfungsmessungen mit der Eichleitung 228. — Bestimmung der Dämpfung aus den Anfangs- und Endwerten von Strom oder Spannung 229. — Streckendämpfung. Messung der Verstärkungsziffer 230.	

¹⁾ Die ersten 251 Paragraphen der Schwachstromausgabe stimmen mit denen der Starkstromausgabe gleicher Nummer im wesentlichen überein. Dort folgen nun andere Gegenstände unter (252) bis (998); darum wird hier mit Nr. 1001 fortgefahren. Vgl. Vorwort und Fußnote auf S. 190.

Nr.		Seite
	— Rechenbehelfe. Formeln für die Eigenschaften von eisenhaltigen Apparaten und Leitungen 231. — Auswertung von Meßergebnissen 232.	
1054—1067	Messungen mit Hochfrequenz Hochfrequenz und Tonfrequenz. Strommessung 234. — Spannungsmessung 235. — Leistung. Frequenz 236. — Dämpfung 238. — Phasen 239. — Analyse der Hochfrequenzströme 240. — Messungen der Eigenschaften von Schwingungskreisen. Allgemeines 240. — Kapazitäten 241. — Selbstinduktivität. Gegeninduktivität. Widerstände 242. — Antennen 243.	234
1068—1071	Feldstärkemessungen Feldstärke 244. — Empfangsstrom und Empfangsspannung 245. — Hilfssenderverfahren 247.	244
1072—1093	Messungen an Elektronenröhren Aufnahme der Kennlinien 251. — Einstellung des Heizstromes 252. — Fadentemperatur. Verteilungskurven, Absonderung von Sekundärelektronen 253. — Das elektrische Feld in Röhren mit Spiralgitter. Gasgehalt 254. — Isolationsprüfung 255. — Röhrenkapazität. Eichung des Feinkondensators 256. — Durchgriff. Messungen mit Rohrgleichrichtern 257. — Rohrgalvanometer f. Gleichstrom 258. — Messungen an Rohrgeneratoren 259. — Der Audionwellenmesser. Schwingungseinsatz und Schwingungsweite eines ruckgekoppelten Generators. Einstellen der Heizung und Ruckkoppelung eines Schwingaudionempfängers 260. — Abstimmung eines Schwingungskreises auf ein Schwingaudion. Die Zieherscheinungen 261. — Der Audionwellenmesser. Messung einer ungedämpften Welle. Abstimmung im Mitnahmebereich 262. — Feinabstimmung eines Meßkreises. Dämpfungsmessung 263.	251
1094—1107	Messungen an Elementen Innerer Widerstand. Messung mit dem Strommesser. Mit Wheatstonescher Brücke und Telephon. Verfahren mit Kondensatoren 264. — Elektromotorische Kraft und Spannung. Messung mit dem Spannungsmesser 264. — Nullverfahren. Klemmenspannung. Messung der EMK mit dem Elektrometer. Kondensatorverfahren 265. — Leistung. Äußere Einflüsse 265. — Vorschriften. Entladung mit konstanter Stromstärke. Anodenbatterien 266.	264
1108—1111	Messungen an Sammlern (Akkumulatoren) Allgemeines. Widerstand 266. — Elektromotorische Kraft und Klemmenspannung. Arbeitsmessung 267. — Spannungsverteilung 269.	266

IV. Teil. Schwachstromtechnik.

(Der III. Teil ist die Starkstromtechnik; vgl. Vorwort und Fußnote auf S. 270.)

I. Abschnitt. Gleichstrom und niederfrequenter Wechselstrom.

1112—1119	Primärelemente Vorgang im Element, Polarisation. Elemente mit flüssigem Depolarisator 270. — Elemente mit festem Depolarisator. Luftsauerstoff als Depolarisator 271. — Leclanché-Element 272. — Verbesserungsversuche. Brennstoffelemente 273.	270
1120—1143	Sammler oder Akkumulatoren A. Aufbau und Wirkungsweise. Aufgabe des Sammlers 274. — Der Bleisammler. Aufbau. Der chemische Vorgang 274. — Die elektromotorische Kraft 275. — Der innere Widerstand. Der Inhalt 276. — Wirkungsgrad. Aufbau der Zellen 277. — Tragbare Sammler. Akkumulatorenraum 278. — Isolation. Schwefelsäure 279. — Ladung und Entladung. Zeitweilige Außerbetriebsetzung einer Batterie 280. — Selbsttätige Aufladung von tragbaren Sammlern. Kurzschluß 281. — Garantie 282. — Der alkalische Sammler. Herstellungsfirmer. Chemischer Vorgang. Aufbau der Zellen 283. — Elektromotorische Kraft und Klemmenspannung 284. — Inhalt 285. — Die Bedienungs Vorschrift 286. — Technische Anwendung der Sammler 288.	274
1144—1155	Die Stromversorgung der Telegraphen- und Fernsprechanlagen 288 Grundlage der Stromversorgung 288. — Strombedarf in den wichtigsten Zweigen des Telegraphen- und Fernsprechbetriebes 289. — Drosselwiderstände 292. — Transformatoren. Die Drehumformer 293. — Pendelumformer 296. — Die Quecksilberdampfgleichrichter. Edelgasröhren 297. — Schaltung der Stromversorgungsanlagen. Ladeanlage eines Telegraphenamtes 298. — Ladeanlagen für Fernsprechämter 299. — Pufferbetrieb 302. — Beispiele für die Bemessung von Stromversorgungsanlagen 304.	288

II. Abschnitt. Hochfrequenter Wechselstrom.

- 1156—1226 Erzeugung schneller elektrischer Schwingungen 309
- Arten der Schwingungen 309. — I. Erzeugung gedampfter Schwingungen. Einfacher Marconisender. Gekoppelter Funken- sender 309. — Stoßsender, Loschfunken, Tonfunken 311. — Ver- besserungen der Loschfunkensender. Vieltonsender 313. — Sender mit rotierender Funkenstrecke bzw. mehrerer Entladestrecken 314. — Gemischte Schaltungen 315. — Partialfunkensender 316. — II. Erzeugung ungedampfter Schwingungen. Methoden der Erzeugung. A. Der Lichtbogengenerator. Lichtbogencharak- teristik 316. — Vorgang im Lichtbogen 318. — Aufbau. Schal- tung. Großenbemessung. Wellenkonstanz 319. — Vorzüge 320. — B. Die Elektronenröhre. Wirkungsweise. Gluhkathoden 320. — Raumladecharakteristik. Rohrenkonstanten 321. — Gitterstrom. Sekundärelektronen 322. — Röhrgleichung. Verstärkungszahl. Mehr- gitterrohren. Gleichrichter 323. — Verstärker. Frequenzbereich 324. — Stufenschaltung. Selbsterregung und deren Verhinderung. Rohren- generator 325. — Empfänger 326. — Überlagerung 327. — Kenn- linienformen. Rohren ohne Gitter. Theoretische Formeln 327. — Abweichungen. Ungleichmäßige Temperatur im Raumladungs- gebiete 328. — Ungleichmäßige Temperatur im Gebiet negativer Steuerspannungen 330. — Einfluß der Heizspannung im Raumladungs- gebiet 331. — Einfluß der Heizspannung bei negativen Steuerspan- nungen 332. — Verlauf des Potentials. Vermeidung des Potential- minimums 333. — Einfluß des Heizstrommagnetfeldes 334. — Rohren mit Gitter. Verteilung des Emissionsstromes auf Anode und Gitter 334. — Verteilung des Elektronenstromes bei negativen Gitterspannungen 335. — Einfluß der Sekundärelektronen 336. — Sekundärelektronen, vom Gitter ausgehend. Rohren mit Raumladungs- gitter 337. — Schwingungsgeneratoren. Die Schwing- lime 338. — Schwingungsamplituden ruckgekoppelter Generatoren 339. — Konstruktion der Schwinglinie aus der Charakteristik 340. — Die Schwinglinienschar. Der Schwingungseinsatz; Folgen, Reißen und Springen 341. — Aufschaukelgeschwindigkeit 342. — Amplituden- modulierung der Rundfunksender 343. — Leistungslinien. Wirkungs- grad. Zusammenfassung. Berücksichtigung der Gitterströme 344. — Diagramm der Gitterschwinglinien. Phasenverschiebung durch die Gitterströme und daraus folgende Frequenzänderung 345. — Die Gleichrichtung. Gleichrichterschaltungen 347. — Theorie der Audiongleichrichterkurve 348. — C. Hochfrequenzmaschinen und -umformer. Hochfrequenzmaschinen. Allgemeines 349. — Ausgeführte Maschinen 350. — Frequenzwandler. Geschicht- liches 351. Frequenzvervielfachung mit und ohne Gleichstromsätti- gung 352. — Einiges zur Konstruktion von Frequenzwandlern 353. — Umlaufreglung der Hochfrequenzumformer. Anforderung an die Umlaufreglung 353. — Aufgabe und Mittel der Umlauf- reglung. Ausgeführte Umlaufreglungen 354.

III. Abschnitt. Die Telegraphenleitung.

- 1227—1250 Theorie der Telegraphenleitung 357
- Telegraphengleichung. Ideale Leitung 357. — Allgemeine Leitung 358. — Reflexionen 359. — Telegraphengleichung bei gegebenem Spannungsverlauf. Allgemeiner Vierpol 360. — Messung der Leitungs- eigenschaften 361. — Gleichstrommessungen an Leitungen mit gleich- mäßig verteilter Ableitung. Andauernder Wechselstrom 362. — Besti- mungsgroßen. Leitungen mit erhöhter Induktivität 363. — Theoretische Regeln. Grenzfrequenz 364. — Echoerscheinungen. Viererausnutzung 365. — Eigenschaften von Telegraphen- und Fernsprechleitungen. Oberrdsische Leitungen 365. — Tele- graphenkabel 366. — Fernsprechkabel mit Luftisolation. Deutsches Normalfernkabel 367. — Kettenleiter 368. — Eichleitungen 369. — Nebensprechen. Berechnung der Form von Telegraphienströmen 370. — Angenäherte Berechnung der Telegraphiegeschwindigkeit 371.
- 1251—1299 Freileitungsbau 371
- Benennungen 371. — A. Freileitungslinien. Telegraphenbau- zeug. Hölzerne Stangen. Tragfähigkeit der Holzstangen. Stangenzubereitung 372. — Pflege der Telegraphenstangen. Eiserne Stangen 374. — Eisengittermasten. Eisenbetonmasten 375. — Stangenfüße. Isolatoren 376. — Die Stützen. Eiserne Querräger 378. — Leitungsdraht. Verzinkter Eisendraht. Kupferdraht 379.

Nr.

Seite

— Kupfermanteldrahte. Stahlaluminiumseile. Umhüllte (isolierte) Freileitungen 380. — Drahte für Fernmelde-Freileitungen 381. — Bedarf an Bauzeug 382. — B. Festigkeitsverhältnisse. Spannung u. Durchhang blanker Drahte 382. — Durchhangstafeln 384. — Durchhang von Tragseilen u. isolierten Drahten. Beanspruchung eines Stützpunktes 385. — Senkrechte und wagrechte Belastung einer Stange 386. — Der Winddruck. Zusammengesetzte Belastung 387. — Zug des Drahtes in Winkelpunkten. Zulässiger Stangenabstand in Krümmungen. Stange mit Anker oder Strebe. — Gekoppelte Stangen 388. — Der Spitzbock oder A-Mast. Doppelgestänge 389. — C. Bauarbeiten. Rechtliche Verhältnisse. Auskundung 390. — Herstellen und Verstärken des Gestanges 391. — Erhöhung der Standfestigkeit im Boden. Gruppierung der Leitungen. Induktionsschutz 393. — Herstellen der Drahtleitung 394. — Spannungs- und Durchgangsregelung 395. — Binden des Leitungsdrahtes. Stützpunkte auf Dachern. Verhinderung des Tonens der Leitungen 396. — Untersuchungsstellen. Windverstärkungen; Linienfestpunkte. Anwendung von Luftkabeln 397. — Anbringen der Tragseile. Aufhängen des Luftkabels. Sicherungsmittel 398.

1300—1328 Versenkte Leitungen 398

Grundlagen der Konstruktion 398. — Die Kabelkanäle. Leiter. Isolation 399. — Verseilung. Äußerer Schutz. Telegraphenkabel 400. — Übersee-Telegraphenkabel. Die Eigenschaften von Seekabeln 401. — Fernsprechkabel für Anschlußleitungen. Fernsprechkabel für Freileitungen 402. — Wetterbeständige Abschlußkabel. Abschlußkabel für Ämter. Kabel für Einführungszwecke. Kabelfabriken 403. — Herstellen versenkter Linien. Rechtliche Verhältnisse, Auskundung. Verteilungsmethoden 404. — Legen von Erdkabeln 405. — Auslegen von Flußkabeln 406. — Auslegen von Seekabeln 407. — Kanäle für Kabel 409. — Einziehen und Herausziehen von Röhrenkabeln 411. — Verbindungs- und Verteilungsmuffen 412. — Spleißung 413. — Abschluß der Kabel. Verzweigerichtungen 414. — Endverzweiger 415. — Verbindung von Kabeln mit oberirdischen Leitungen 416. — Zusammenstellung isolierter Drähte 417.

1329—1347 Beeinflussung der Fernmeldeleitungen durch Starkstrom- und Hochspannungsanlagen 419

Überblick 419. — Stromübergang. Unmittelbarer Stromübergang 420. — Mittelbarer Stromübergang. Erzeugung von Erdpotentialen. Elektrolytische Zerstörung von Kabelmänteln 421. — Influenz. I. Einphasenanlagen (Wechselstrombahnen). Elektrische Kopplung; Gegenkapazität, Ladespannung und Ladestrom 423. — Schutzmaßnahmen 424. — II. Drehstromanlagen. Regelbetrieb der Überlandnetze 425. — Erdschluß 426. — Induktion. I. Einphasenanlagen. Magnetische Kopplung. Gegeninduktivität 426. — Der Fahrstrom und seine Komponenten 428. — Der Schienenstrom und seine Schutzwirkung. Induzierte Ströme in Kabelmantel und -adern 429. — Schutzschaltungen an Fernmeldeleitungen 430. — Schutzmaßnahmen an der Fahranlage 431. — Kurzschlüsse in der Fahranlage. Oberschwingungen 433. — II. Drehstromanlagen. Regelbetrieb. Doppelerdschluß 434. — III. Gleichrichterbahnen. Welligkeit 435.

1348—1384 Technische Maßnahmen zum Schutze der Fernmeldeleitungen gegen Starkstromanlagen 435

Art der Störungen; gesetzliche Bestimmungen. — Maßnahmen zum Schutze der Fernmeldeleitungen der DRP gegen Berührung mit Starkstromanlagen. Maßnahmen an den Außenleitungen. Übersicht 435. — Einteilung der Starkstromanlagen. Allgemeine Bestimmungen. — a) Maßnahmen beim Neubau von Starkstromanlagen. Grundlegende Vorschriften. Kreuzungen mit oberirdischen Hochspannungsleitungen und oberirdischen Fernmeldeleitungen. Bruchsichere Führung der Hochspannungsanlage 436. — Geerdete Schutznetze. Verkabelung der Fernmeldeleitungen 440. — Kreuzungen zwischen oberirdischen Niederspannungsleitungen und oberirdischen Fernmeldeleitungen; zwischen den Fahrdrähten elektrischer Bahnen und oberirdischen Fernmeldeleitungen 441. — Kreuzungen und Näherungen zwischen Starkstrom- und Schwachstromkabeln. Mittelbare Gefährdung der Fernmeldeleitungen durch Hochspannung 442. — b) Maßnahmen beim Neubau von Fernmeldeleitungen. Kreuzungen zwischen oberirdischen Hoch- und Niederspannungsleitungen und oberirdischen Fernmeldeleitungen. Verkabelung. Erdungsbügel. Schutznetze 443.

Nr.		Seite
	— Geerdete Langsdrahte. Isolierter Draht. Kreuzungen und Näherungen innerhalb der Gebäude. Mittelbare Gefährdung. — Maßnahmen in den Betriebsstellen. Strom- und Spannungsschutz 444.	
1385—1387	Störung der Fernmeldeleitungen durch andere Fernmeldeleitungen	445
	Arten der Störung. Starke der Störungen. Induktionsschutz 445.	
1388—1394	Belastung von Kabeln mit Selbstinduktivität und ihre Bauausführung	448
	Fernleitungskabel 448. — Fernkabel 449. — Pupinspulen 450. — Abgleichverfahren zur Beseitigung von Induktionsstörungen 453. — Kabellegung 454. — Krarupkabel 455. — Übersicht über die Meßgeräte für Messungen an Pupinkabeln 456.	
1395—1403	Anpassung von Übertragern an Fernleitungen	457
	Der Ringübertrager in Fernleitungen. Unterschied zwischen Starkstromtransformator und Ringübertrager 457. — Anforderungen an den Ringübertrager. Theorie der Anpassung 458. — Bemessung der Übertrager 459. — Einwirkung auf den Scheinwiderstand des Kabels 461. — Zusätzliche Dämpfung des Ringübertragers 462. — Messung der Anpassung und zusätzlichen Dämpfung 463. — Symmetriemessungen gegen Nebensprechen 464.	
IV. Abschnitt. Telegraphie auf Leitungen.		
1404—1436	Allgemeine und grundsätzliche Fragen der Telegraphie. . .	466
	Begriffsbestimmung. Telegraphenalphabet 466. — Übertragung. Das Gegensprechen 467. — Frequenzbereich der Telegraphie. Beschränkung des Frequenzbereiches nach oben 468. — Beschränkung des Frequenzbereiches nach unten. Telegraphiergeschwindigkeit 469. — Bestimmung der ankommenden Zeichenstromkurve. Thomsonkabel. Langenmaßkurven 470. — Allgemeine Leitung 471. — Stromkurven auf Pupin- und Kunstkabeln 472. — Zweite Methode zur Berechnung der Telegraphiergeschwindigkeit 473. — Frequenzabhängigkeit der elektrischen Bestimmungsgrößen. Stromabhängigkeit belasteter Leitungen. Seerückleitung. Berechnung von Telegraphenleitungen 474. — Das Vibrationsrelais. Ausnutzung einer Telegraphenleitung 475. — Reihentelegraph. Mehrfachapparate. Ausnutzung einer Fernsprechleitung für Telegraphie 476. — Mitbenutzung einer Fernsprechleitung durch die Telegraphie. Wirtschaftliche Betriebsweise der Telegraphenapparate. Apparate ohne dauernden Gleichlauf 477. — Einheitsapparat. Netzgestaltung. Wirtschaftliche Entwicklung der Telegraphie 478. — Entwicklungsmöglichkeiten. Zusammenarbeit mit der drahtlosen Telegraphie. Zusammenarbeit des Telegraphen mit dem Fernsprecher. Angestrebte internationale Vereinbarungen 479.	
1437—1492	Telegraphenapparate	480
	Allgemeines. Stromarten 480. — Die Alphabete. Das Morsealphabet 480. — Das Kabelalphabet. Recorder. Hughesapparat. Das Ferndruckeralphabet. Das Fünferalphabet 481. — Dreieralphabet. Telegraphiergeschwindigkeit 482. — Apparate. Sender. Empfänger 482. — Lochstreifen 483. — Verteilerscheibe. Mehrfachtelegraphen 484. — Gleichlauf der Apparate 485. — Typendruck 487. — Zahlenwechsel. Antriebe 488. — Magnetsysteme. Relais. Neutrale und polarisierte Magnete. Empfindlichkeit der Elektromagnete 488. — Kontaktdruck. Die Umschlagszeit. Das Pellen. Energieverbrauch und Scheinwiderstand 489. — Drehspulen. Ausgeführte Elektromagnete und Relais 490. — Aufnahme der Stromkurve. Summerrelais 493. — Verschiedene Telegraphensysteme. Handsender 493. — Morseempfänger 494. — Der Klopperapparat. Siemensches Schnellmorsesystem 495. — Wheatstonesystem. Creedsystem 496. — Der Undulator. Recordersystem 497. — Drehrelais. Hughessystem 498. — Der Schnelltelegraph von Siemens & Halske 499. — Der Tastenschnelltelegraph. Der Pendeltelegraph. Das Baudotsystem 502. — Der Mehrfachtelegraph der Western Union Co. Amerikanische Drucktelegraphen mittlerer Leistung 503. — Der Ferndrucker. Ältere Telegraphen von Bedeutung. Chiffriermaschinen 504. — Hilfsapparate. Galvanoskop. Milliamperemeter. Das Differentialgalvanometer. Umschalter, Stöpsel-, Kurbel- und Klinkenschalter 505. — Einzelanrufer. Blitzableiter. Sicherungen. Induktanzrollen. Kondensatoren 506. — Künstliche Widerstände aus Manganin oder Konstantandraht 507.	

Nr.		Seite
1493—1524	Telegraphenschaltungen Einzel- und Doppelleitung 507. — Schaltungen für den Einfachbetrieb. Morse und Klopfer 507. — Hughesapparat. Relais 508. — Übertragungen. Funkenschutz. Erdstromschaltungen 509. — Uhrenzeichen. Erdtelegraphie 510. — Schaltungen für Mehrfachbetrieb. Arten der Mehrfachtelegraphie. Künstliche Leitung 510. — Differentialschaltung 511. — Brückenschaltung 512. — Doppelbrücke. Vergleich der Differential- und der Brückenschaltung. Andere Methoden für das Gegensprechen. Doppelsprechen. Doppelgegensprechen 513. — Kabelschaltungen. Thomsonkabel. Der Abschlußkondensator. Maxwellerde. Der induktive Nebenschluß 514. — Maxwellketten. Curbsender. Schnelltelegraphensender. Krarupkabel. Pupinkabel 515. — Fliegender Nebenschluß. Hilfsstromschaltung. Die Guldstadtschaltung. Telegraphierverstärker 516. Seiteninduktionsschutz 517.	507
1525—1531	Elektrische Bildübertragung Umsetzung des Bildes in Strom. Umsetzverfahren 518. — Umsetzung des Stromes in Bild. Synchronismus. System Korn. Bell Telephone Co. Carolus-Telefunken-Siemens 519.	518
1532—1548	Wechselstrom-(Tonfrequenz)Telegraphie Historischer Überblick 519. — Neuere Entwicklung 520. — Das Prinzip der Wechselstromtelegraphie. Sender 521. — Empfänger 523. — Inbetriebsetzung. Fabrikationsmäßige Ausföhrung der Sender- und Empfängerapparaturen 524. — Staffelbetrieb 527. — Duplexbetrieb. Gemeinsame Erzeugung der Trägerschwingungen für mehrere Leitungen 528. — Wahl der Trägerfrequenzen. Frequenzspektrum 529. — Betriebsforderung hinsichtlich des Frequenzbandes 531. — Störung der Nachbarketten. Verkleinerung der Störungen auf Nachbarketten. Die Bemessung der Gleichrichtapparat 532. — Zwölf-fachtelegraphie 533.	519
1549—1573	Die technische Einrichtung des Telegraphenamtes Apparate. Allgemeines. Ausstattung und Aufbau. Anrufschranke 534. — Empfangsapparate für Morsebetrieb. Aufstellung 535. — Gruppenumschalter 536. — Batteriespannungen. Hauptumschalter. Die Unterhaltung und Wartung. Telegrammaufnahme und -abfertigung. Apparatlager und Werkstätten 537. — Gebäude. Raumbedarf 537. — Bauentwurf. Betriebssäle 539. — Die übrigen Betriebsräume. Die Telegrammannahme 541. — Verwaltungsräume. Tragfähigkeit. Licht und Kraft 542. — Wasser. Uhren. Fernsprecher. Treppen und Aufzüge 543. — Saalbahnen 544. — Verteilstellen 546.	534
1574—1585	Telegraphenbetrieb Organisation des Telegraphenbetriebs bei den Ämtern. Sammel-, Verteil- und Leitgeschäft 546. — Störungsdienst. Apparatdienst und Telegraphierleistung 547. — Entwicklung des Telegraphenverkehrs 549. — Regelung des Zu- und Abflusses der Telegramme im örtlichen Verkehr. Pressedienst. Betriebsforderung an einen modernen Telegraphenapparat 550. — Telegramme zu ermaßigten Gebühren. Pressetelegramme. Brieftelegramme. Zurückgestellte Telegramme 551. — Wochenendtelegramme. Kabel- und Funkbriefe 552.	546
V. Abschnitt. Fernsprechwesen.		
1586—1613	Grundfragen der Fernsprechtechnik 1. Umfang und Gebiete der Fernsprechtechnik. Verbindung zweier Teilnehmer. Mehrere Teilnehmer. Vermittlungsstelle. Fernsprechnetze 553. — Fernverkehr. Wirtschaftlichkeit. Apparatbau. Leitungsbau 554. — Schaltungstechnik. Betriebstechnik 555. — 2. Neuzzeitliche Entwicklung. Selbstanschluß. Fernverkehr 556. — 3. Anlage der Netze. Betriebssicherheit. Kabelanlagen 557. — Planung der Netze. Knotenämter 558. — 4. Technische Einrichtungen. Sprechstellen. Nebenstellen 559. — Handämter 560. — Selbstanschlußämter. Schrittwählersysteme. Maschinenwählersysteme 561. — Relaisysteme. Vorwähler und Anrufsucher 562. — Die Einteilung und Anordnung der Gruppen 563. — Speicherung. Getrennte Einstell- und Sprechwege 564. — Die halb selbsttätigen Systeme. Fernämter 565.	553
1614—1641	Verstärkertechnik I. Anforderungen an Verstärkerröhren im Fernsprechweitverkehr. Allgemeines. Die Anforderungen an Verstärkerröhren	566

Nr.		Seite
	566. — Die Verstärkungsziffer 567. — II. Verstärkerschaltungen. Verschiedene Schaltungen. Der zweiwegige Einröhrenzwischenverstärker 568. — Der Zweiröhrenzwischenverstärker 569. — Pfeifgrenze. Verluste 570. — Sprachfrequenzen 571. — Doppelbrückenverstärker 572. — Kopplungswechsler. Der Gütegrad. Vierdrahtschaltung 573. Vergleich der Zwei- und der Vierdrahtschaltung. Umschaltverfahren 574. — III. Leitungsnachbildungen. Anforderungen. Nachbildungsschaltungen 575. — Pulinleitungen 576. — Verteilung der Verstärker 580. — IV. Verzerrung und Entzerrung in Verstärkerleitungen. Forderungen 580. — β -Entzerrung. Einschwingvorgänge 581. — Echo 583. — Nebensprechen 584. — Ungleichmäßigkeit des Wellenwiderstandes der Leitungen. Zulässige Grenzen der Ungleichmäßigkeit 585. — V. Betriebsmaßnahmen. Messungen an Verstärkern und Verstärkerleitungen 587. — Rufen in Verstärkerleitungen 588.	
1642—1666	Große Fernsprechverstärkerämter Beziehung zu den Leitungen 589. — Verstärkerämter der alten Bauart. Leitungsführung. Kabeleinführung. Der Hauptverteiler 589. — Verstärkergestell 590. — Nachbildungsgestell. Das Zusatzgestell. Der Klinkenumschalter 591. — Der Prüfschrank. Sicherungsgestell 592. — Abgleichsatz 593. — Stromlaufe. Sprechstrom. Rufstrom. Anruf der Verstärkerämter 594. — Rufprufeinrichtung. Abfrage- und Mithöreinrichtung 595. — Messen der Verstärkungsziffer 596. — Meßschaltungen 597. — Unterbringung und Aufbau eines Verstärkeramtes. Gebäude 597. — Betrieb. Einordnung und Pflichten. Messungen und Prüfungen 598. — Verstärkerämter neuer Bauart. Leitungsführung 598. — Gestelle und Apparate 599. — Stromversorgung. Batterien und Maschinen 600. — Strombedarf 601.	589
1667—1670	Kleine Verstärkerämter. Allgemeines. Der Zweiröhrenzwischenverstärker 601. — Der Zwischenverstärkerschrank. Aufbau eines kleinen Verstärkeramtes 604.	601
1671—1674	Die Schnurverstärkereinrichtungen Allgemeines. Kleine Schnurverstärkeranlagen. Große Schnurverstärkereinrichtungen 606. — Schlußbemerkungen 610.	606
1675—1705	Theorie und Aufbau des Telephons Aufgaben des Telephons. Der Energieumwandlungsprozeß. Der Wirkungsgrad 610. — Frequenzbereich 611. — Die elektromechanische Theorie des Telephons. Elektromechanischer Schwingungsvorgang. Resonanzkurve 611. — Elektromechanischer Wirkungsgrad. Dämpfung. Rückwirkung des Ankers 612. — Ersatzschema. Diagramm des Telephons 613. — Zweites Resonanzdiagramm. Gütekonstante 614. — Kreisdiagramm bei Erregung außerhalb der Resonanz 615. — Auswertung des Kreisdiagramms 616. — Die Gütekonstante K 617. — Analytische Lösungen 618. — Der mechanisch-akustische Aufbau des Telephons. Die mechanisch-akustische Aufgabe 618. — Der Tonraum 619. — Der mechanisch-akustische Wirkungsgrad. Resonanzkurve 620. — Das Sprechtelefon 621. — Grundlagen des Baues 622. — Lautsprecher. Aufgabe. Der elektromechanische Teil. Der mechanisch-akustische Teil 623. — Der mechanisch-akustische Wirkungsgrad. Gesamtdämpfung. Strahlungsdämpfung. Trichter. Die Kopplung. Der trichterlose Lautsprecher 624.	610
1706—1714	Theorie und Aufbau des Mikrophons. Aufgabe. Aufbau 624. — Der akustisch-mechanische Teil. Der mechanisch-elektrische Teil. Verstärkerwirkung 625. — Frequenzbereich. Der Mikrophonkontakt als Wechselstromerzeuger. Der elektromechanische Verstärker 626. — Der Verstärkungsgrad 627.	624
1715—1734	Fernsprechapparate Der Fernsprecher (Telephon). Bellsches Telephon 627. — Siemensches Telephon. Das Dosentelephon. Das Ohrtelefon 628. — Eigenschaften der Fernhörer. Magnetische Verbesserungen. Weichmagnet. Sprachgüte 629. — Lautsprecher. Das Mikrophon. Kohlenkugel- und Kohlenkörnner-Mikrophon. Mikrophonkapseln 630. — Starkstrommikrophon 631. — Mikrotelefon. Hilfsapparate, Wecker 632. — Eigenschaften von Wechselstromweckern 633. — Induktoren 634. — Eigenschaften der Induktoren. Induktionsspulen 635. — Eigenschaften der Induktionsspulen. Haken- und Gabelumschalter 636. — Kondensatoren. Eigenschaften von Kondensatoren der RTV 637.	627

Nr.		Seite
1735—1758	Die Schaltschranke	637
	I. Die Teilnehmer-(A)-Schranke. Allgemeines 637. — Der Arbeitsplatz der Teilnehmerschranke 638. — Das Klinkenfeld der Teilnehmerschranke. a) Das Abfragefeld. b) Das Teilnehmervielfachfeld 639. — c) Das Vielfachfeld für abgehende Leitungen 641. — II. Die Verbindungs-(B)-Schranke. Allgemeines. Richtungsbetrieb 641. — Anrufbetrieb. Dienstleitungsbetrieb 642. — Verbindungsleitungsverkehr. Der Arbeitsplatz der B-Schranke 643. — Das Klinkenfeld der B-Schranke 644. — III. Die Fernvermittlungsschranke. Der Verbindungsverkehr 645. — IV. Die Schnellverkehrsschranke. Allgemeines. Der Arbeitsplatz und das Klinkenfeld der Schnellverkehrsschranke 645. — V. Die Fernschranke. Meldeverfahren. Herstellung der Fernverbindung. Durchgangsverkehr 647. — Arbeitsplatz und Klinkenfeld des Fernschranks 25 648. — VI. Die Bauart der Vielfachumschalter. Zahl der Arbeitsplätze 649. — Aufbau des Schrankes 650. — Unterbringung der Apparate und Kabel 654.	
1759—1772	Die Schaltungen der Handvermittlungsämter	655
	Die Anrufschaltungen. Anruf durch Gleichstrom 655. — Der Wechselstromanruf 657. — Die Herstellung der Verbindung. Abfragen des Teilnehmers. Die Besetzprüfung 658. — Die Rufschaltungen 660. — Der automatische Ruf 661. — ZB-Speisung und Schlußzeichengabe. Mikrophonspeisung 663. — Das Schlußzeichen. Schaltungen ohne Schlußzeichenrelais 664. — Besondere Schlußzeichenrelais 665. — Das Schlußzeichen durch Wechselstrom 666. — Verbindungsleitungsverkehr. Die Schlußzeichengabe 667. — Besetzkontrolle an den Klinken der abgehenden Verbindungsleitungen mit Anrufbetrieb 668. — Die Schaltung der Signalklinken 670. — Gesprächszählung. Die Zählschaltungen 670.	
1773—1793	Einzelteile für Schaltschränke	671
	Fallklappen 671. — Ruckstellklappe. Schauzeichen. Drosselschauzeichen 672. — Drehschauzeichen. Glühlampen 673. — Lampenhalter. Lampenstreifen. Klinken. Vielfachklinkenstreifen 674. — Die Doppelanschlußklinke. Abfragestopfel. Verbindungsstöpsel. Stöpselschalter 675. — Schnüre. Schalter 676. — Kniehebelschalter. Drucktasten. Magnetschalter 677. — Blitzableiter und Sicherungen 681. — Batteriesicherungen 682.	
1794—1901	Selbstanschlußämter	682
	I. Einführung. Zweck 682. — Geschichtliches. Statistisches. Grundgedanke. Beispiel. Weitere Aufgaben des Wählers 683. — Wähler mit zwei Bewegungsrichtungen. Beispiel. Ämter mit 100 bis 1000 Anschlüssen. Gruppenwähler 684. — Ämter mit mehr als 1000 Anschlüssen. Vorwähler 687. — II. Vorwähler 688. — Gestaffelte Ausgänge der I. VW. Anrufsucher 689. — Abschaltung. Signale für den Teilnehmer. Signale für das Amtspersonal. Übersichtlichkeit und Austauschbarkeit der Wähler usw. 690. — Halbselbsttatiger Betrieb 691. — Überlagerung der Sprechstromwege mit Gleichstrom. Darstellungsweise 692. — II. SA-Einrichtungen der DRP. A. Einzelteile. Drehwähler 692. — Hebdrehwähler 694. — Relais 698. — Verzögerungsrelais. Rahmen, Gestelle 699. — Betriebsspannungen, Sicherungen 700. — B. Schaltungen. Schaltungsaufgaben 700. — Sprechstellen 703. — Kleines SA-Amt. Schaltvorgänge 705. — Vorzeitige Auslösung 708. — Verzögerungsrelais. Funkenlöschung. Nebenstellenspeisung 709. — Hilfseinrichtungen 710. — Mehrfachanschlüsse 712. — Großes SA-Amt. Allgemeines. I. Vorwähler 713. — II. Vorwähler 715. — I. Gruppenwähler 716. — II. Gruppenwähler 717. — Leitungswähler 719. — Zahlung und Auslösung 724. — Vorzeitige Auslösung 725. — Verzögerungsrelais 726. — Funkenlöschung. Überlagerung der Sprechstromwege mit Gleichstrom. Verkehrsmessungen 727. — Staffellung der Ausgänge der I. VW. Abschaltung der I. VW 730. — Abschaltung der II. VW. Durchdrehen 731. — Anschlüsse mit Nebenstellen. Hilfseinrichtungen 732. — Mehrfachanschlüsse 736. — C. Wählerzahlen, Wählergruppen, Verteilung. Wählerzahlen 739. — Wählergruppen, Gruppenverbindungen 743. — Verteilung der Wählerausgänge 744. — D. Ortsfernsprechnetze mit mehreren SA-Ämtern. Netze mit mehreren SA-Ämtern. Vollamter 746. — Hilfsämter 748. — Stromstoßübertragung 749. — Überbrückungsschaltung für Hilfsämter 750. — E. Ortsfernsprechnetze mit gemischtem Betrieb. Allgemeines 751. — Verkehrsrichtung SA-Amt-Handamt. Grundsätzliches. Schaltungsbeispiel 752. — Verkehrsrichtung Handamt = SA-Amt.	

Nr.		Seite
	Grundsätzliches 754. — Dienstwähler. Zahlengeber, Tastensätze, Tastentische 755. — Schaltungsbeispiel 761. — Drangelampe. Warteinrichtung 764. — Zahlengeber für vier oder sechs Stromstoßreihen. Unterdrückung von Stromstoßreihen. Unterbringung der Zahlengeber im SA-Amt 765. — F. Verkehr nach Dienststellen. Gebührenfreier Verkehr nach Dienststellen 765. — G. Verkehr vom Fernamt und vom Schnellverkehrsamt nach SA-Teilnehmern. Verkehr des Fernamts. Grundsätzliches. Betriebsbedingungen. Schaltungsgrundsätze 767. — Fernvermittlungsplatz für SA-Ämter. Allgemeines 770. — Schaltungsbeispiel 771. — Verkehr über Wähler. Allgemeines. LW für den Orts- und Fernverkehr, Bauart. Schaltungsbeispiel für eine Ortsverbindung 776. — Schaltungsbeispiel für eine Fernamtsverbindung 782. — Verkehr des Fernamts mit kleinen SA-Ämtern 787. — Verkehr über Tastenplätze. Verkehr der Fernämter älterer Bauart nach SA-Teilnehmern. Verkehr zur Nachtzeit 788. — Verkehr des Schnellverkehrsamtes 789. — Fernsprechnetzgruppen 790. — Wirkungsweise 791. — Unmittelbarer Verkehr zwischen benachbarten FNG. Fernweitverkehr. Vorteile und Nachteile 793. — H. Betrieb. Betriebsüberleitung 794. Amtspflege. Störungsdienst 795. — J. Wähler für besondere Zwecke. Zwangsläufig gesteuerte Wähler. Wähler im Fernamt. Wähler für Überwachungszwecke 796. — Wähler zur Herstellung von Meßverbindungen. Wähler in Nebenstellenanlagen 798. — Mischwähler 800. — Mischwähler im Dienstleitungsverkehr 801. — III. SA-Einrichtungen des Auslandes. Allgemeines 802. — Der Schaltungsaufbau 805.	
1902—1921	Der Fernsprechschnellverkehr	807
	Allgemeines. Zweck und Anwendungsgebiet. Grundzüge des Schnellverkehrs 807. — Gründe für die Einführung des Schnellverkehrs 808. — Der Schnellverkehrsbetrieb. Allgemeines 810. — A. Die technischen Einrichtungen für den Schnellverkehr. Die Schnellverkehrsämter 810. — Die Seitenämter 812. — B. Die Ausführung der Schnellverkehrsverbindungen. Die Tätigkeit der Beamtin am Schnellverkehrsplatz 813. — Das Leistungsmaß der SV-Beamtin 815. — C. Sonstige Einrichtungen. Die Kontroll-einrichtungen bei den Seitenämtern. Nachtverkehrseinrichtungen 816. — Die Schnellverkehrskabel 817. — D. Die Schnellverkehrsschaltungen. Grundsätzliches 817. — Überblick über die Schnellverkehrsschaltungen. Schaltungen der Zubringerleitungen 818. — Schaltungen der von den SV-Ämtern abgehenden Leitungen 819. — Ausgeführte Schnellverkehrsschaltungen. Verbindung ZB-Seitenamt (Western)—SV-Amt — eigenes ZB-Seitenamt. (Western, DL-Betrieb) 820. — Verbindung SA-Seitenamt (3adrig) — SV-Amt — eigenes SA-Seitenamt (3adrig) 824. — Verbindung SA-Seitenamt (2adrig) — SV-Amt — fremdes SA-Seitenamt (2adrig) 826. — Verbindung vom SV-Amt über einen Zahlengeberplatz eines fernen SV-Amtes (2adrig) nach einem fremden Hand-Seitenamt 830. — Kontrollstelle in einem SA-Seitenamt 832.	
1922—1934	Einrichtung der Fernsprechämter für Hand- und Selbstanschlußbetrieb	832
	Lage des Vermittlungsamts 832. — Bauliche Anforderungen an die Gebäude für Fernsprechzwecke 833. — Zahl und Größe der Räume 835. — Lage der Betriebsräume, bauliche Anforderungen 836. — Lage und Größe der Nebenräume 840. — Anordnung der technischen Einrichtung in Orts-, Wähler- und Fernsalen. Aufstellung der Umschalter in Ortsämtern für Handbetrieb 841. — Abmessungen der Umschalter, Fernschränke, Tische, Wählergestelle usw. 842. — Aufstellung der Wählergestelle usw. in SA-Ämtern 847. — Aufstellung der Umschalteinrichtungen für den Fernverkehr 855. — Anordnung von Gestellen in Verteilerräumen 859. — Anschlußleitungen und Fernleitungen innerhalb der Ämter. Anschlußleitungen 863. — Fernleitungen 866. — Kabel und Drahte 868.	
1935—1940	Fernsprechgebühren	869
	Allgemeines. Ortsverkehr. Aufzeichnung der Ortsgespräche 869. — Fernverkehr. Aufzeichnung der Ferngespräche. Die Einziehung der Gebühren 870.	
1941—1948	Betrieb der Fernsprechämter	871
	Gliederung. Verlauf und Umfang des Verkehrs 871. — Verkehrsermittlungen 872. — Verkehrsbewertung 873. — Platzbesetzung. Betriebsüberwachung 874. — Betriebsverfahren. Im Ortsamt 875. — Im Fernbetrieb 876.	

Nr.		Seite
1949—1959	Nebenstellenanlagen Wesen und Einteilung 878. — A. Schrankanlagen. Kleine Anlagen mit Speisung aus der Amtsbatterie 879. — Aufladung der Schrankbatterie über die Amtsleitungen 880. — Allgemeine Schrankanlage 881. — Glühlampenschrank mit durchgehendem Schlußzeichen 882. — B. Reihenanlagen. Wesen und Einteilung 884. — Schaltung einer Reihenanlage zu 1 Amtsleitung und 3 Reihenstellen 886. — Andere Reihenanlagen 887. — C. SA-Nebenstellenanlagen. Vermittlungsarten des Amtsverkehrs. Handvermittlung des Amtsverkehrs 887. — Selbsttätige Auswahl einer freien Amtsleitung im abgehenden Verkehr 888.	878
1960—1967	Fernsprechgehäuse Bauart der Fernsprechgehäuse 889. — Nummernschalter, Wahlscheibe 890. — Schaltung der OB-Fernsprechgehäuse. — Schaltung der ZB- und SA-Fernsprechgehäuse 891. — Fernsprechgehäuse mit Rückfrageeinrichtung 893. — Anschlußdosenanlagen 894. — Münzfernsprecher 896. — Streckenfernsprecher 899.	889
1968—1974	Private Fernsprechanlagen Telephon und Mikrophon. Die direkte Schaltung. Übertragerschaltung. Linienwähler 900. — Schaltungen 902. — Verlegung von Linienwähleranlagen 906. — Stromquellen 907.	900
1975—1979	Mehrfache und bessere Ausnutzung der Fernsprechleitungen. Mehrfachsprechen Aufbau der Ringübertrager und Abzweispulen. Die Schaltung und Wirkungsweise der Ringübertrager und Abzweispulen 907. — Schaltung der Mehrfachsprechstromkreise 908. — Elektrisches Gleichgewicht 909. — Weckruf 910.	907
1980—1984	Gleichzeitiges Sprechen und Telegraphieren (Simultanbetrieb) Ringübertrager und Simultanspule. Schaltung der Simultanstromkreise 910. — Der gewöhnliche Simultanbetrieb. Der mehrfache Telegraphenbetrieb 911. — Simultanbetrieb in Fernkabeln 912.	910
1985—2004	Trägerstromtelephonie und -telegraphie längs Leitungen Trägerstrom 913. — Mithören. Reichweite 914. — Wirtschaftlichkeit 915. — Zahl der Gespräche 916. — Frequenzfilter 917. — Sprachbander 918. — Schaltung 919. — Energiebedarf. Der Anruf. Der Anschluß. Andere Ausführungsformen 921. — Elektrizitätswerktelephonie. Betriebsaufgaben 922. — Dämpfung. Ankopplung 923. — Überbrückung. Anruf. Die Sicherheit 924. — Die technische Ausführung 925. — Elektrizitätswerk-Nachrichtendienst. Verbreitung von Mitteilungen 926.	913
VI. Abschnitt. Verschiedene Sondergebiete des Fernmeldewesens.		
2005—2033	Eisenbahntelegraphie und -signalwesen Umfang der Einrichtungen. Die Grundlagen für die Ausrüstung. Maßstab für den Umfang der Einrichtungen 927. — Ausführung der Anlagen. Drahtleitungen. Morseleitungen 928. — Batterien. Die Stromstake in den Morseleitungen. Kreisschlüsse 929. — Morseleitungen für den Zugmeldedienst. Die Lauteleitungen 930. — Selbsttätige Lautwerke 931. — Lätwerke mit Kraftbetrieb 932. — Streckenfernsprechanlagen. Elektrische Überwachung der Fahrgeschwindigkeit 933. — Blockeinrichtungen 937. — Blockapparate. Stationsblockung 940. — Wechselstromblocksystem 942. — Der Zeitsignalgeber 944. — Elektrische Uhrenanlagen 945. — Das Spiegelfeld 946. — Zahlwecker 947. — Elektrisches Stellwerk. Allgemeines Elektrisches Kraftstellwerk 947. — Der Signal-Fahrstraßenschalter. Der Weichenantrieb 949. — Der Signalantrieb 950. — Selbsttätige Signalanlagen 951. — Lichtsignale 955. — Zugbeeinflussungsapparate 956.	927
2034—2046	Feuer- und Polizeitelegraphie Feuertelegraphie. Die Feuermelder 956. — Leitungsnetz. Stromquellen. Kontrollvorrichtungen. Sicherheitseinrichtungen 957. — Empfangseinrichtungen 958. — Alarmeinrichtungen 961. — Privatfeuermeldeanlagen 962. — Polizeitelegraphie. Allgemeines 963. — Meldeeinrichtungen 964. — Wecker und Signallampe. Privatpolizeimelder. Raumschutzanlagen 965.	956
2047—2057	Elektrische Signal-, Fernmelde- und Meßapparate Allgemeines 965. — Signalkontakte und Sicherungsapparate gegen Einbruch. Signal- oder Befehlsgeber 966. — Signalanlagen für Berg-	965

Nr.		Seite
	werke 967. — Fernmelder für Schiffe, Werften usw. 968. — Wasserstandsfernmelder 970. — Fernzeiger für Umdrehungsgeschwindigkeiten. Elektrische Temperaturmessung 971. — Apparate zur Bestimmung von Druckschwankungen. Elektrische Rauchgasprüfer 974. — Leitkabel für Schiffe 975.	
2058—2065	Die Wasserschallapparate	975
	Allgemeines. Die Wasserschallsender 975. — Die elektrischen Membransender. Der elektromagnetisch erregte Sender 976. — Die Wasserschallempfänger 977. — Der Frequenzbereich 978. — Gerichtete oder ungerichtete Sender- oder Empfängeranordnungen. Die Wasserschallreichweite 979.	
2066—2078	Haus- und Gasthoftelegraphen	979
	Allgemeines. Gebeapparate 979. — Turkontakte. Signalapparate 980. — Hupen 981. — Anzeigeapparate. Glühlampenruftafel 982. — Gasthofsanlagen 983. — Stromquellen. Schaltungen für Haus- und Gasthofssignale 984. — Schaltung einer Lichtsignalanlage. Herstellung der Leitungen innerhalb der Räume. Material 986. — Befestigung der Leitungen 987.	
2079—2093	Elektrische Uhren	987
	Arten der Uhren. Pendeluhrn mit elektrischem Antriebe 987. — Sympathische Uhren 988. — Turmuhren 991. — Nicht rein elektrische Uhren. Mechanische Uhr mit elektrischem Aufzug 993. — Nebenuhr mit mechanischem Gangwerk. Das Leitungsnetz 994. — Uhrenanlagen und Stromquellen. Systeme. Die Stromquellen. Sympathische Uhren 995. — Nebenuhren mit Einstellvorrichtung. Anlagen ohne eigenes Leitungsnetz 996. — Zentral- und Überwachungseinrichtungen 997. — Zeitball- und Zeitsignalstationen 999.	
2094—2107	Gebäude-Blitzableiter	1000
	Arten der Blitzschläge. Die Blitzgefahr. Entladungspunkte 1000. — Zerstörungen durch Blitzschläge. Blitzschaden. Blitzschutz. Aufgangsvorrichtungen 1001. — Gebäudeleitungen. Baustoffe 1002. — Die Verlegung. Verbindungen. Erdleitung. Prüfung der Anlagen 1003. — Leitsätze über den Schutz der Gebäude gegen den Blitz 1004.	

VII. Abschnitt. Funkwesen.

2108—2127	Die physikalischen Grundlagen	1005
	Schwingungsfähige Kreise 1005. — Schwingungen gleichbleibender Amplitude 1006. — Abstimmung. Gekoppelte Kreise 1007. — Ausstrahlung der Wellen. Antenne 1009. — Ausbreitung der Wellen 1010. — Empfangsstrom. Reichweite 1011. — Störströme. Funksender und Empfänger. Konstanz der Sendewellen 1012. — Unterdrückung der Ober- und Nebenwellen 1014. — Dämpfung der Sendewellen 1015. — Übertragung der Sprache 1016. — Bildtelegraphie 1017. — Empfänger. Telephonieempfänger 1018. — Telegraphieempfänger. Wellenverteilung 1019. — Einstellung und Konstanz der Wellen. Piezoelektrischer Quarzoszillator 1020.	
2128—2139	Antennen	1022
	Antennenformen 1022. — Elektrische Eigenschaften. Erdwiderstand, Erdung 1023. — Gegengewicht 1024. — Strahlungshöhe. Leistung. Kapazität 1025. — Eigenschwingung 1026. — Selbstinduktivität. Verlängerung und Verkürzung der Antennen. Antennenbau 1027. — Strahlwerfer für kurze Wellen 1029.	
2140—2181	Funktelegraphische Sender	1029
	Allgemeines 1029. — Schaltungen. Leistung, Strahlleistung, Wirkungsgrad eines Senders. Betriebsbedingungen der Sender 1030. — Tastung. Tastdrossel 1031. — Die Konstanthaltung der Frequenz. Oberwellen. Allgemeine Anordnung 1032. — Die einzelnen Abstimmglieder. Kondensatoren. Kondensatoren für die Abstimmkreise der Maschinensender 1033. — Spulen und deren Konstruktion 1034. — Ausgeführte Formen 1035. — Tonfunksender. Ausführungsformen. Einstellung der Löschfunksender 1036. — Vieltonsender. Lichtbogensender 1037. — Hochfrequenzmaschinensender. Alexanderson-Maschine. Hochfrequenzmaschinensender der Société Française Radio-Électrique. Hochfrequenzmaschinensender von R. Goldschmidt 1040. — Maschinensender mit ruhenden Frequenzwandlern 1041. — Röhrensender 1044. — Zwischenkreisschaltung. Dynatronschaltung. Wirkungsgrad des Röhrensenders. Fremdgesteuerte Röhrensender 1045. — Tönend Senden mit Röhrensendern. Störerscheinungen an Röhrensendern. Senderohren 1046. — Heizung der Rohren.	

Nr.		Seite
	Anodenspannung 1047. — Beseitigung des Wechselstromtones bei Gleichrichtern 1048. — Schwingungskreise. Meßinstrumente. Tastung. Wellenbereich der Rohrsender 1049.	
2182—2201	Funktelegraphische Empfänger	1050
	Antennenkreis 1050. — Zwischenkreise. Wellenindikatoren. Der Kohärer oder Fritter 1051. — Der Magnetdetektor 1052. — Der elektrolytische Detektor. Kristalldetektoren. Der Tikker 1053. — Der Schleifer. Der Glühlampendetektor. Audion 1054. — Schwebungs- oder Interferenzempfang. Hor- und Schreibempfang 1056. — Die Schaltrelais 1057. — Großstationsempfängeranlagen 1059. — Anruf-einrichtungen 1060. — Gegensprechen. Umschaltverfahren. Ge-trennte Antennen 1061. — Gemeinsame Antenne 1063.	
2202—2235	Gerichtetes Senden und Empfangen	1064
	I. Grundlagen. Reziprozitätstheorem der drahtlosen Tele-graphie 1064. — II. Richtcharakteristik für die langs der Erd-oberfläche sich ausbreitenden Wellen. Polarisierte Wellen. Linearantenne. Rahmen 1065. — Goniometer. Einseitiger Rahmen-empfang, Einfachgoniometer 1066. — Richtsystem, allgemeiner Fall. Mehrere Antennen in gerader Linie 1067. — Doppelgoniometer 1068. — Vierfachgoniometer 1071. — Beverage- oder Wellenantenne 1072. — Doppel-Beverageantenne. Kompensatorempfang. Horizontal-antenne (Erdantenne). Geknickte Marconiantenne. Braunsche Dreiecksanlage 1076. — III. Richtcharakteristiken bei Raum-strahlung. Richtfläche 1076. — Linearantenne mit beliebiger Stromverteilung, in Grundwelle erregt, in Oberwellen erregt 1077. — Antennenkombinationen 1078. — IV. Das Funkpeilen. Grundlagen 1078. — Peilsysteme. Der Antennenstern. Der Rahmen 1079. — Das ideale Goniometer. Der Robinsonpeiler 1082. — Parabolspiegel. Leit-kabel. Ad-Cocks System. Anzeigevorrichtungen. Peilfehler. Ur-sachen 1083. — Kompensation 1085. — Flugzeugpeilung. Peilver-fahren 1086.	
2236—2238	Schnelltelegraphie und Schreibempfang	1088
	Schnelltelegraphie 1088. — Schreibempfang 1089. — Anzei-gevorrichtungen 1090.	
2239—2247	Funktelephonie und Rundfunk	1091
	Grundlagen 1091. — Aufnahmeapparate (Mikrophone) 1092. — Mikrophonverstärker 1093. — Der Aufnahmeaum. Der Sender 1095. — Modulationsmethoden 1096. — Der Empfang drahtloser Telephonie 1100. — Die Wiedergabeapparate. Funktelephonie mit Schiffen 1101.	
2248	Funktelegraphische Bildübertragung	1101
	Übertragung nach Karolus-Telefunken-Siemens 1101.	
2249	Zugtelephonie	1102
2250—2255	Luftstörungen	1105
	Arten, Stärke und Charakter der Störungen 1105. — Zusammen-hang mit dem Wetter. Richtung der Störungen. Fernwirkung der Störungen. Störungen mit bekannter Ursache 1106.	
2256—2270	Anhang. Einheitszeichen, Formelzeichen, mathematische Zeichen und Sätze des Ausschusses für Einheiten und Formel-größen (AEF)	1108
	Zeichen für Maßeinheiten. Formelzeichen 1108. — Mathematische Zeichen. — Satz I. Mechanisches Wärmeäquivalent 1110. — Satz II. Leitfähigkeit und Leitwert. — Satz III. Temperaturbezeichnungen. — Satz IV. Einheit der Leistung. — Satz V. Spannung, Potential und elektromotorische Kraft, Potentialdifferenz und Spannungsdifferenz 1111. — Satz VI. Durchflutung und Strombelag. — Satz VII. Normaltemperatur. — Satz VIII. Feld und Fluß. — Satz IX. Masse und Gewicht 1113. — Satz X. Vektorzeichen 1114. — Satz XI. Dre-hung, Schraubung, Winkel, rechts- und linkswendiges Koordinaten-system 115. — Satz XII. Wert der Valenzladung. — Satz XIII. Gehalt von Lösungen.	
2271	Festsetzung des Comité Consultatif International des com-munications téléphoniques à grande distance	1119
	Alphabetisches Sachverzeichnis	1120

Berichtigungen.

Seite 458 Zeile 5 v. o. lies 2 mW und 10 mW statt 2 W und 10 W.

In (1532), S. 519/20, sollten durch die Ziffern (1) bis (5) Beziehungen zu der auf S. 533 angegebenen Literatur hergestellt werden. (1) und (2) beziehen sich, wie leicht ersichtlich, auf die unter Gray bzw. Mercadier gebrachte Literatur, (3) auf die Aufsätze von Luschen, Clausing und Kupfmüller, (4) auf den Aufsatz von K. W. Wagner und (5) auf die noch übrigen Literaturstellen.

Erster Teil.

Allgemeine Hilfsmittel.

Erster Abschnitt.

Tabellen, Formeln, Bezeichnungen.

Mathematik, Mechanik, Wärme.

(1) Querschnitt und Gewicht von Eisen- und Kupferdrähten.

Durchmesser mm	Querschnitt mm ²	Gewicht von 1000 m		Durchmesser mm	Querschnitt mm ²	Gewicht von 1000 m	
		Eisen kg	Kupfer kg			Eisen kg	Kupfer kg
0,05	0,002	0,02	0,02	1,6	2,01	15,6	17,8
0,10	0,008	0,06	0,07	1,7	2,27	17,7	20,1
0,15	0,018	0,14	0,17	1,8	2,54	19,8	22,6
0,20	0,031	0,24	0,28	1,9	2,84	22,1	25,1
0,25	0,049	0,38	0,44	2,0	3,14	24,4	27,9
0,30	0,071	0,55	0,63	2,2	3,80	29,6	33,7
0,35	0,096	0,75	0,85	2,4	4,52	35,2	40,0
0,40	0,126	0,98	1,12	2,6	5,31	41,3	47,0
0,45	0,159	1,24	1,41	2,8	6,16	47,9	54,7
0,50	0,196	1,53	1,74	3,0	7,07	55,0	62,5
0,55	0,238	1,85	2,11	3,2	8,04	63	72
0,60	0,283	2,20	2,51	3,4	9,08	71	81
0,65	0,332	2,58	2,95	3,6	10,18	79	90
0,70	0,385	2,99	3,42	3,8	11,34	88	100
0,75	0,442	3,43	3,90	4,0	12,57	98	112
0,80	0,503	3,9	4,5	4,2	13,85	108	123
0,85	0,567	4,4	5,0	4,4	15,21	118	132
0,90	0,636	4,9	5,7	4,6	16,62	129	147
0,95	0,709	5,5	6,3	4,8	18,10	141	160
1,00	0,785	6,1	7,0	5,0	19,63	153	174
1,1	0,950	7,4	8,4	5,2	21,24	165	189
1,2	1,131	8,8	10,0	5,4	22,90	178	202
1,3	1,327	10,3	11,8	5,6	24,63	192	218
1,4	1,539	12,0	13,7	5,8	26,42	205	234
1,5	1,767	13,7	15,6	6,0	28,27	220	251

(2) Drahttafel für Drahtdurchmesser von 0,05 – 4,0 mm
Widerstand von

Draht- durchm. mm	Kupfer				Phosphor- und Siliziumbronze					
	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020	0,025	0,030	0,04	0,05	0,06
0,05	8,15	8,66	9,17	9,68	10,19	12,73	15,3	20,4	25,5	30,6
0,10	2,04	2,16	2,29	2,42	2,55	3,18	3,8	5,1	6,4	7,6
0,15	0,91	0,96	1,02	1,07	1,13	1,41	1,70	2,26	2,83	3,4
0,20	0,51	0,54	0,57	0,60	0,64	0,80	0,95	1,27	1,59	1,91
0,25	0,33	0,35	0,37	0,39	0,41	0,51	0,61	0,81	1,02	1,22
0,30	0,226	0,240	0,255	0,269	0,283	0,354	0,424	0,566	0,707	0,849
0,40	0,127	0,135	0,143	0,151	0,159	0,199	0,239	0,318	0,398	0,477
0,50	0,081	0,087	0,092	0,097	0,102	0,127	0,153	0,204	0,255	0,306
0,60	0,057	0,060	0,064	0,067	0,071	0,088	0,106	0,141	0,177	0,212
0,70	0,042	0,044	0,047	0,049	0,052	0,065	0,078	0,104	0,130	0,156
0,80	0,0318	0,0338	0,0358	0,0378	0,0398	0,0497	0,060	0,080	0,099	0,119
1,00	0,0204	0,0216	0,0229	0,0242	0,0255	0,0318	0,038	0,051	0,064	0,076
1,2	0,0142	0,0150	0,0159	0,0168	0,0177	0,0221	0,0265	0,0354	0,0442	0,053
1,4	0,0104	0,0110	0,0117	0,0123	0,0130	0,0162	0,0195	0,0260	0,0325	0,039
1,6	0,0080	0,0085	0,0090	0,0095	0,0099	0,0124	0,0149	0,0199	0,0249	0,0298
2,0	0,0051	0,0054	0,0057	0,0060	0,0064	0,0080	0,0095	0,0127	0,0159	0,0191
2,5	0,00326	0,00346	0,00367	0,00387	0,00407	0,0051	0,0061	0,0081	0,0102	0,0122
3,0	0,00226	0,00240	0,00255	0,00269	0,00283	0,0035	0,0042	0,0057	0,0071	0,0085
3,5	0,00166	0,00177	0,00187	0,00197	0,00208	0,00260	0,00312	0,00416	0,0052	0,0062
4,0	0,00127	0,00135	0,00143	0,00151	0,00159	0,00199	0,00239	0,00318	0,0040	0,0048
	Länge eines Drahtes von									
0,05	0,123	0,115	0,109	0,103	0,098	0,079	0,065	0,049	0,039	0,0327
0,10	0,49	0,46	0,44	0,41	0,39	0,314	0,262	0,196	0,157	0,131
0,15	1,11	1,04	0,98	0,93	0,88	0,71	0,59	0,44	0,35	0,295
0,20	1,96	1,85	1,75	1,65	1,57	1,26	1,05	0,79	0,63	0,52
0,25	3,07	2,89	2,73	2,58	2,45	1,96	1,64	1,23	0,98	0,82
0,30	4,4	4,2	3,9	3,7	3,5	2,83	2,36	1,77	1,41	1,18
0,40	7,9	7,4	7,0	6,6	6,3	5,03	4,19	3,14	2,51	2,09
0,50	12,3	11,5	10,9	10,3	9,8	7,85	6,54	4,91	3,93	3,27
0,60	17,6	16,6	15,7	14,9	14,1	11,3	9,4	7,1	5,7	4,7
0,70	24,0	22,6	21,4	20,3	19,2	15,4	12,8	9,6	7,7	6,4
0,80	31,4	29,6	27,9	26,4	25,1	20,1	16,8	12,6	10,1	8,4
1,00	49,1	46,2	43,6	41,3	39,3	31,4	26,2	19,6	15,7	13,1
1,2	71	66	63	59	57	45	37,7	28,3	22,6	18,8
1,4	96	90	86	81	77	62	51,3	38,5	30,8	25,7
1,6	126	118	112	106	101	80	67	50	40	33,5
2,0	196	185	175	165	157	126	105	79	63	52,4
2,5	307	289	273	258	245	196	164	123	98	82
3,0	442	416	393	372	353	283	236	177	141	118
3,5	601	566	535	506	481	385	321	241	192	160
4,0	785	739	698	661	628	503	419	314	251	209

und für spezifische Widerstände von 0,016 – 0,85.

1 m Draht in Ohm.

Messing, Platin, Eisen			Neusilber und andere Widerstandsmaterialien							Draht- durch- messer
0,07	0,08	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,85	
36	41	51	76	102	127	153	204	255	433	0,05
8,9	10,2	12,7	19,1	25,5	31,8	38	51	64	108	0,10
4,0	4,5	5,7	8,5	11,3	14,1	17,0	22,6	28,3	48	0,15
2,23	2,55	3,16	4,8	6,4	8,0	9,5	12,7	15,9	27,1	0,20
1,43	1,63	2,04	3,06	4,1	5,1	6,1	8,1	10,2	17,3	0,25
0,99	1,13	1,41	2,12	2,83	3,54	4,24	5,66	7,07	12,0	0,30
0,56	0,64	0,80	1,19	1,59	1,99	2,39	3,18	3,98	6,76	0,40
0,36	0,41	0,51	0,76	1,02	1,27	1,53	2,04	2,55	4,33	0,50
0,248	0,283	0,354	0,53	0,71	0,88	1,06	1,41	1,77	3,00	0,60
0,182	0,208	0,260	0,39	0,52	0,65	0,78	1,04	1,30	2,21	0,70
0,139	0,159	0,199	0,298	0,398	0,497	0,60	0,80	0,99	1,69	0,80
0,089	0,102	0,127	0,191	0,255	0,318	0,38	0,51	0,64	1,08	1,00
0,062	0,071	0,088	0,133	0,177	0,221	0,265	0,354	0,442	0,75	1,2
0,045	0,052	0,065	0,097	0,130	0,162	0,195	0,260	0,325	0,55	1,4
0,0348	0,0398	0,0497	0,075	0,099	0,124	0,149	0,199	0,249	0,423	1,6
0,0223	0,0255	0,0318	0,048	0,064	0,080	0,095	0,127	0,159	0,271	2,0
0,0143	0,0163	0,0204	0,0305	0,0407	0,051	0,061	0,081	0,102	0,173	2,5
0,0099	0,0113	0,0141	0,0212	0,0283	0,035	0,042	0,057	0,071	0,120	3,0
0,0073	0,0083	0,0104	0,0156	0,0208	0,0260	0,0312	0,0416	0,052	0,088	3,5
0,0056	0,0064	0,0080	0,0119	0,0159	0,0199	0,0239	0,0318	0,040	0,068	4,0

1 Ohm Widerstand in Metern.

0,0280	0,0245	0,0196	0,0131	0,0098	0,0079	0,0065	0,0049	0,0039	0,0023	0,05
0,112	0,098	0,079	0,052	0,039	0,0314	0,0262	0,0196	0,0157	0,0092	0,10
0,252	0,221	0,177	0,118	0,088	0,071	0,059	0,044	0,035	0,0208	0,15
0,45	0,39	0,314	0,209	0,157	0,126	0,105	0,079	0,063	0,0370	0,20
0,70	0,61	0,49	0,327	0,245	0,196	0,164	0,123	0,098	0,0578	0,25
1,01	0,88	0,71	0,47	0,35	0,283	0,236	0,177	0,141	0,083	0,30
1,80	1,57	1,26	0,84	0,63	0,503	0,419	0,314	0,251	0,148	0,40
2,80	2,45	1,96	1,31	0,98	0,785	0,654	0,491	0,393	0,231	0,50
4,0	3,53	2,83	1,88	1,41	1,13	0,94	0,71	0,57	0,332	0,60
5,5	4,81	3,85	2,57	1,92	1,54	1,28	0,96	0,77	0,453	0,70
7,2	6,3	5,0	3,25	2,51	2,01	1,68	1,26	1,01	0,592	0,80
11,2	9,8	7,9	5,24	3,93	3,14	2,62	1,96	1,57	0,924	1,00
16,2	14,1	11,3	7,5	5,7	4,5	3,77	2,83	2,26	1,33	1,2
22,0	19,2	15,4	10,3	7,7	6,2	5,13	3,85	3,08	1,81	1,4
28,7	25,1	20,1	13,4	10,1	8,0	6,7	5,0	4,0	2,37	1,6
44,9	39,2	31,4	20,9	15,7	12,6	10,5	7,9	6,3	3,7	2,0
70	61	49	32,7	24,5	19,6	16,4	12,3	9,8	5,8	2,5
101	88	71	47,1	35,3	28,3	23,6	17,7	14,1	8,3	3,0
137	120	96	64	48	38,5	32,1	24,1	19,2	11,3	3,5
180	157	126	84	63	50,3	41,9	31,4	25,1	14,8	4,0

(3) Umwandlung komplexer Größenaus der Form $c \cdot e^{-\varphi}$ in die Form $a + bi$ und umgekehrt.Gebrauch der Tafel s. S. 5. — Zur Abkürzung ist gesetzt O_3195 für 000195 .
Nomographisches Verfahren s. S. 22.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,00		O_650 <i>0,057</i>	O_5200 <i>0,115</i>	O_5450 <i>0,172</i>	O_5800 <i>0,229</i>	O_4125 <i>0,287</i>	O_4180 <i>0,344</i>	O_4245 <i>0,401</i>	O_4320 <i>0,458</i>	O_4405 <i>0,516</i>
0,01	O_450 <i>0,57</i>	O_461 <i>0,63</i>	O_472 <i>0,69</i>	O_485 <i>0,74</i>	O_498 <i>0,80</i>	O_3113 <i>0,86</i>	O_3128 <i>0,92</i>	O_3145 <i>0,97</i>	O_3162 <i>1,03</i>	O_3181 <i>1,09</i>
0,02	O_3200 <i>1,15</i>	O_3221 <i>1,20</i>	O_3242 <i>1,26</i>	O_3265 <i>1,32</i>	O_3288 <i>1,37</i>	O_3313 <i>1,43</i>	O_3338 <i>1,49</i>	O_3365 <i>1,55</i>	O_3392 <i>1,60</i>	O_3421 <i>1,66</i>
0,03	O_345 <i>1,72</i>	O_348 <i>1,78</i>	O_351 <i>1,83</i>	O_355 <i>1,89</i>	O_358 <i>1,95</i>	O_361 <i>2,00</i>	O_365 <i>2,06</i>	O_369 <i>2,12</i>	O_372 <i>2,18</i>	O_376 <i>2,23</i>
0,04	O_380 <i>2,29</i>	O_384 <i>2,35</i>	O_388 <i>2,41</i>	O_393 <i>2,46</i>	O_397 <i>2,52</i>	O_0101 <i>2,58</i>	O_0106 <i>2,63</i>	O_0111 <i>2,69</i>	O_0115 <i>2,75</i>	O_0120 <i>2,81</i>
0,05	O_0125 <i>2,86</i>	O_0130 <i>2,92</i>	O_0135 <i>2,98</i>	O_0141 <i>3,03</i>	O_0146 <i>3,09</i>	O_0151 <i>3,15</i>	O_0157 <i>3,21</i>	O_0163 <i>3,26</i>	O_0168 <i>3,32</i>	O_0174 <i>3,38</i>
0,06	O_0180 <i>3,43</i>	O_0186 <i>3,49</i>	O_0192 <i>3,55</i>	O_0199 <i>3,60</i>	O_0205 <i>3,66</i>	O_0211 <i>3,72</i>	O_0218 <i>3,78</i>	O_0225 <i>3,83</i>	O_0231 <i>3,89</i>	O_0238 <i>3,95</i>
0,07	O_0245 <i>4,00</i>	O_0252 <i>4,06</i>	O_0259 <i>4,12</i>	O_0266 <i>4,18</i>	O_0274 <i>4,23</i>	O_0281 <i>4,29</i>	O_0288 <i>4,35</i>	O_0296 <i>4,40</i>	O_0303 <i>4,46</i>	O_0311 <i>4,52</i>
0,08	O_0319 <i>4,57</i>	O_0328 <i>4,63</i>	O_0336 <i>4,69</i>	O_0344 <i>4,74</i>	O_0352 <i>4,80</i>	O_0361 <i>4,86</i>	O_0369 <i>4,92</i>	O_0378 <i>4,97</i>	O_0386 <i>5,04</i>	O_0395 <i>5,09</i>
0,09	O_0404 <i>5,14</i>	O_0413 <i>5,20</i>	O_0422 <i>5,26</i>	O_0432 <i>5,31</i>	O_0441 <i>5,37</i>	O_0450 <i>5,43</i>	O_0460 <i>5,48</i>	O_0469 <i>5,54</i>	O_0479 <i>5,60</i>	O_0489 <i>5,65</i>
0,1	O_050 <i>5,71</i>	O_060 <i>6,28</i>	O_072 <i>6,84</i>	O_084 <i>7,41</i>	O_098 <i>7,97</i>	O_112 <i>8,53</i>	O_127 <i>9,09</i>	O_143 <i>9,65</i>	O_161 <i>10,20</i>	O_179 <i>10,76</i>
0,2	O_198 <i>11,3</i>	O_218 <i>11,9</i>	O_239 <i>12,4</i>	O_261 <i>13,0</i>	O_284 <i>13,5</i>	O_308 <i>14,0</i>	O_332 <i>14,6</i>	O_358 <i>15,1</i>	O_384 <i>15,6</i>	O_412 <i>16,2</i>
0,3	O_44 <i>16,7</i>	O_47 <i>17,2</i>	O_50 <i>17,7</i>	O_53 <i>18,3</i>	O_56 <i>18,8</i>	O_59 <i>19,3</i>	O_63 <i>19,8</i>	O_66 <i>20,3</i>	O_70 <i>20,8</i>	O_73 <i>21,3</i>
0,4	O_77 <i>21,8</i>	O_81 <i>22,3</i>	O_85 <i>22,8</i>	O_89 <i>23,3</i>	O_93 <i>23,7</i>	O_97 <i>24,2</i>	O_{101} <i>24,7</i>	O_{105} <i>25,2</i>	O_{109} <i>25,6</i>	O_{114} <i>26,1</i>
0,5	O_{118} <i>26,6</i>	O_{123} <i>27,0</i>	O_{127} <i>27,5</i>	O_{132} <i>27,9</i>	O_{137} <i>28,4</i>	O_{141} <i>28,8</i>	O_{146} <i>29,3</i>	O_{151} <i>29,7</i>	O_{156} <i>30,1</i>	O_{161} <i>30,5</i>
0,6	O_{166} <i>31,0</i>	O_{171} <i>31,4</i>	O_{177} <i>31,8</i>	O_{182} <i>32,2</i>	O_{187} <i>32,6</i>	O_{193} <i>33,0</i>	O_{198} <i>33,4</i>	O_{204} <i>33,8</i>	O_{209} <i>34,2</i>	O_{215} <i>34,6</i>
0,7	O_{221} <i>35,0</i>	O_{226} <i>35,4</i>	O_{232} <i>35,8</i>	O_{238} <i>36,1</i>	O_{244} <i>36,5</i>	O_{250} <i>36,9</i>	O_{256} <i>37,2</i>	O_{262} <i>37,6</i>	O_{268} <i>38,0</i>	O_{274} <i>38,3</i>
0,8	O_{281} <i>38,7</i>	O_{287} <i>39,0</i>	O_{293} <i>39,4</i>	O_{300} <i>39,7</i>	O_{306} <i>40,0</i>	O_{312} <i>40,4</i>	O_{319} <i>40,7</i>	O_{326} <i>41,0</i>	O_{332} <i>41,4</i>	O_{339} <i>41,7</i>
0,9	O_{345} <i>42,0</i>	O_{352} <i>42,3</i>	O_{359} <i>42,6</i>	O_{366} <i>42,9</i>	O_{372} <i>43,2</i>	O_{379} <i>43,5</i>	O_{386} <i>43,8</i>	O_{393} <i>44,1</i>	O_{400} <i>44,4</i>	O_{407} <i>44,7</i>

Gebrauch der Tafel (3).

Die linke und die obere Randspalte enthalten die Ziffern eines echten Dezimalbruchs d mit 3 oder 2 Dezimalstellen. Jedes Viereck enthält in der oberen Zahl die Dezimalstellen des Wertes $\sqrt{1+d^2}=1, \dots$ und darunter einen Winkel φ .

Übergang von der Form

$a \pm ib$ zu $c \cdot e^{\pm i\varphi}$	$c \cdot e^{\pm i\varphi}$ zu $a \pm ib$
$a > b$	$\varphi < 45^\circ$
Zu $b/a = d$ ($9,2/20,4 = 0,45$) gibt die Tafel φ und $\sqrt{1+(b/a)^2}$; letzteres mit a multipliziert ist $c = \sqrt{a^2+b^2}$ $20,4 - 9,2i = 20,4 \cdot 1,097 \cdot e^{-24,2^\circ i}$ $= 22,4 \cdot e^{-24,2^\circ i}$	Über φ steht in der Tafel $\sqrt{1+(b/a)^2}$; dies in c dividiert ist a . Die Randspalten geben b/a , welches mit a multipliziert b liefert. $22,4 \cdot e^{-24,2^\circ i} = \frac{22,4}{1,097} - 0,45 \cdot \frac{22,4}{1,097} i$ $= 20,4 - 9,2i$
$a < b$	$\varphi > 45^\circ$
Zu $a/b = d$ ($9,2/20,4 = 0,45$) gibt die Tafel einen Winkel, der von 90° zu subtrahieren ist, um φ zu erhalten. $\sqrt{1+(a/b)^2}$ aus der Tafel gibt mit b multipliziert c . $9,2 - 20,4i = 20,4 \cdot 1,097 \cdot e^{-65,8^\circ i}$ $= 22,4 \cdot e^{-65,8^\circ i}$	φ wird von 90° subtrahiert, über dem so erhaltenen Winkel steht in der Tafel $\sqrt{1+(a/b)^2}$; dies in c dividiert ist b . Die Randspalten geben a/b , welches mit b multipliziert a liefert. $22,4 \cdot e^{-65,8^\circ i} = -\frac{22,4}{1,097} i + \frac{22,4}{1,097} \cdot 0,45$ $= 9,2 - 20,4i$

(4)**Vielfache von 0,735**

zur Umrechnung von Pferdestärken in Kilowatt.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		0,74	1,47	2,21	2,94	3,68	4,41	5,15	5,88	6,62
1	7,35	8,09	8,82	9,56	10,29	11,03	11,76	12,50	13,23	13,97
2	14,70	15,44	16,17	16,91	17,64	18,38	19,11	19,85	20,58	21,32
3	22,05	22,79	23,52	24,26	25,00	25,73	26,46	27,20	27,94	28,67
4	29,40	30,14	30,87	31,61	32,34	33,08	33,81	34,55	35,28	36,02
5	36,75	37,49	38,22	38,96	39,69	40,43	41,16	41,90	42,63	43,37
6	44,10	44,84	45,57	46,31	47,04	47,78	48,51	49,25	49,98	50,72
7	51,45	52,19	52,92	53,66	54,39	55,13	55,86	56,60	57,33	58,07
8	58,80	59,54	60,27	61,01	61,74	62,48	63,21	63,95	64,68	65,42
9	66,15	66,89	67,62	68,36	69,09	69,83	70,56	71,30	72,03	72,77
10	73,50	74,14	74,97	75,71	76,44	77,18	77,91	78,65	79,38	80,12
11	80,85	81,59	82,37	83,06	83,79	84,53	85,26	86,00	86,73	87,47
12	88,20	88,94	89,67	90,41	91,14	91,88	92,61	93,35	94,08	94,82
13	95,55	96,29	97,02	97,76	98,49	99,23	99,96	100,7	101,4	102,2
14	102,9	103,6	104,4	105,1	105,8	106,6	107,3	108,1	108,8	109,5
15	110,3	111,0	111,7	112,5	113,2	113,9	114,7	115,4	116,1	116,9
16	117,6	118,3	119,1	119,8	120,5	121,3	122,0	122,8	123,5	124,2
17	125,0	125,7	126,4	127,2	127,9	128,6	129,4	130,1	130,8	131,6
18	132,3	133,0	133,8	134,5	135,2	136,0	136,7	137,5	138,2	138,9
19	139,7	140,4	141,1	141,9	142,6	143,3	144,1	144,8	145,5	146,3

(5) Mathematische Zeichen des AEF

(Dinorm 1302, Blatt 1 und 2.)

Zeichen	Bedeutung	Zeichen	Bedeutung
1. 1)	erstens	d	vollständiges Differential
()	Numerierung von Formeln	∂	partiell Differential
o/o, vH	Hundertel, vom Hundert, Prozent	δ	Variation, virtuelle Änderung
o/∞, vT	Tausendtel, vom Tausend, Promille	đ	Diminutiv
/	in 1, für 1, auf 1 usw., pro, je	Σ	Summe von; Grenzbezeichnungen sind unter und über das Zeichen zu setzen. Die Summationsvariable wird unter das Zeichen gesetzt
() [] { }	Klammer	∫	Integral
,	Dezimalzeichen;	∥	parallel
,	Komma unten oder Punkt oben. Zur Gruppenabteilung bei größeren Zahlen sind weder Komma noch Punkt, sondern Zwischenräume zu verwenden	≡	gleich und parallel
+	plus, mehr, und	⊥	rechtwinklig zu
-	minus, weniger	△	Dreieck
· ×	mal, multipliziert mit. Der Punkt steht auf halber Zeilenhöhe. Das Multiplikationszeichen darf weggelassen werden	≅	kongruent
:	geteilt durch	~	ähnlich, proportional
=	gleich	∠	Winkel
≡	identisch mit	\overline{AB}	Strecke AB
≠	nicht gleich	\widehat{AB}	Bogen AB
≈	nahezu gleich, rund, etwa	...	3 Punkte auf der Zeile, 12...25 = 12 bis 25, Grenzen eingeschlossen; soll eine Grenze ausgeschlossen sein, so ist dies anzugeben, z. B. 12... (25
<	kleiner als	...	usw. unbegrenzt, wenn rechts die Zahl fehlt, z. B. $\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots = 1$
>	größer als	≠	nicht identisch gleich
≪	klein gegen	↑↑	parallel und gleichgerichtet
≫	groß gegen	↑↓	parallel und entgegengesetzt
∞	unendlich	→	gegen, nähert sich, strebt nach, konvergiert nach, z. B. $x \rightarrow a$
√	Wurzelzeichen, das Zeichen √ erhält einen oben angesetzten wagerechten Strich, an dessen Ende noch ein kurzer senkrechter Strich angesetzt werden kann	lim	Limes: $\lim x = a$, bedeutet: a ist der Grenzwert von x f(x) → für x → ist dasselbe wie $\lim f(x) = b$ für $\lim x = a$
	Determinante		
	Betrag einer reellen oder komplexen Größe		
!	Fakultät		
∠	endliche Zunahme		

Mathematische Zeichen des AEF (Fortsetzung).

(Dinorm 1302, Blatt 1 und 2.)

Zeichen	Bedeutung	Zeichen	Bedeutung
log	Logarithmus	arctg	arcus tangens
^a log	Logarithmus zur Basis <i>a</i>	arcctg	arcus cotangens
lg	Briggscher Logarithmus: $\lg x = {}^{10}\log x$	Shn	sinus hyperbolicus
ln	natürlicher Logarithmus: $\ln x = {}^e\log x$	Shc	cosinus
o ' "	Grad, Minute, Sekunde $1^\circ = 60'$; $1' = 60''$; $32^\circ 15' 13''$, 40	Shg	tangens
sin	sinus	Shctg	cotangens
cos	cosinus	Ar Shn	area sinus hyperbolicus
tg	tangens	Ar Shc	area cosinus hyperbolicus
ctg	cotangens	Ar Shg	area tangens hyperbolicus
	$(\sin \alpha)^n = \sin n\alpha$; $\sin^{-1} \alpha$ bedeutet $(\sin \alpha)^{-1}$ und nicht $\arcsin \alpha$	Ar Shctg	area cotangens hyperbolicus
arc sin	arcus sinus	$\int_a^b f(x) dx$	Integral $f(x) dx$ von <i>a</i> bis <i>b</i> Wo es der Deutlichkeit wegen nützlich erscheint,
arc cos	arcus cosinus		schreibt man auch: $\int_{x=a}^b f(x) dx$

Außerdem wird benutzt:

In England üblich:

\oint	Linienintegral, Integral	÷	dividiert durch
	über einen in sich	∴	also, Folgerung
	geschlossenen Weg.	∴	weil, Begründung

(6) Näherungsformeln für das Rechnen mit kleinen Größen.*d* und *δ* bedeuten gegen 1 bzw. *φ* sehr kleine Größen; *δ* und *φ* im Bogenmaß. $(1 \pm d)^m = 1 \pm m d$, für jedes reelle *m*.

$$\frac{1 \pm d_1}{1 \pm d_2} = 1 \pm d_1 \mp d_2 \quad (1 \pm d_1)(1 \pm d_2) = 1 \pm d_1 \pm d_2$$

$\sin \delta = \delta - 1/6 \delta^3$	$\arcsin \delta = \delta + 1/6 \delta^3$	$\sin(\varphi \pm \delta) = \sin \varphi \pm \delta \cos \varphi$
$\cos \delta = 1 - 1/2 \delta^2$	$\arccos \delta = \frac{\pi}{2} - \delta - 1/6 \delta^3$	$\cos(\varphi \pm \delta) = \cos \varphi \mp \delta \sin \varphi$
$\operatorname{tg} \delta = \delta + 1/3 \delta^3$	$\operatorname{arc} \operatorname{tg} \delta = \delta - 1/5 \delta^3$	$\operatorname{tg}(\varphi \pm \delta) = \operatorname{tg} \varphi \pm \frac{\delta}{\cos^2 \varphi}$
$\operatorname{ctg} \delta = \frac{1}{\delta} - 1/3 \delta$	$\operatorname{arc} \operatorname{ctg} \delta = \frac{\pi}{2} - \delta + 1/5 \delta^3$	$\operatorname{ctg}(\varphi \pm \delta) = \operatorname{ctg} \varphi \mp \delta (\operatorname{ctg}^2 \varphi + 1)$

$$a^d = 1 + d \log \operatorname{nat} a \quad \log \operatorname{nat} (1 \pm d) = \pm d - 1/2 d^2.$$

$$\log \operatorname{nat} \frac{1+d}{1-d} = 2d (1 + 1/3 d^2)$$

(7)

Werte von e^{-x} .

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,00 .	0, . . .	9990	9980	9970	9960	9950	9940	9930	9920	9910
0,01 .	9900	9891	9881	9871	9861	9851	9841	9831	9822	9812
0,02 .	9802	9792	9782	9773	9763	9753	9743	9734	9724	9714
0,03 .	9704	9695	9685	9675	9666	9656	9646	9637	9627	9618
0,04 .	9608	9598	9589	9579	9570	9560	9550	9541	9531	9522
0,05 .	9512	9503	9493	9484	9474	9465	9455	9446	9437	9427
0,06 .	9418	9408	9399	9389	9380	9371	9361	9352	9343	9333
0,07 .	9324	9315	9305	9296	9287	9277	9268	9259	9250	9240
0,08 .	9231	9222	9213	9204	9194	9185	9176	9167	9158	9148
0,09 .	9139	9130	9121	9112	9103	9094	9085	9076	9066	9057
0,10 .	9048	9039	9030	9021	9012	9003	8994	8985	8976	8967
0,11 .	0,8958	8949	8940	8932	8923	8914	8905	8896	8887	8878
0,12 .	8869	8860	8851	8843	8834	8825	8816	8807	8799	8790
0,13 .	8781	8772	8763	8755	8746	8737	8728	8720	8711	8702
0,14 .	8694	8685	8676	8668	8659	8650	8642	8633	8624	8616
0,15 .	8607	8598	8590	8581	8573	8564	8556	8547	8538	8530
0,16 .	8521	8513	8504	8496	8487	8479	8470	8462	8454	8445
0,17 .	8437	8428	8420	8411	8403	8395	8386	8378	8369	8361
0,18 .	8353	8344	8336	8328	8319	8311	8303	8294	8286	8278
0,19 .	8270	8261	8253	8245	8237	8228	8220	8212	8204	8195
0,2 .	0,8187	8106	8025	7945	7866	7788	7711	7634	7558	7483
0,3 .	7408	7334	7261	7189	7118	7047	6977	6907	6839	6771
0,4 .	6703	6637	6570	6505	6440	6376	6313	6250	6188	6126
0,5 .	6065	6005	5945	5886	5827	5769	5712	5655	5599	5543
0,6 .	0,5488	5434	5379	5326	5273	5220	5169	5117	5066	5016
0,7 .	4966	4916	4868	4819	4771	4724	4677	4630	4584	4538
0,8 .	4493	4449	4404	4360	4317	4274	4232	4190	4148	4107
0,9 .	4066	4025	3985	3946	3906	3867	3829	3791	3753	3716
1,0 .	3679	3642	3606	3570	3534	3499	3465	3430	3396	3362
1,1 .	0,3329	3296	3263	3230	3198	3166	3135	3104	3073	3042
1,2 .	3012	2982	2952	2923	2894	2865	2837	2808	2780	2753
1,3 .	2725	2698	2671	2645	2618	2592	2567	2541	2516	2491
1,4 .	2466	2441	2417	2393	2369	2346	2322	2299	2276	2254
1,5 .	2231	2209	2187	2165	2144	2122	2101	2080	2060	2039
1,6 .	0,2019	1999	1979	1959	1940	1920	1901	1882	1864	1845
1,7 .	1827	1809	1791	1773	1755	1738	1720	1703	1676	1670
1,8 .	1653	1637	1620	1604	1588	1572	1557	1541	1526	1511
1,9 .	1496	1481	1466	1451	1437	1423	1409	1395	1381	1367

Werte von $10^6 \cdot e^{-x}$.

2	135336	6	2478,8	10	45,400	14	0,83153	18	0,015230
3	49787	7	911,9	11	16,702	15	0,30590	19	0,005603
4	18316	8	335,5	12	6,144	16	0,11253	20	0,002612
5	6738	9	123,4	13	2,260	17	0,04140	21	0,000758

Beispiel für Zwischenwerte: $e^{-5,175} = e^{-5} \cdot e^{-0,175} = 10^{-6} \cdot 6738 \cdot 0,8395 = 0,005657$.

Die Vektorrechnung.

Ein Vektor ist bestimmt durch die Angabe seines Betrags und seiner Richtung. Gehört zu jedem Punkte eines Raumes ein bestimmter Vektor, so nennt man den Raum ein Vektorfeld. Durch alle Punkte eines Vektorfeldes lassen sich, soweit es stetig ist, Linien ziehen, deren Richtung überall die Richtung des zu dem betreffenden Punkte gehörigen Vektors angibt (Vektorlinien). Niveauflächen, das sind Flächen, die von den Vektorlinien überall senkrecht durchkreuzt werden, lassen sich außer in wirbelfreien (lamellaren) Feldern nur in solchen Feldern angeben, wo der Vektor überall senkrecht auf seinem Wirbel steht (komplexlamellare oder geschichtete Felder).

Vektorzeichen des AEF s. Anhang.

(8) Begriffe und Formeln aus der Vektoralgebra und der Vektoranalysis.

1. Vektoralgebra.

Inneres Produkt $\mathfrak{A}\mathfrak{B} = (\mathfrak{A}\mathfrak{B}) = |\mathfrak{A}| |\mathfrak{B}| \cos(\mathfrak{A}, \mathfrak{B})$;

äußeres Produkt $[\mathfrak{A}\mathfrak{B}]$ hat den Betrag $|\mathfrak{A}\mathfrak{B}| = |\mathfrak{A}| |\mathfrak{B}| \sin(\mathfrak{A}, \mathfrak{B})$ = Flächeninhalt des aus \mathfrak{A} , \mathfrak{B} gebildeten Parallelogramms.

Das innere Produkt ist ein Skalar (einfache Zahl); das äußere ein auf der Ebene \mathfrak{A} , \mathfrak{B} senkrecht stehender Vektor. Der durch die Reihenfolge \mathfrak{A} , \mathfrak{B} bestimmte Umlaufsinn des Parallelogramms und die Richtung des äußeren Produkts ordnen sich einander zu wie der Drehsinn und der Fortschreitungsinn einer Rechtsschraube.

Rechenregeln: $\mathfrak{A}(\mathfrak{B} + \mathfrak{C} + \dots) = \mathfrak{A}\mathfrak{B} + \mathfrak{A}\mathfrak{C} + \dots$

$$[\mathfrak{A}, \mathfrak{B} + \mathfrak{C} + \dots] = [\mathfrak{A}\mathfrak{B}] + [\mathfrak{A}\mathfrak{C}] + \dots$$

$$\mathfrak{A}\mathfrak{B} = \mathfrak{B}\mathfrak{A}$$

$$[\mathfrak{A}\mathfrak{B}] = -[\mathfrak{B}\mathfrak{A}]$$

Mehrfache Produkte.

$\mathfrak{A}[\mathfrak{B}\mathfrak{C}] = \mathfrak{B}[\mathfrak{C}\mathfrak{A}] = \mathfrak{C}[\mathfrak{A}\mathfrak{B}] =$ Rauminhalt des aus \mathfrak{A} , \mathfrak{B} , \mathfrak{C} gebildeten Quaders.

$$[\mathfrak{A}[\mathfrak{B}\mathfrak{C}]] = \mathfrak{B} \cdot \mathfrak{A}\mathfrak{C} - \mathfrak{C} \cdot \mathfrak{A}\mathfrak{B}$$

$$[\mathfrak{A}\mathfrak{B}][\mathfrak{C}\mathfrak{D}] = \mathfrak{A}\mathfrak{C} \cdot \mathfrak{B}\mathfrak{D} - \mathfrak{A}\mathfrak{D} \cdot \mathfrak{B}\mathfrak{C}$$

$$[[\mathfrak{A}\mathfrak{B}][\mathfrak{C}\mathfrak{D}]] = \mathfrak{C} \cdot [\mathfrak{B}\mathfrak{D}]\mathfrak{A} - \mathfrak{D} \cdot [\mathfrak{B}\mathfrak{C}]\mathfrak{A}$$

$$[\mathfrak{A}[\mathfrak{B}[\mathfrak{C}\mathfrak{D}]]] = \mathfrak{B}\mathfrak{D} \cdot [\mathfrak{A}\mathfrak{C}] - \mathfrak{B}\mathfrak{C} \cdot [\mathfrak{A}\mathfrak{D}]$$

Zerlegung eines Vektors \mathfrak{A} in Komponenten \parallel und \perp zu n ($n^2 = 1$):

$$\mathfrak{A} = n \cdot \mathfrak{A}n + [n[\mathfrak{A}n]].$$

2. Differentiale. $d(\mathfrak{A}\mathfrak{B}) = \mathfrak{A}d\mathfrak{B} + \mathfrak{B}d\mathfrak{A}$

$$d[\mathfrak{A}\mathfrak{B}] = [\mathfrak{A}d\mathfrak{B}] + [d\mathfrak{A}, \mathfrak{B}] = [\mathfrak{A}d\mathfrak{B}] - [\mathfrak{B}d\mathfrak{A}].$$

3. Differentialquotienten. Ist V ein Raumteil, F seine Oberfläche, df ein Oberflächenelement, n ein die äußere Normalenrichtung dieses Elements anzeigender Einheitsvektor (Betrag 1), $df = n df$ also der Vektor des Oberflächenelements, so ist¹⁾

$$\text{der Gradient von } p: \quad \text{grad } p = \lim_{V \rightarrow 0} \frac{1}{V} \int_F p df,$$

$$\text{die Divergenz von } \mathfrak{A}: \quad \text{div } \mathfrak{A} = \lim_{V \rightarrow 0} \frac{1}{V} \int_F \mathfrak{A} df,$$

$$\text{der Rotor (Wirbel) von } \mathfrak{A}: \quad \text{rot } \mathfrak{A} = \lim_{V \rightarrow 0} \frac{1}{V} \int_F [df \mathfrak{A}].$$

grad p ist ein Vektor, dessen Komponente nach irgendeiner Richtung s den Anstieg $\partial p / \partial s$ der skalaren Größe p in der Richtung s angibt. — div \mathfrak{A} ist der

¹⁾ Ignatowsky, W. v.: Die Vektoranalysis. Leipzig 1909. — Spielrein, J.: Lehrbuch d. Vektorrechnung, 2. Aufl., Stuttgart 1926, S. 90 ff.

aus der (unendlich kleinen) Volumeneinheit austretende Fluß des Vektors \mathfrak{A} und somit ein Maß für die Zahl der in der Volumeneinheit entspringenden \mathfrak{A} -Linien. — $\text{rot } \mathfrak{A}$ ist ein Vektor. Deutet man \mathfrak{A} als Kraft, so ist die Komponente von $\text{rot } \mathfrak{A}$ nach irgendeiner Richtung die mechanische Arbeit, die bei einem vollständigen Umlauf um eine senkrecht zu jener Richtung stehende (unendlich kleine) Flächeneinheit durch \mathfrak{A} geleistet wird¹⁾.

$$(\mathfrak{A} \text{ grad}) \mathfrak{B} = \lim_{V=0} \frac{\mathfrak{A}}{V} \int_F d\mathfrak{f} \cdot \mathfrak{B}$$

ist ein Vektor, der die mit $|\mathfrak{A}|$ multiplizierte Änderung angibt, die \mathfrak{B} erfährt, wenn man in der Richtung von \mathfrak{A} um die Längeneinheit fortschreitet.

$$\mathcal{L}p = \text{div grad } p$$

$$\mathcal{L}\mathfrak{A} = \lim_{V=0} \frac{1}{V} \int_F (d\mathfrak{f} \text{ grad}) \mathfrak{A}.$$

4. Rechnungsregeln. $\text{rot grad } p = 0$

$$\text{div rot } \mathfrak{A} = 0$$

$$\text{grad } \mathfrak{A} \mathfrak{B} = (\mathfrak{A} \text{ grad}) \mathfrak{B} + (\mathfrak{B} \text{ grad}) \mathfrak{A} + [\mathfrak{A} \text{ rot } \mathfrak{B}] + [\mathfrak{B} \text{ rot } \mathfrak{A}]$$

$$\text{div } [\mathfrak{A} \mathfrak{B}] = \mathfrak{B} \text{ rot } \mathfrak{A} - \mathfrak{A} \text{ rot } \mathfrak{B}$$

$$\text{rot } [\mathfrak{A} \mathfrak{B}] = (\mathfrak{A} \text{ grad}) \mathfrak{B} - (\mathfrak{B} \text{ grad}) \mathfrak{A} + \mathfrak{B} \text{ div } \mathfrak{A} - \mathfrak{A} \text{ div } \mathfrak{B}$$

$$\text{div } \mathfrak{A} p = \mathfrak{A} \text{ grad } p + p \text{ div } \mathfrak{A}$$

$$\text{rot } \mathfrak{A} p = -[\mathfrak{A} \text{ grad } p] + p \text{ rot } \mathfrak{A}$$

$$\text{rot rot } \mathfrak{A} = \text{grad div } \mathfrak{A} - \mathcal{L}\mathfrak{A}$$

$$(\text{grad } \mathfrak{A}) \mathfrak{B} = (\mathfrak{A} \text{ grad}) \mathfrak{B} + \mathfrak{B} \text{ div } \mathfrak{A}.$$

5. Unstetigkeiten. Die wichtigsten in den Anwendungen vorkommenden Unstetigkeiten sind endliche Sprünge von Skalaren und Vektoren längs gewisser Flächen. An solchen Flächen würde der im vorhergehenden definierte räumliche Gradient, die räumliche Divergenz und der räumliche Wirbel unendlich groß werden, also den Sinn verlieren. Man spricht aber an der Sprungfläche von

einem Flächengradienten von p . . . $\text{Grad } p = p_1 n_1 + p_2 n_2$;

einer Flächendivergenz von \mathfrak{A} . . . $\text{Div } \mathfrak{A} = \mathfrak{A}_1 n_1 + \mathfrak{A}_2 n_2$;

einem Flächenwirbel von \mathfrak{A} . . . $\text{Rot } \mathfrak{A} = [n_1 \mathfrak{A}_1] + [n_2 \mathfrak{A}_2]$.

n ist ein Einheitsvektor in Richtung der von der Fläche hinwegweisenden Normalen; die beiden Seiten der Sprungfläche werden durch die Zeiger 1 und 2 unterschieden.

Der Flächengradient ist also ein Vektor vom Betrag des Sprunges $p_1 - p_2$, der nach der Seite der höheren p -Werte weist.

Die Flächendivergenz ist ein Skalar, der den Sprung der normalen Komponenten $A_{n_1} + A_{n_2}$ des Vektors \mathfrak{A} mißt.

Der Flächenwirbel ist ein in der Sprungfläche liegender Vektor, der vom Betrage des Sprunges der tangentialen Komponenten abhängt.

6. Integralsätze.

a) Linienintegrale.

$$\int_P^Q d\mathfrak{r} \text{ grad } \varphi = \varphi_Q - \varphi_P,$$

¹⁾ Der Umlaufsinn bestimmt hierbei zusammen mit der angenommenen Richtung eine Rechtsschraube.

$$\int_P^Q (\mathbf{dr} \operatorname{grad}) \mathfrak{A} = \mathfrak{A}_Q - \mathfrak{A}_P.$$

\mathbf{dr} ist ein Element der Linie PQ .

b) Beziehungen zwischen Flächenintegral und Randintegral

$$\oint \mathfrak{A} \mathbf{dr} = \int_F \operatorname{rot} \mathfrak{A} \mathbf{df} \quad (\text{Satz von Stokes}).$$

\mathbf{df} ist der Vektor eines Elements df der Fläche F ; \mathbf{dr} ein Element ihres Randes.

c) Beziehungen zwischen Raumintegral und Hüllenintegral.

$$\oint \mathfrak{A} \mathbf{df} = \int_V \operatorname{div} \mathfrak{A} \mathbf{dv} \quad (\text{Satz von Gauß}),$$

$$\oint (\varphi \operatorname{grad} \psi - \psi \operatorname{grad} \varphi) \mathbf{df} = \int_V (\varphi \mathcal{A} \psi - \psi \mathcal{A} \varphi) \mathbf{dv} \quad (\text{Satz von Green}),$$

$$\oint \varphi \operatorname{rot} \mathfrak{A} \mathbf{df} = \int_V \operatorname{grad} \varphi \operatorname{rot} \mathfrak{A} \mathbf{dv} \quad (\text{Satz vom Raumintegral des inneren}$$

Produktes eines wirbelfreien Vektors mit einem quellenfreien Vektor).

\mathbf{dv} ist ein Element des Raumes V ; \mathbf{df} ist der Vektor eines Oberflächenelements seiner Hülle.

(9) Allgemeine rechtsläufige orthogonale Koordinaten. Die vorstehenden Definitionen und Rechnungsregeln sind unabhängig von der Wahl einer bestimmten Raumeinteilung, also vom Koordinatensystem. Dieses braucht man erst, wenn man in besonderen Fällen die räumliche Feldverteilung wirklich berechnen will. Dazu eignen sich am besten die orthogonale Systeme, bei denen der Raum durch drei sich überall senkrecht durchschneidende Flächenscharen in kleine quaderähnliche Raumteile zerlegt wird. Wenn wir eine bestimmte Fläche F_1 aus der ersten Schar durch die Größe (Koordinate) u , eine bestimmte Fläche F_2 der zweiten Schar durch eine zweite Koordinate v und eine Fläche F_3 der dritten Schar durch w festlegen, so bestimmt der Schnittpunkt der drei Flächen den Punkt $P(u, v, w)$. Die Koordinate $u + du$ bestimmt eine zu F_1 benachbarte Fläche, die von dieser den Abstand

$$\partial s_u = U \, du$$

hat, wo U im allgemeinen eine Funktion des Ortes, das ist der Koordinaten u, v, w sein wird.

Entsprechend sind

$$\partial s_v = V \, dv \quad \text{und} \quad \partial s_w = W \, dw$$

die Abstände der durch v und $v + dv$, bzw. der durch w und $w + dw$ bestimmten Flächen. Die 6 Flächen schließen ein Quaderchen vom Rauminhalte

$$UVW \, du \, dv \, dw$$

ein. Die zu $u + du$, $v + dv$ und $w + dw$ gehörenden Flächen schneiden sich in einem Punkte P_1 , dessen Abstand von P die Diagonale des Quaders

$$ds = \sqrt{(U \, du)^2 + (V \, dv)^2 + (W \, dw)^2}$$

ist.

Sind die Größen u, v, w als Funktionen der rechtwinkligen kartesischen Koordinaten x, y, z gegeben, so ist

$$U^2 = \left(\frac{\partial x}{\partial u} \right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial u} \right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial u} \right)^2$$

oder auch

$$\frac{1}{U^2} = \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2.$$

Beispiele:

1. Kartesische Koordinaten. 2. Zylinderkoordinaten (Kreiszyylinder) (Abb. 1).

$$\begin{aligned} u &= x & U &= 1 \\ v &= y & V &= 1 \\ w &= z & W &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u &= r & x &= r \cos \varphi & U &= 1 \\ v &= \varphi & y &= r \sin \varphi & V &= r \\ w &= z & z &= z & W &= 1. \end{aligned}$$

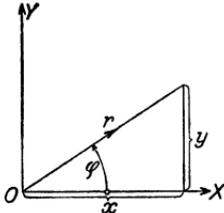


Abb. 1. Koordinaten des Kreiszyinders.

3. Koordinaten des elliptischen Zylinders (Abb. 2).

Die Schnittlinien der Flächen $u = \text{const}$, bzw. $v = \text{const}$ mit einer Ebene $z = w = \text{const}$ sind konfokale Ellipsen, bzw. Hyperbeln mit der Exzentrizität e .

$$\begin{aligned} u &= x = e \operatorname{Cof} u \cos v \\ v &= y = e \operatorname{Sin} u \sin v \\ w &= z = w \end{aligned} \quad \begin{aligned} U &= V = e \sqrt{\operatorname{Sin}^2 u + \sin^2 v} \\ &= e \sqrt{\operatorname{Cof}^2 u - \cos^2 v} \\ W &= 1 \end{aligned}$$

4. Kugelkoordinaten.

$$\begin{aligned} u &= r = \text{Abstand vom Mittelpunkt} & x &= r \sin \vartheta \cos \varphi & U &= 1 \\ v &= \vartheta = 90^\circ - \text{geogr. Breite} & y &= r \sin \vartheta \sin \varphi & V &= r \\ w &= \varphi = \text{geogr. Länge} & z &= r \cos \vartheta & W &= r \cdot \sin \vartheta. \end{aligned}$$

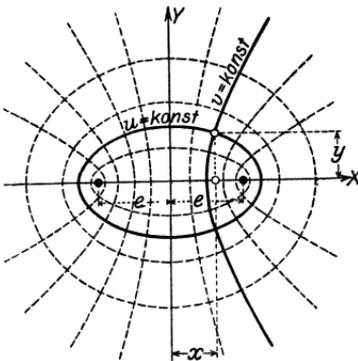


Abb. 2. Koordinaten des elliptischen Zylinders.

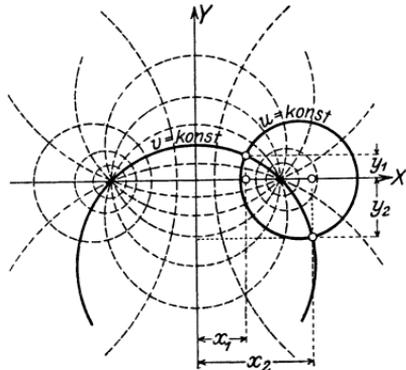


Abb. 3. Bipolarkoordinaten.

5. Bipolarkoordinaten (Abb. 3).

Die Schnittlinien der Flächen $u = \text{const}$, bzw. $v = \text{const}$ mit der Ebene $z = w = \text{const}$ sind Kreisscharen; die Kreise der Schar $v = \text{const}$ gehen sämtlich durch die beiden Mittelpunkte

$$\begin{aligned} u & \cotg u = \frac{x^2 + y^2 + a^2}{2ax} & x &= \frac{a \operatorname{Sin} u}{\operatorname{Cof} u \mp \cos v} & U &= \frac{a}{\operatorname{Cof} u \mp \cos v} \\ v & \cotg v = \frac{x^2 + y^2 - a^2}{2ay} & y &= \frac{a \sin v}{\pm \operatorname{Cof} u - \cos v} & V &= \frac{a}{\operatorname{Cof} u \mp \cos v} \\ w & w = z & z &= w & W &= 1. \end{aligned}$$

Weitere Beispiele bei W. E. Byerly: An elementary treatise on Fourier's series and spherical, cylindrical and ellipsoidal harmonics. Boston 1893. S. 238 ff.

Ausdrücke skalarer Größen in orthogonalen Koordinaten.

Inneres Produkt:

$$\mathfrak{A} \mathfrak{B} = \mathfrak{A}_u \mathfrak{B}_u + \mathfrak{A}_v \mathfrak{B}_v + \mathfrak{A}_w \mathfrak{B}_w.$$

Divergenz:

$$\operatorname{div} \mathfrak{A} = \frac{1}{UVW} \left\{ \frac{\partial}{\partial u} (VW \mathfrak{A}_u) + \frac{\partial}{\partial v} (UW \mathfrak{A}_v) + \frac{\partial}{\partial w} (UV \mathfrak{A}_w) \right\}.$$

Deltaableitung (Divergenzgradient):

$$\Delta p = \frac{1}{UVW} \left\{ \frac{\partial}{\partial u} \left(\frac{VW}{U} \frac{\partial p}{\partial u} \right) + \frac{\partial}{\partial v} \left(\frac{UW}{V} \frac{\partial p}{\partial v} \right) + \frac{\partial}{\partial w} \left(\frac{UV}{W} \frac{\partial p}{\partial w} \right) \right\}.$$

Vektorkomponenten in orthogonalen Koordinaten.

Äußeres Produkt:

$$[\mathfrak{A} \mathfrak{B}]_u = \mathfrak{A}_v \mathfrak{B}_w - \mathfrak{A}_w \mathfrak{B}_v$$

$$[\mathfrak{A} \mathfrak{B}]_v = \mathfrak{A}_w \mathfrak{B}_u - \mathfrak{A}_u \mathfrak{B}_w$$

$$[\mathfrak{A} \mathfrak{B}]_w = \mathfrak{A}_u \mathfrak{B}_v - \mathfrak{A}_v \mathfrak{B}_u$$

Gradient:

$$\operatorname{grad}_u p = \frac{1}{U} \frac{\partial p}{\partial u}$$

$$\operatorname{grad}_v p = \frac{1}{V} \frac{\partial p}{\partial v}$$

$$\operatorname{grad}_w p = \frac{1}{W} \frac{\partial p}{\partial w}$$

Rotor (Wirbel):

$$\operatorname{rot}_u \mathfrak{A} = \frac{1}{VW} \left\{ \frac{\partial}{\partial v} (W \mathfrak{A}_w) - \frac{\partial}{\partial w} (V \mathfrak{A}_v) \right\}$$

$$\operatorname{rot}_v \mathfrak{A} = \frac{1}{UW} \left\{ \frac{\partial}{\partial w} (U \mathfrak{A}_u) - \frac{\partial}{\partial u} (W \mathfrak{A}_w) \right\}$$

$$\operatorname{rot}_w \mathfrak{A} = \frac{1}{UV} \left\{ \frac{\partial}{\partial u} (V \mathfrak{A}_v) - \frac{\partial}{\partial v} (U \mathfrak{A}_u) \right\}.$$

Literatur über Vektorrechnung.

Abraham, M.: Geometrische Grundbegriffe. Enzykl. d. math. Wiss. IV, 14. Leipzig 1901. — Abraham-Föppel: Theorie der Elektrizität, Bd. I, Leipzig 1904, 1907, 1912, 1918. — Gans, R.: Einführung in die Vektoranalysis mit Anwendungen auf die mathematische Physik. Leipzig 1905, 1910. — Valentiner, S.: Vektoranalysis. Leipzig 1907, 1912. — Gibbs-Wilson: Vector-Analysis. New Haven, Yale Univ. Press 1913. 2. Aufl. — Ignatowsky, W. v.: Die Vektoranalysis und ihre Anwendung in der theoret. Physik. 2 Teile. Leipzig 1909. — Uddé, E.: Tensoren und Dyaden im dreidimensionalen Raum. Braunschweig 1914. — Spielrein, J.: Lehrbuch der Vektorrechnung. 2. Aufl. Stuttgart 1926.

(10)

Bezeichnungen.

Die folgende Tafel ist in erster Linie auf den Sätzen und Vorschlägen des Ausschusses für Einheiten und Formelgrößen (AEF) aufgebaut (S. 720); auf die Festsetzungen der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) wurde Rücksicht genommen. Auch einige Größen aus dem französischen Gesetz von 1920 über die Maßeinheiten sind aufgenommen worden (ETZ 1920, Heft 49). Die Lichtgrößen sind nach den Beschlüssen der Deutschen Beleuchtungstechnischen Gesellschaft von 1922 aufgenommen.

Die Einheitszeichen sind lateinische gerade Buchstaben; für die elektrischen Einheiten wurden große Buchstaben gewählt (Ausnahme Ω). Die Zeichen für

Vielfache und Teile von Einheiten werden durch Vorsetzen bestimmter Buchstaben abgeleitet, wobei ein Millesimalsystem bevorzugt wird: $G = 10^9$; $M = 10^6$; $k = 10^3$; $m = 10^{-3}$; $\mu = 10^{-6}$; $n = 10^{-9}$; außerdem in bestimmten Fällen $h = 10^2$; $d = 10^{-1}$; $c = 10^{-2}$. Die Einheitszeichen werden in Verbindung mit Zahlen benutzt; in Buchstabenformeln schreibt man die Einheitsnamen aus. Die Zeichen für die Größen sind entweder lateinische Kursiv-, deutsche Fraktur- oder griechische Buchstaben; die Vektoren werden durch Frakturbuchstaben dargestellt, die Eigenschaften der Stoffe vorzugsweise durch kleine griechische Buchstaben.

In Fällen, wo mehrere Größen derselben Art gleichzeitig in den Formeln auftreten, werden neben den in der Tafel angegebenen Zeichen die zugehörigen großen bzw. kleinen Buchstaben desselben Alphabets und die gleichlautenden Buchstaben anderer Alphabete verwandt. Gelegentlich werden auch Zeichen verwendet, welche die Tafel nicht aufführt.

Die in der Liste des AEF (s. Anhang) nicht enthaltenen Zeichen der nachfolgenden Zusammenstellung sind mit einem * bezeichnet.

Zeichen	Physikalische Größe oder Eigenschaft	Beziehungsgleichungen	Dimension	Technische Einheit		
				Zeichen	Name oder Bezeichnung	Wert in CGS

1. Grundmaße.

	Länge		L	cm m μ	Zentimeter Meter Mikron = 0 001 mm	1 10^3 10^{-6}
<i>m</i>	Masse		M	g	Gramm	1
<i>t</i>	Zeit		T	h min s	Stunde Minute Sekunde	3600 60 1

m statt min, wo ohne Mißverständnis.
Gleiche Zeichen erhöht für Zeitpunkte.

2. Zahlen, geometrische und mechanische Größen.

$\alpha, \beta \dots$	Winkel		0		arc 57,3° = 1		
φ	Voreilwinkel, Phasenverschieb.		0				
η	Wirkungsgrad		0				
<i>w</i>	Windungszahl		0				
<i>r</i>	Halbmesser		L				
<i>d</i>	Durchmesser						
λ	Wellenlänge						
<i>F</i>	Fläche, Oberfläche		L ²	m ² cm ²	Quadratmeter Quadratcentimeter	10 ⁴ 1	
<i>*q</i>	Querschnitt				a	Ar = 10 ⁰ m ²	10 ⁶
<i>V</i>	Raum, Volumen		L ³	m ³	Kubik(Raum)meter	10 ⁶	
<i>v</i>	Geschwindigkeit		LT ⁻¹	cm ³	Kubikzentimeter	1	
<i>*b</i>	Beschleunigung		LT ⁻²	l	Liter	10 ³	
<i>n</i>	Umlaufzahl		T ⁻¹	U/min	Umdrehungen in 1 min	1/60	
<i>w</i>	Winkelgeschwindigkeit				Hz	Hertz	1
<i>f</i>	Frequenz				Per/s.	Perioden je Sekunde	1
ω	Kreisfrequenz	$\omega = 2\pi f$			2π Hz P · 1/2πs	Perioden je 2π s	1/2π
<i>P</i>	Kraft	$P = m \cdot b$	LMT ⁻²	kg [*] g [*] sn	Kilogramm-Kraft Gramm-Kraft sthène, Stein	981 · 10 ³ 981 10 ³	
<i>A</i>	Arbeit	$A = P \cdot l$	L ² MT ⁻²	kgm	Kilogramm-meter	98,1 · 10 ⁶	
<i>W</i>	Energie				kWh ft lb	Kilowattstunde engl Fußpfund	36 · 10 ¹² 13,55 · 10 ⁶
<i>N</i>	Leistung	$N = A / t$	L ² MT ⁻³	kW P, PS HP	Kilowatt Pferdestärke 1 PS = 75 kgm/s Horsepower, engl.	10 ¹⁰ 735 · 10 ⁷ 745 · 10 ⁷	

Zeichen	Physikalische Größe oder Eigenschaft	Beziehungsgleichungen	Dimension	Technische Einheit			
				Zeichen	Name oder Bezeichnung	Wert in CGS	
p	Druck, Spannung	$p = P/q$	$L^{-1}MT^{-2}$	kg*/mm ²	Kilogramm auf das Quadratmillimeter	$98,1 \cdot 10^6$	
J	Trägheitsmoment	$S = m/V$ $s = S_1/S_2$ $\alpha = 1/E$	L^2M	Atm	physik. Atmosphäre	$1,013 \cdot 10^6$	
C	Zentrifugalmoment		L^2M			76 cm Hg von 0°	
M	Moment einer Kraft		L^2MT^{-2}	at	technische Atm.	$98,1 \cdot 10^4$	
ρ	Dichte		$L^{-3}M$			1 at = 1 kg*/cm ²	
ρ_s	spez. Gewicht		0	bar	dyn/cm ²	1	
E	Elastizitätsmodul		$L^{-1}MT^{-2}$	pez	piéze, Pez	10^4	
α	Dehnbarkeit		tor	Tor (1mm Hgv. 0°)	$1,33 \cdot 10^3$		
μ	Reibungszahl						

3. Wärme.

T	Temperatur, absol.	$T = 273 + t$		°	Grad	
t	Temper. v. Eispunkt					
Q	Wärmemenge			cal kcal	Gramm- und Kilogramm- Kalorie.	$4,186 \cdot 10^7$ $4,186 \cdot 10^{10}$
c	spez. Wärme	$c = Q/m(t_2 - t_1)$		th	1 kcal = 426,9 kgm Thermie, (franz.) = 1000 kcal	$4,186 \cdot 10^{13}$
α	Wärmedehnbarkeit lineare			fg	Frigerie, (franz.) = 0,001 th = 1 kcal	$4,186 \cdot 10^{10}$
γ	räumliche			BThU	British Thermal Unit = 778 ft lbs = 0,252 kcal = 107,5 kgm	$1,054 \cdot 10^{10}$

4. Licht.

Q	Lichtmenge	$\Phi = Q/T$	Lmh	Lumenstunden
Φ	Lichtstrom		Lm	Lumen
J	Lichtstärke	$J = \Phi/\omega$	HK	Kerze (Hefnerkerze)
E	Beleuchtungsstärke	$E = \Phi/F = J \cos i/r^2$	Lx	Lux
e	Leuchtdichte		$e = J_\varepsilon / f \cos \varepsilon$	HK/cm ²

T Zeit in Stunden; ω Raumwinkel; F, f Flächen, F in m², f in cm²; r eine Länge in m; i Einfallswinkel (Inzidenz-)winkel, ε Ausstrahlungswinkel (Emissions-)winkel.

5. Magnetismus.

\mathfrak{M}	magnet. Moment		$L^3/2M^{1/2}T^{-1}$		
\mathfrak{S}	Magnetisierungsstärke	$\mathfrak{S} = \mathfrak{M}/V$	$L^{-1/2}M^{1/2}T^{-1}$	Gauß	1
\mathfrak{H}	magnet. Feldstärke	$\mathfrak{H} = \mathfrak{M}/l = 4\pi \mathfrak{H} I/l$			
\mathfrak{B}	magnet. Induktion	$\mathfrak{B} = \mathfrak{H} + 4\pi \mathfrak{S}$ $\mathfrak{B} = \mu \mathfrak{H}$			
H	magnet. Spannung u. magnet. Potentialdifferenz	$H = l \cdot \mathfrak{H}$ $= 4\pi \mathfrak{H} I = 4\pi \mathfrak{S} l$	$L^{1/2}M^{1/2}T^{-1}$	Gilbert	1
Φ	magnet. Induktionsfluß	$\Phi = q \mathfrak{B}$ $\Phi = \mathfrak{H} G_m$	$L^3/2M^{1/2}T^{-1}$	Maxwell	1
G_m	magnet. Leitwert	$G_m = \frac{1}{R_m} = \frac{\mu q}{l}$			
R_m	magnet. Widerstand	$R_m = \frac{1}{G_m} = \frac{l}{\mu q}$			
μ	magnet. Durchlässigkeit	$\mu = 1 + 4\pi \kappa$ $= \mathfrak{B}/\mathfrak{H}$			
κ	magnet. Aufnahmevermögen	$\kappa = \frac{\mu - 1}{4\pi} = \frac{\mathfrak{S}}{\mathfrak{H}}$			
η	Koeff. d. magnet. Hysterese				
p	Zahl der Polpaare				
ν	Streuungskoeffizient				

Zeichen	Physikalische Größe oder Eigenschaft	Beziehungsgleichungen	Dimension im elektromagn. System	Technische Einheit		
				Zeichen	Name oder Bezeichnung	Wert in CGS
6. Elektrizität.						
ℰ	Elektr. Feldstärke		$L^{1/2}M^{1/2}T^{-2}$	V/cm		10^8
ℰ	Dielekt. Verschiebung	$\mathfrak{D} = \epsilon \mathfrak{E} / 4\pi e^2$	$L^{-3/2}M^{1/2}$	C/cm ²		10^{-1}
* ℰ	El. Verschiebungsfluß	$\mathfrak{E} = \mathfrak{E} \cdot F$	$L^{5/2}M^{1/2}T^{-2}$	V·cm		10^8
E	Elektromotorische Kraft	$E = I \cdot R$	$L^{3/2}M^{1/2}$ T ⁻²	V	Volt	10^8
U	Spannung, Potentialdiff.	$U = I \cdot R$				
* V	Potential gegen Erde	$U = V_1 - V_2$				
I	Stromstärke	$I = E/R$	$L^{1/2}M^{1/2}T^{-1}$	A	Ampere	10^{-1}
Q	Elektrizitätsmenge	$Q = I \cdot T$	$L^{1/2}M^{1/2}$	C	Coulomb	10^{-1}
* c	Stromdichte	$c = I/q$	$L^{-3/2}M^{1/2}T^{-1}$	Ah	Ampere-Stunde	360
* J	Durchflutung	$J = w \cdot I$	$L^{1/2}M^{1/2}T^{-1}$	A	Ampere	10^{-1}
* a	Strombelag	$a = J \cdot l$	$L^{-1/2}M^{1/2}T^{-1}$	$\frac{AW}{cm}$		10^{-1}
A	elektrische Arbeit	$A = Q \cdot E$	L^2MT^{-2}	VC J Wh kWh	Voltcoulomb Joule Wattstunde Kilowattstunde	10^7 10^7 $36 \cdot 10^9$ $36 \cdot 10^{12}$
N	elektrische Leistung	$N = E \cdot I$ $N = A/T$	L^2MT^{-3}	W kW BTU	Watt Kilowatt Board of Trade Unit	10^7 10^{10} 10^{10}
R	Widerstand	$R = E/I$ $R = \rho/l$	LT^{-1}	Ω M Ω	Ohm Megohm	10^9 10^{15}
G	Leitwert	$G = 1/R$	$L^{-1}T$	S	Siemens	10^{-9}
C	Kapazität	$C = \frac{Q}{E}$	$L^{-1}T^2$	F μF	Farad Mikrofarad	10^{-9} 10^{-15}
L	Selbstinduktivität	$L = \frac{\Phi}{I}$	L	H	Henry	10^9
M	Gegeninduktivität					
ρ	spezif. Widerstand	$\rho = \frac{1}{\kappa}$	L^2T^{-1}	ρ und κ bezogen auf Ohm		
* κ	Leitfähigkeit	κ	$L^{-2}T$			
* A	Äquivalentleitvermögen	$A = \frac{\kappa}{\eta}$	$M^{-1}LT$			
* α	elektrochem. Äquivalent	Zusammengesetzte Wechselstromgrößen.				
η	Konzentration in Gramm-äquivalent auf cm ³ Lösung	Nach dem Vorschlag des AEF bezeichnet man die Wechselstromgrößen als Wirk-, Schein- und Blindgrößen, vgl. (135). Der Wirkstrom wird auch Wattstrom, der Blindstrom wattloser Strom genannt. Außerdem werden folgende Benennungen gebraucht:				
α	Dissoziationsgrad					
ε	Dielektrizitätskonstante					

Westonsches Normalelement
 Form der Reichsanstalt
 1,0183 - 0,0000406 (t - 20)
 - 0,00000095 (t - 20)²
 - 0,00000001 (t - 20)³ V
 bei 4° gesätt. Lösung
 1,0187 V
 Clarksches Normalelement
 1,4263 - 0,00126 (t - 20)²
 - 0,000007 (t - 20)³ V

1 J = 1 VC = 0,10197 kgm
 = 0,2390 cal (15°)

1 PS = 0,735 kW
 1 kW = 1,360 PS
 1 BTU (auch 1 U) = 1 kW

Elektrostatistisches oder mechanisches Maß.
 Potential 1 = 300 V
 Widerstand 1 = 9 · 10¹¹ Ω
 = 9 · 10² G Ω
 Strom 1 = $\frac{1}{3} \cdot 10^{-9}$ A = $\frac{1}{3}$ nA
 Menge 1 = $\frac{1}{3} \cdot 10^{-9}$ C = $\frac{1}{3}$ nC
 Kapazität 1 = $\frac{1}{9} \cdot 10^{-11}$ F
 = $\frac{1}{9} \cdot 10^{-5}$ μF = $\frac{1}{9} \cdot 10^{-2}$ nF

Reaktanz = ωL - 1/ωC; - Impedanz = $\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}$; - Admittanz = $1/\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}$; -
 Konduktanz = R/[R² + (ωL - 1/ωC)²]; - Suszeptanz = [ωL - 1/ωC]/[R² + (ωL - 1/ωC)²].

(11) Englisches Gewicht und Maß.

1 ton = 1016,0 kg = 20 cwt, Hundredweights.	1 Fuß = 30,48 cm.
1 cwt = 50,80 kg = 4 qrs, Quarters = 8 stones = 112 lbs, pounds.	1 yard = 3 engl. Fuß = 0,914 m.
1 lb = 0,4536 kg = 16 ozs, ounces = 256 drams = 7680 grains.	1 engl. statute mile = 1609,31 m;
1 pound troy = 373,242 g.	1 London mile = 1523,97 m;
1 lb - ft = 0,1383 kgm.	1 Seemeile = 1855,11 m.
1 ton per sq. inch = 1,575 kg*/mm ² . — 1 lb per sq. inch = 0,0703 kg*/cm ² .	1 circular mill = 0,000506 mm ² ;
	1 mm ² = 1970 circular mills.
	1 quarter = 8 bushels = 290 l.
	1 gallon = 4 quarts = 8 pints = 32 gills = 4,543 l.

Tafel zusammengesetzter Einheiten s. Elektrizitätswirtschaft 1925, S. 514.

Englisches Maß in Metermaß und umgekehrt.

	Fuß in Meter		Quadr.-Fuß in Quadr.-Meter		Kubik-Fuß in Kubik-Meter		Zoll in Zentimeter			Meter in			Quadratmeter in		Kubikmeter in	
	Fuß	Meter	Quadr.-Fuß	Quadr.-Meter	Kubik-Fuß	Kubik-Meter	Zoll	Zentimeter	Fuß	Zoll	Meter	Quadr.-Fuß	Quadr.-Zoll	Quadr.-Meter	Kubik-Fuß	Kubik-Zoll
1	0,305	0,093	0,0283	2,54	6,45	16,4	3,28	39,4	10,8	15,5	35,3	61,0				
2	0,610	0,186	0,0566	5,08	12,90	32,8	6,56	78,7	21,5	31,0	70,6	122,1				
3	0,914	0,279	0,0849	7,62	19,35	49,2	9,84	118,1	32,3	46,5	105,9	183,1				
4	1,219	0,372	0,1133	10,16	25,81	65,5	13,12	157,5	43,1	62,0	141,3	244,1				
5	1,524	0,464	0,1416	12,70	32,26	81,9	16,40	196,9	53,8	77,5	176,6	305,1				
6	1,829	0,557	0,1699	15,24	38,71	98,3	19,69	236,2	64,6	93,0	211,9	366,2				
7	2,134	0,650	0,1982	17,78	45,16	114,7	22,97	275,6	75,4	108,5	247,2	427,2				
8	2,438	0,743	0,2265	20,32	51,61	131,1	26,25	315,0	86,1	124,0	282,5	488,2				
9	2,743	0,836	0,2548	22,86	58,06	147,5	29,53	354,3	96,9	139,5	317,8	549,2				

Englische Reichslehre (Imperial Standard Wire Gauge).

Nr.	Durchmesser mm												
7/0	12,7	2	7,01	10	3,25	18	1,22	26	0,46	34	0,234	42	0,102
6/0	11,8	3	6,40	11	2,95	19	1,02	27	0,41	35	0,214	43	0,092
5/0	11,0	4	5,89	12	2,64	20	0,91	28	0,376	36	0,193	44	0,081
4/0	10,16	5	5,28	13	2,34	21	0,81	29	0,346	37	0,173	45	0,071
3/0	9,45	6	4,88	14	2,03	22	0,71	30	0,310	38	0,152	46	0,061
2/0	8,84	7	4,47	15	1,83	23	0,61	31	0,295	39	0,132	47	0,051
1/0	8,23	8	4,06	16	1,63	24	0,56	32	0,274	40	0,122	48	0,041
1	7,62	9	3,66	17	1,42	25	0,51	33	0,254	41	0,112	49	0,031
												50	0,025

Birmingham-Lehre, B W G.

Nr.	Durchmesser mm												
0/4	11,53	2	7,21	7	4,57	12	2,77	17	1,47	22	0,71	27	0,41
0/3	10,80	3	6,58	8	4,19	13	2,41	18	1,24	23	0,64	28	0,36
0/2	9,65	4	6,05	9	3,76	14	2,11	19	1,07	24	0,56	29	0,33
0	8,64	5	5,59	10	3,40	15	1,83	20	0,89	25	0,51	30	0,30
1	7,62	6	5,16	11	3,05	16	1,65	21	0,81	26	0,46	31	0,25
												32	0,23

Amerikanische Brown & Sharpesche Lehre, B. & S. G.

Nr.	Durchmesser mm	Nr.	Durchmesser mm	Nr.	Durchmesser mm	Nr.	Durchmesser mm	Nr.	Durchmesser mm	Nr.	Durchmesser mm	Nr.	Durchmesser mm
0000	11,7	3	5,8	9	2,91	15	1,45	21	0,72	27	0,36	33	0,18
000	10,4	4	5,19	10	2,59	16	1,29	22	0,64	28	0,32	34	0,16
00	9,3	5	4,62	11	2,30	17	1,15	23	0,57	29	0,29	35	0,14
0	8,3	6	4,12	12	2,05	18	1,02	24	0,51	30	0,25	36	0,13
1	7,3	7	3,66	13	1,83	19	0,91	25	0,45	31	0,23	37	0,11
2	6,5	8	3,26	14	1,63	20	0,81	26	0,40	32	0,20	38	0,10

Nomographie.

(12) Die **Nomographie** bezweckt die Darstellung der Beziehungen zwischen mehreren Größen mit Hilfe von Skalen, die eine lineare, logarithmische oder andere Teilung tragen. Je nach Art der Beziehungen kommen eine oder mehrere gerade oder auch krumme Linien als Skalenträger zur Verwendung. Die logarithmische Skaleneinteilung hat den Vorzug gleichbleibender Ablesegenauigkeit an allen Stellen der Teilung, selbst bei sehr weit ausgedehntem Skalenbereich¹⁾.

(13) **Doppelskalen zur Darstellung der Beziehung zwischen zwei Größen.** Die Beziehung zwischen zwei Größen kann an Stelle der Aufzeichnung einer Kurve

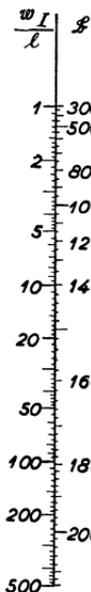


Abb. 4. Doppelskala für die Magnetisierung von Dynamoblech und Stahlguß.

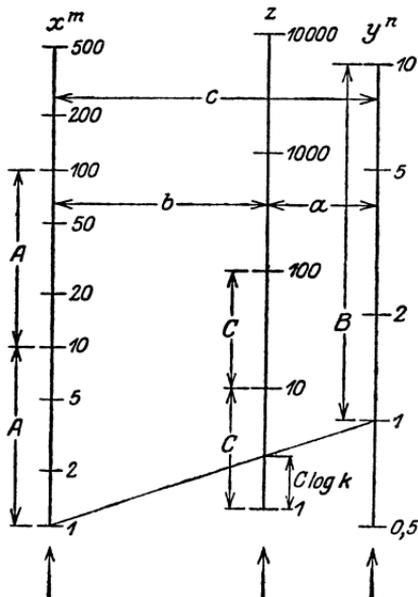


Abb. 5. Allgemeines Beispiel für das nomographische Verfahren.

in einem zweiachsigen Koordinatensystem durch eine Doppelskala mit zwei verschiedenen Teilungen dargestellt werden. Während die Kurve die Art der Beziehung besser zu übersehen gestattet, ist zum raschen Aufsuchen von Einzelwerten die Doppelskala bequemer, weil zusammengehörige Werte stets unmittelbar nebeneinander stehen. Durch passende Wahl der Skaleneinteilung kann für gute Übersichtlichkeit des ganzen Bereichs der Skala gesorgt werden.

Ein Beispiel gibt die Doppelskala für die Magnetisierung von Dynamoblech und Stahlguß in Abb. 4; sie ersetzt die in Abb. 19 (S. 38) gegebene Magnetisierungskurve. Für die Werte des Strombelages $\alpha = wI/l$ ist eine logarithmische Skaleneinteilung gewählt; auf diese Weise kann für den

¹⁾ Papiermaßstäbe mit logarithmischer Skaleneinteilung für eine größere Zahl verschiedener Meßbereiche werden von der Organisations-Verlagsgesellschaft Berlin W, Leipziger Str. 115/6 hergestellt. Dieselbe Stelle liefert Nomogramme entsprechend den Abb. 6 und 8.

ganzen Skalenbereich ein einheitlicher Maßstab benutzt werden, während für die Kurve in Abb. 19 zwei verschiedene Maßstäbe erforderlich sind (siehe auch v. Stritzl, ETZ 1922, S. 782).

(14) **Nomogramme für die Beziehungen zwischen drei Größen.** Die gebräuchlichsten nomographischen Darstellungen erhalten mehrere parallele Geraden als Skalenträger. Bei gleichmäßiger Skaleneinteilung können diese Nomogramme zur Addition und Subtraktion gebraucht werden; bei logarithmischer Einteilung dienen sie zur Multiplikation und Division, wobei die einzelnen Faktoren beliebige Exponenten haben können. Besteht z. B. zwischen x , y und z die Beziehung

$$z = k \cdot x^m \cdot y^n,$$

so kann zur Ermittlung beliebiger, zusammengehöriger Werte von x , y und z ein Nomogramm entsprechend der Abb. 5 dienen. Die drei parallelen Geraden besitzen logarithmische Einteilung. Zwei von den drei Werten x , y und z werden auf den zugehörigen Skalen aufgesucht und mittels eines (am besten durchsichtigen) Lineals oder gespannten Fadens miteinander verbunden; diese Gerade schneidet auf der dritten Skala den gesuchten Wert ab. Bei einer gesamten Skalenlänge von p cm und Werten von x_{\min} bis x_{\max} ergibt sich die Länge A für den Bereich von x zwischen 1 und 10 zu:

$$A = \frac{p}{\log x_{\max} - \log x_{\min}}$$

und ebenso wird für die y -Skala

$$B = \frac{p}{\log y_{\max} - \log y_{\min}}.$$

Für die z -Skala ergibt sich dann die Länge C des Bereichs von 1 bis 10 als:

$$\frac{1}{C} = \frac{m}{A} + \frac{n}{B} \quad \text{oder} \quad C = \frac{A \cdot B}{nA + mB}.$$

Die Abstände der z -Skala von den beiden anderen Skalen ergeben sich aus den Formeln:

$$a = c \cdot \frac{m \cdot C}{A} = \frac{c}{1 + \frac{n \cdot A}{m \cdot B}}$$

$$b = c \cdot \frac{n \cdot C}{B} = \frac{c}{1 + \frac{m \cdot B}{n \cdot A}}.$$

Zur Berücksichtigung des konstanten Faktors k muß der Punkt für 1 bei der z -Skala um den Wert $C \cdot \log k$ nach der Richtung der kleineren Zahlen hin gegenüber der Verbindungslinie der Punkte für 1 auf den Skalen x und y verschoben werden, wie aus Abb. 5 hervorgeht. Die Pfeile geben jeweils die Richtung der größeren Zahlen an.

Ein Beispiel für die Anwendung eines Nomogramms mit drei Skalen gibt die Abb. 6. Sie dient zur Berechnung des Widerstandes R für 1 m Länge aus dem spezifischen Widerstand s und dem Drahtdurchmesser d nach der Formel: $R = 4 s / \pi d^2$. Dieses Nomogramm kann als Ersatz für die Drahttafel auf S. 2 und 3 dienen. Alle drei Skalenträger könnten hier auch eine doppelte Teilung erhalten. Auf dem linken Skalenträger kann neben dem spezifischen Widerstand die spezifische Leitfähigkeit aufgetragen werden, auf dem rechten neben dem Drahtdurchmesser der Drahtquerschnitt und auf dem mittleren neben dem Widerstand von 1 m Draht in Ω die Drahtlänge für 1 Ω in Metern. Die

gestrichelt eingezeichnete Linie gibt ein Beispiel für einen spezifischen Widerstand 0,3 und einen Drahtdurchmesser von 0,2 mm; hierbei wird der Widerstand 9,5 Ω/m auf dem mittleren Skalenträger erhalten.

(15) **Nomogramme mit Zapfenlinien für die Beziehungen zwischen mehr als drei Größen.** Sollen Nomogramme für Beziehungen zwischen mehr als drei Größen aufgestellt werden, so ist zunächst das Produkt oder der Quotient von zwei Größen in derselben Weise wie eben angegeben aufzusuchen. Der erhaltene Wert wird

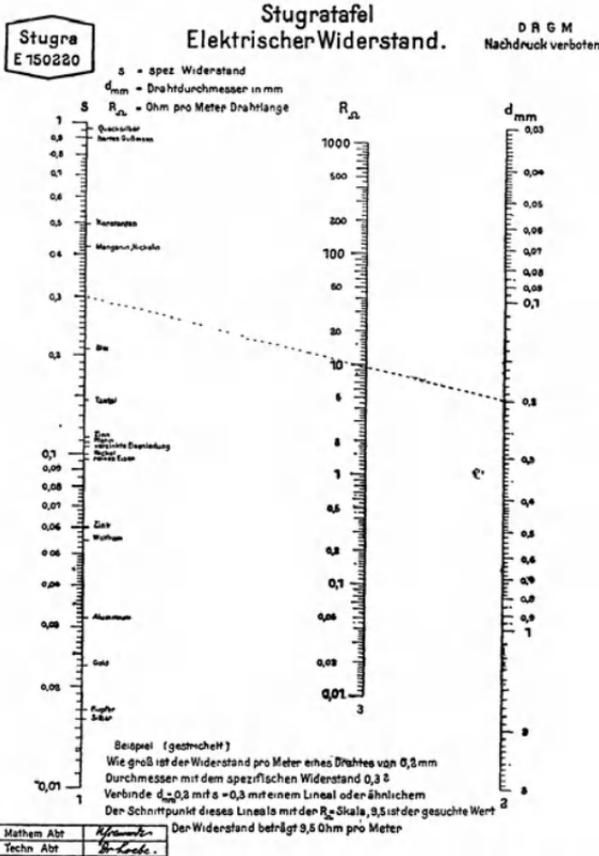


Abb. 6. Nomogramm mit drei Skalen zur Berechnung des Widerstandes.

auf der zugehörigen Skalenlinie festgehalten, die keine Teilung zu tragen braucht und deshalb als **Zapfenlinie** bezeichnet wird, und mit dem Wert für die dritte Größe durch eine gerade Linie verbunden. Diese Gerade schneidet die gesuchte Größe auf einem weiteren Skalenträger ab.

Eine Zapfenlinie wird auch für Umrechnungen benutzt, wie sie durch das Beispiel in Abb. 7 gegeben sind. Dieses Nomogramm dient zur Umrechnung der Betriebsverhältnisse von Metalldrahtlampen bei

veränderter Spannung. Es enthält Skalen für den spezifischen Verbrauch (W/HK), die Spannung (V), den Energieverbrauch (W), die Lichtstärke (HK) und die Nutzbrenndauer (N). Die Doppelskalen für V , W und HK gelten jeweils für zwei verschiedene Bereiche und werden je nach Bedarf benutzt. Um die Zapfenlinie (Z), die keine Teilung trägt, wird das Lineal jeweils gedreht. Soll beispielsweise festgestellt werden, welche Lichtstärke eine Lampe für 120 V und 50 HK bei 110 V ergibt, so wird der Punkt für 120 V auf der rechten Seite der V -Skala mit dem Punkt für 50 auf der rechten Seite der HK -Skala verbunden und der Schnittpunkt des Lineals mit der Zapfenlinie alsdann mit 110 V verbunden; hierdurch erhält man auf der HK -Skala den gesuchten Wert 37 HK. In gleicher Weise kann mit diesem Nomogramm der Energieverbrauch (W), der spezifische Verbrauch (W/HK) und die Nutzbrenndauer (N) für verschiedene Spannungen umgerechnet werden.

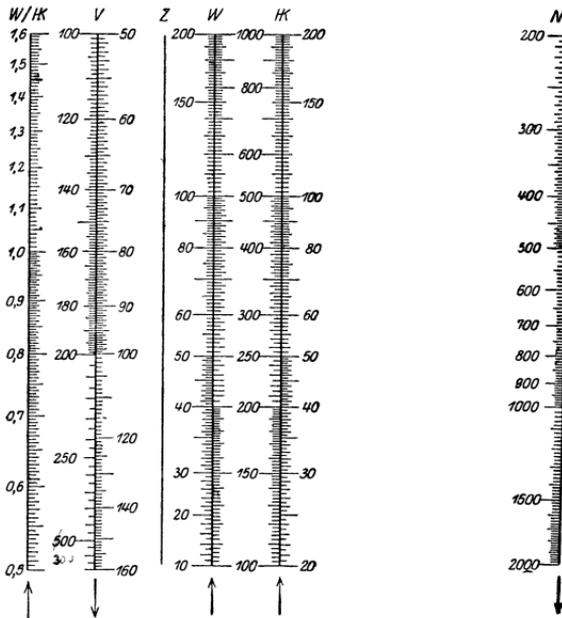
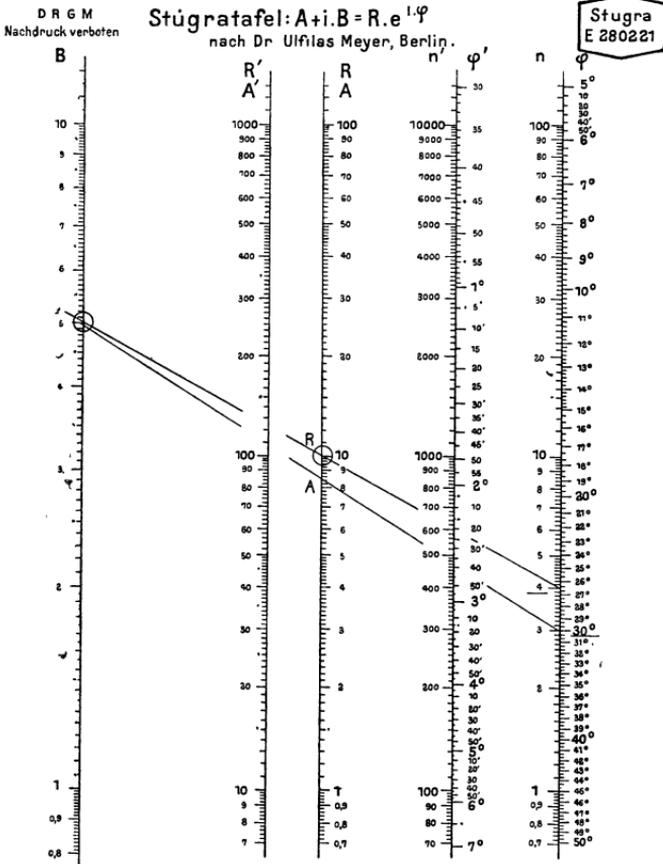


Abb. 7. Tafel zur Berechnung der Betriebsverhältnisse von Metalldrahtlampen bei abweichenden Spannungen.

(16) Nomogramme für Beziehungen mit Produkten und Summen. Nomogramme mit logarithmischen Teilungen lassen sich auch für Beziehungen verwenden, in denen neben Produkten noch Summen vorkommen, sofern eine einfache Hilfsrechnung vorgenommen wird. Als Beispiel dient das von U. Meyer (ETZ 1921, S. 1226) aufgestellte Nomogramm Abb. 8 für die U m w a n d l u n g k o m p l e x e r G r ö ß e n aus der Form $A + i \cdot B$ in die Form $R \cdot e^{i\varphi}$. Dieses Nomogramm dient als Ersatz für die Tab. (3) auf S. 4. Auf der mittleren Skala wird A , auf der linken Skala B aufgesucht; ihre Verbindungslinie gibt auf der linken Seite der rechten Skala $n = A^2/B^2 = \cotg^2 \varphi$ und rechts davon den zugehörigen Winkel φ . Zu $\cotg^2 \varphi$ wird 1 hinzugezählt. Dieser Wert wird ebenfalls auf der linken Seite der rechten Skala aufgesucht und mit dem Wert von B verbunden. Diese Gerade ergibt auf der mittleren Skala $R = B \cdot \sqrt{1 + \cotg^2 \varphi}$. Die in Abb. 8 eingetragenen Linien geben ein Beispiel für die Berechnung von $8,65 + 5i = 10 \cdot e^{i \cdot 30^\circ}$.

Als größerer Wert wird hier jeweils A , als kleinerer B gewählt. Die Skala für A gilt für Werte von 0,7 bis 100. Soweit sie nicht ausreicht, kann die Skala für A und die hierzu gehörige für n' und φ' benutzt werden.

Mit Hilfe dieses Nomogramms können auch die Werte für A und B ermittelt werden, wenn R und φ gegeben sind (siehe hierzu auch die Fußnote auf S. 18).



Gegeben A und B Verbinde B mit A bzw. A' , Ergebnis φ bzw. φ' . Neben φ bzw. φ' steht Zahl n bzw. n' , addiere hierzu 0 und verbinde mit B Ergebnis R bzw. R' .
 Wenn $B > A$, vertausche B mit A und rechne mit $90^\circ - \varphi$.
 Gegeben R und φ Neben φ steht n , addiere T hinzu und verbinde mit R , ergibt B . Verbinde B mit φ , ergibt A .
 Druck Gebr. Wichmann, Berlin. Verlag Stugra - Zentralstelle für graphische Berechnungstafeln, Berlin - Waidmannslust

Mathem. Abt.	<i>[Signature]</i>
Techn. Abt.	<i>[Signature]</i>

Abb. 8.) Nomogramm für die Umwandlung komplexer Größen.

(17) Nomogramme mit Z-Skalen. Für manche Fälle eignen sich am besten die Nomogramme mit sogenannten Z-Skalen. Sie dienen ebenfalls zur Darstellung von Beziehungen zwischen drei Größen. Die Anfangs- und Endpunkte der beiden äußeren parallelen Skalen werden durch eine schräg liegende dritte Skala verbunden, welche eine projektive Teilung erhält. Diese ergibt sich aus einer gleichmäßigen Skaleneinteilung mittels Projektion.

Als Beispiel für ein Z -Nomogramm dient die von Bloch angegebene Normal-Lichtverteilungsskala für luftleere Osram-Drahtlampen in Abb. 9. Sie ist ein Ersatz für die üblichen, in einem Polar-Koordinatensystem aufgetragenen Lichtverteilungskurven und hat vor diesen die Benutzbarkeit für alle gebräuchlichen Lampentypen voraus. Auf der linken Skala sind an Stelle der ursprünglich eingetragenen Kerzenteilung die Winkel eingetragen, unter denen die verschiedenen Lichtstärken erhalten werden. Die schräge Skala enthält oben die horizontalen Lichtstärken der gebräuchlichen Lampentypen und darunter den zugehörigen Gesamtlichtstrom in Lumen. Die rechte Skala trägt eine gleichmäßige Kerzenteilung. Das Nomogramm stellt so eine Kombination einer Doppelskala und einer Z -Skala dar. Soll die Lichtstärke unter einem beliebigen Aus-

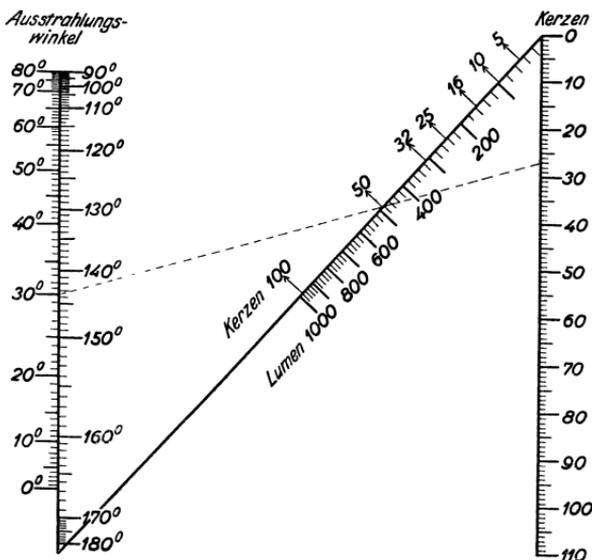


Abb. 9. Normal-Lichtverteilungsskala für luftleere Osram-Drahtlampen.

strahlungswinkel, z. B. 30° , aufgesucht werden, so wird der zugehörige Punkt auf der linken Skala mit dem Punkt für die horizontale Lichtstärke der betreffenden Lampentype, z. B. 50 Kerzen, auf der schrägen Skala verbunden. Diese in Abb. 9 gestrichelt eingetragene Gerade schneidet auf der rechten Skala die unter einem Winkel von 30° für die 50kerzige Lampe sich ergebende Lichtstärke von 27 Kerzen ab. — Ein weiteres Beispiel für Z -Skalen s. Abb. 1404.

Literatur: d'Ocagne: „Traité de nomographie“ (Paris 1899). — Pirani: „Graphische Darstellung in Wissenschaft und Technik“. Sammlung Göschen Nr. 728, Berlin und Leipzig 1922. — Mehcke: „Leitfaden zum graphischen Rechnen“. Leipzig 1917. — Krauss: „Die Nomographie“. Berlin 1922. — Meyer, U.: „Rechentafeln zur Leitungsberechnung“ ETZ 1921, S. 1225. — Bloch: „Lichttechnische Berechnungen in nomographischer Behandlungsweise“, ETZ 1922, S. 73. — Ott: „Fluchtlinientafeln“, Betrieb, Dezember 1920. — „Tafeln für die Berechnung von Gleich- und Wechselstromleitungen“. ETZ 1922, S. 1318. — Schweddt: Fluchtlinientafeln, Grundlagen und Anwendungen auf Fragen der Leitungsberechnung und Beleuchtungstechnik. ETZ 1922, S. 777. — von Stritzl: „Die Nomographie und ihre Anwendungen im Elektromaschinenbau“. ETZ 1922, S. 781. — Wehage: „Rechentafeln zur Auswertung von Nebensprechmessungen“, ETZ 1922 S. 1239. — Böhm: „Fluchtlinientafel zur Berechnung der Beeinflussung von Fernmeldelinien durch Drehstromleitungen“. ETZ 1925, S. 836. — „Die Nomographie in der ETZ bis 1924“. ETZ 1925, S. 1080.

Statik.

(18) **Zusammensetzung von Kräften in der Ebene.** a) Zwei Kräfte: Parallelogramm (Dreieck) der Kräfte (in Abb. 11 z. T. punktiert), P_1, P_2 Seiten-, R_{12} Mittelkraft.

$$R_{12} = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 - 2 P_1 P_2 \cos \alpha}$$

$$P_1 : P_2 : R_{12} = \sin \alpha_1 : \sin \alpha_2 : \sin \alpha$$

b) Drei und mehr Kräfte in einem Punkte (Abb. 10): Kräftezug, geschlossenes Kräftepolygon, Kräfteviereck. Die Mittelkraft schließt den Kräftezug; Abb. 10 zeigt die Stützkraft, welche der Mittelkraft gleich und entgegengesetzt ist. Zur Berechnung zerlegt man die Kräfte nach den rechtwinkligen Koordinatenachsen, addiert je die gleichgerichteten Seitenkräfte und setzt die Summen wieder zusammen:

$$R_{12 \dots n} = \sqrt{[\sum P_n \cos \alpha_n]^2 + [\sum P_n \cos \beta_n]^2 + [\sum P_n \cos \gamma_n]^2}$$

$$\cos(R, X) = \frac{\sum P_n \cos \alpha_n}{R}; \quad \cos(R, Y) = \frac{\sum P_n \cos \beta_n}{R}; \quad \cos(R, Z) = \frac{\sum P_n \cos \gamma_n}{R}$$

c) Kräfte greifen nicht in einem Punkte an (Abb. 12): aus dem Kräftezug wie unter b) (Abb. 10) R_{123} nach Größe und Richtung. Pol p in Abb. 13 beliebig, Polstrahlen $R_1, (1, 2)$ usw.; parallel zu den Polstrahlen Seilzug in Abb. 12; die Wirkungslinie der Mittelkraft geht durch den Schnittpunkt von R_I und R_{IV} . R_{123} ist die der Mittelkraft gleiche, ihr entgegengesetzt gerichtete Stützkraft. — Parallele Kräfte, Abb. 14. Belastung des in a und b

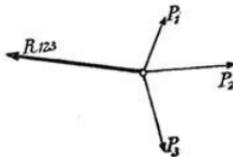


Abb. 10. Mehrere Kräfte in einem Punkt.

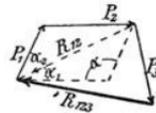


Abb. 11. Kräftezug.

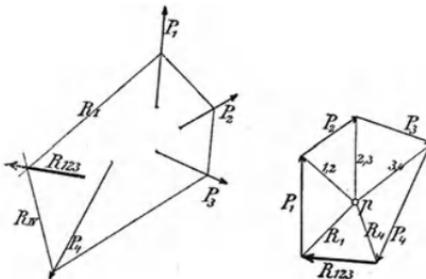


Abb. 12 u. 13. Kräfte in verschiedenen Punkten; Seilzug.

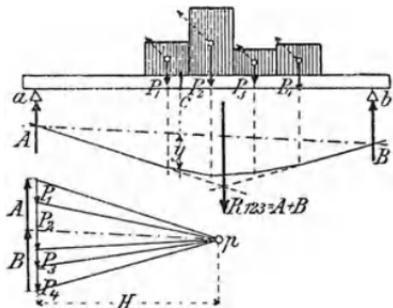


Abb. 14 Parallele Kräfte.

gelagerten Balkens prop. der schraffierten Fläche, Kräfte $P_1, P_2 \dots$ Kräftezug durch Aneinanderfügen der gleichgerichteten Kräfte P_1 bis P_4 , Mittelkraft = ΣP ; p beliebig, Polstrahlen, danach Seilzug durch Parallele zu den Polstrahlen gezeichnet, Mittelkraft geht durch den Schnittpunkt des ersten mit dem letzten Strahl. Die Parallele durch p zur Schlußlinie des Seilzugs teilt ΣP in die Aufgedrucke $A+B$. Die vom Seilzug und dessen Schlußlinie umschriebene Fläche heißt Momentenfläche. Das Moment der Kräfte auf einer Seite des beliebigen Punktes c ist $H \cdot y$, worin y die Ordinate in der Momentenfläche unter c .

Zur Bestimmung des Mittelpunkts der Kräfte P wird die Mittelkraft für noch eine Richtung der Kräfte (in Abb. 14 punktiert) aufgesucht; der Schnittpunkt beider R ist der Kräftemittelpunkt und der Schwerpunkt der schraffierten Fläche.

(19) **Trägheitsmomente** sind Ausdrücke von der Form $J = \int r^2 dm$ oder $\sum r^2 m$, worin dm Elemente, r ihre Abstände von der Achse sind, auf die J bezogen wird. Für das T. eines Körpers bedeutet dm Massenelemente, bei Flächen deren Elemente.

Äquatoriales T. einer ebenen Fläche, Achse in der Ebene, $J_x = \int y^2 dF$, dF Flächenelemente.

Polares T. einer ebenen Fläche, bezogen auf einen Punkt der Ebene (Pol) $J_p = \int r^2 dF$, r Abstand vom Pol. $J_p = J_x + J_y$, letztere bezogen auf zwei sich im Pol \perp schneidende Achsen.

T. für parallele Achsen: J_s bezogen auf die Schwerpunktsachse, J (für Masse m) und J_x (für Fläche F) bezogen auf Achsen, die \parallel zu jener im Abstand a laufen: $J = J_s + ma^2$, $J_x = J_s + Fa^2$.

Widerstandsmoment $W = J : e$, J für eine Schwerpunktsachse, e größte Entfernung eines Flächenteils von der Achse.

Trägheitshalbmesser der Masse m oder Fläche F : $i = \sqrt{J/m}$ bzw. $\sqrt{J/F}$.

Literatur.

Muller-Breslau: Graphische Statik der Baukonstruktionen. Winnig: Grundlagen der Bautechnik für oberrheinische Telegraphenlinien.

Äquatoriale Trägheitsmomente J_x und Widerstandsmomente W_x , Polare Trägheitsmomente J_p und Widerstandsmomente W_p .

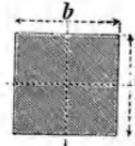
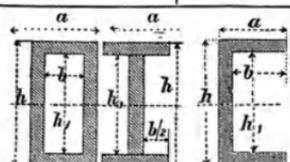
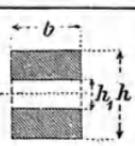
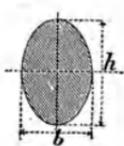
 $J_x = 1/12 bh^3$ $W_x = 1/6 bh^2$ $J_p = 1/12 bh(b^2 + h^2)$ $W_p = 1/6 b(b^2 + h^2)$	 $J_x = 1/12 b^4$ $W_x = 1/6 b^3$ $J_p = 1/6 b^4$ $W_p = 1/3 b^3$	 $J_x = 0,0491 d^4$ $W_x = 0,0982 d^3$ $J_p = 0,0982 d^4$ $W_p = 0,1963 d^3$	 $J_x = 0,0491 (d^4 - d_1^4)$ $W_x = 0,0982 \frac{(d^4 - d_1^4)}{d}$ $J_p = 0,0982 (d^4 - d_1^4)$ $W_p = 0,1963 \frac{(d^4 - d_1^4)}{d}$
 $J_x = \frac{(ah^3 - bh_1^3)}{12}$ $W_x = \frac{ah^3 - bh_1^3}{6b}$	 $J_x = \frac{b(h^3 - h_1^3)}{12}$ $W_x = \frac{b(h^3 - h_1^3)}{6h}$	 $J_x = 0,0491 bh^3$ $W_x = 0,0982 bh^2$ $l_1 = 0,4244 r$	

Abb. 15a bis g Trägheits- und Widerstandsmomente für verschiedene Querschnitte

Trägheitsmomente homogener Körper,
bezogen auf eine durch den Schwerpunkt gehende Achse.

Gestalt des Körpers	Schwerpunktachse	Trägheitsmoment
Parallelepiped, Kanten a, b, c	$\parallel a$	$\frac{1}{12} m (b^2 + c^2)$
Zylinder, Halbmesser r , Länge l	in der Zylinderachse	$\frac{1}{2} m r^2$
	\perp z. Zylinderachse	$m (\frac{1}{12} l^2 + \frac{1}{4} r^2)$
Hohlzylinder, Ring: äußerer Halbm. R , inn. r , Länge l	in der Ringachse	$\frac{1}{2} m (R^2 + r^2)$
	\perp zur Ringachse	$m (\frac{1}{12} l^2 + \frac{1}{4} (R^2 + r^2))$
dünnwandige Röhre $R + r = 2r'$	in der Rohrachse	$m r'^2$
dünnere Stab oder Röhre	\perp zur Stabachse	$\frac{1}{12} m l^2$

Festigkeit.

(20) **Begriffe.** Spannung p = Kraft P : Fläche F . Festigkeitsgrenze ist die Spannung, welche hinreicht, den Zusammenhang der Teile aufzuheben; die ihr entsprechende Kraft heißt Bruchlast.

Dehnung ε ist das Verhältnis der Längenänderung Δl eines Stabes zur ursprünglichen Länge l , also $\varepsilon = \Delta l/l$. — Dehnungszahl α ist die Dehnung für die Spannung 1; $\varepsilon = \alpha p$. — Elastizitätsmaß $E = 1/\alpha$. — Für manche Stoffe ist $\Delta l/l = \alpha \cdot p$ (Hookesches Gesetz, gültig innerhalb der Elastizitätsgrenze). Allgemein ist $\Delta l/l = \alpha \cdot p^n$, worin n meist > 1 , manchmal auch < 1 .

Querzusammenziehung ε_q ist das Verhältnis der Verringerung δ des Durchmessers d zum Durchmesser $\varepsilon_q = \delta/d$; $\varepsilon/\varepsilon_q = m$ (Poisson'sche Zahl) liegt für isotrope Körper zwischen 3 und 4, hat für Metalle den Wert $10/3$.

Schubzahl β ist die Strecke, um die sich zwei um die Längeneinheit voneinander abtastende Flächenteilchen unter der Einwirkung der Schubspannung 1 kg/cm^2 gegeneinander verschieben.

Schubfestigkeit ist die Schubspannung, bei der sich zwei gegeneinander verschobene Querschnittsebenen eines Stabes trennen.

Elastizitätsgrenze ist die größte Spannung, bei der die bleibende Dehnung noch verschwindend klein ist; die zugehörige Kraft heißt Traglast.

Tragsicherheit = Verhältnis Elastizitätsgrenze / höchste Spannung.

Bruchsicherheit = Verhältnis Festigkeitsgrenze / höchste Spannung.

In die Rechnung einzuführen: P in kg^* , l in cm , q in cm^2 , p in kg^*/cm^2 , J in cm^4 , W in cm^3 , M und D in $\text{kg} \cdot \text{cm}$.

(21) **Formeln und Zahlen.** Zug-, Druck- und Schubfestigkeit. Zulässige Belastung $P = q \cdot p$; p aus der Tafel S. 28 u. 29 zu entnehmen als p_n, p_k, p_s . Die Elastizitätsgrenze für Schub ist etwa $4/5$ des kleineren Wertes für Zug oder Druck; die Schubspannung τ ist für rechteck. Querschnitt $3 p/2 b h$ und für kreisförm. Querschnitt $= 16 p/3 \pi d^2$.

Biegefestigkeit. Biegemoment $M = P \cdot x$; P Last, x ihr Hebelarm. Im gefährlichen Querschnitt wird $P \cdot x$ ein Maximum; dies muß sein $\leq W_p \cdot p_b$; W_p s. S. 25, p_b s. S. 29

Einige wichtige Fälle von Biegebeanspruchung.

Art der Beanspruchung	M_{max}	Tragkraft P	Durchbiegung f
Abb. 16a	Pl	$\frac{W_x}{l} p_b$	$\frac{P \alpha}{J_x} \frac{l^3}{3}$
Abb. 16b	$\frac{Pl}{2}$	$2 \frac{W_x}{l} p_b$	$\frac{P \alpha}{J_x} \frac{l^3}{8}$
Abb. 16c	$\frac{Pl}{4}$	$4 \frac{W_x}{l} p_b$	$\frac{P \alpha}{J_x} \frac{l^3}{48}$
auf beiden Seiten eingespannt	$\frac{Pl}{8}$	$8 \frac{W_x}{l} p_b$	$\frac{P \alpha}{J_x} \frac{l^3}{192}$
Abb. 16d.	$\frac{Pl}{8}$	$8 \frac{W_x}{l} p_b$	$\frac{P \alpha}{J_x} \frac{5l^3}{384}$
auf beiden Seiten eingespannt	$\frac{Pl}{12}$	$12 \frac{W_x}{l} p_b$	$\frac{P \alpha}{J_x} \frac{l^3}{384}$

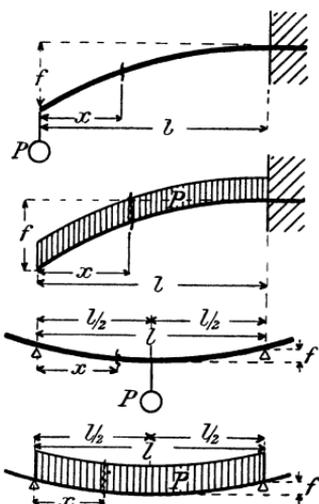


Abb. 16a bis d. Biegung eines Stabes.

Knickfestigkeit.

Ein Ende eingespannt, ein Ende frei	Beide Enden frei und geführt	Ein Ende eingespannt, ein Ende geführt	Beide Enden eingespannt
$\text{Knicklast } P_k = \frac{\pi^2}{4} \frac{J_x}{\alpha l^2}$	$= \pi^2 \frac{J_x}{\alpha l^2}$	$\approx 2\pi^2 \frac{J_x}{\alpha l^2}$	$\approx 4\pi^2 \frac{J_x}{\alpha l^2}$

Abb. 17a bis d. Knickung eines Stabes.

Eulersche Formeln: J_x ist das kleinste äquatoriale Trägheitsmoment des Querschnitts in cm^4 , l in cm , α in cm^2/kg , P in kg/cm^2 ; $P/F >$ Elastizitätsgrenze.

Die Eulersche Formel für den 2. Fall ist nur anwendbar, wenn $l:i \geq 80$ (Gußeisen), 122 (Schweißeisen), 105 (Flußeisen), 90 (Flußstahl), 100 (Holz). Für kleinere Längen, als den Grenzwerten von $l:i$ entspricht, sind die Tetmeyer'schen Formeln (vgl. Hütte) zu benutzen.

Drehfestigkeit. Das Drehmoment $D = Pl \leq W_p p_a$, l Hebelarm der drehenden Kraft, W_p S. 25. Der Verdrehungswinkel zweier um 1 mm voneinander abstehender Querschnitte eines runden Stabes ist $\vartheta = D\beta/J_p$, J_p s. S. 25, β S. 28.

Festigkeitszahlen in kg/cm².

Stoff	α 10—8.	β 10—8.	Zug- festigkeit kg/cm ²	Drähte aus	α 10—8.	Zug- festigkeit kg/cm ²
Schweißbeisen Sehnen	50,0	130	3300—4000	Eisen, blank gezogen.		5600—7000
„ I Sehnen	50,0	130	2800—3500	„ gegülht	50	4000
Flußbeisen	46,5	121	3400—5000	Bessemerstahl, blank.		6500
Flußstahl	45,5	118	5000—20000	„ gegülht	46,5	4000—6000
Flußstahl, ungehärtet	45,5	118	10000 u. mehr	Tiegelstahl	46,5	9000—19000
„ gehärtet.	45,5	118	17000 u. mehr	Zink	670	1900
Stahlguß	46,5	121	3500—7000 u m	Kupfer	77	4000
Gußeisen	95—133	250—345	1200—2400	Bronze		4600—7100
Kupfer, gewalztes Blech	87		2000—2300	Siliziumbronze		6500—8500
Messing, gegossen	125		1500	Doppelbronze		7600
Rotguß	111		2000	Phosphorbronze, blank.		14000
Phosphorbronze			4000	„ gegülht		6300
Manganbronze	83—106		2900—3570	Messing.	100	5000—6100
Aluminium	148	380	930—1000	Aluminium, kalt geschmiedet		2300—2700
Aluminiumbronze	83		4300—6200	Al.-Bronze, gegossen		6500
Zink, gewalzt.	83—114		2050—2570	Blei	1400	170—220
Zinn	250		350			
Blei, weich	2000		125	Druckfestigkeit: Gußeisen		7000—8500
„ hart			300	Porzellan		4780
Glas	142		250	Biegefestigkeit:		4200—5600
Holz, Faser.	440—1100		750—1340	Die Bruchsisicherheit wird im allgemeinen gewertet für		
Porzellan	140—190		1300—2000	Holz 10, Metall 6, Stein 12, Mauerwerk 20, Seil 3 bis 5.		

Spannungszahlen.

Die Zahlen der Tafel sind mit 100 zu multiplizieren, um kg^*/cm^2 zu erhalten. Man nehme die zulässigen Spannungen unter:

a für ruhende Belastung.

b für Spannungen wechselnd zwischen 0 und dem Höchstwert.

c für Spannungen wechselnd zwischen einem negativen und einem positiven Höchstwert.

Stoff	zulässige Spannung in kg^*/mm^2													
	auf Zug p_z			Druck p_k		Biegung p_b			Schub p_s			Drehung p_d		
	a	b	c	a	b	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Schweißeisen	9	6	3	9	6	9	6	3	7,2	4,8	2,4	3,6	2,4	1,2
Flußeisen	11	7	3,5	11	7	11	7	3,5	8,4	5,6	2,8	7,2	4,8	2,4
Flußstahl	14	9	4,5	14	9	14	9	4,5	11	7,2	3,6	11	7	3,5
Tiegelgußstahl geh.								43						
Gußeisen	3	2	1	9	6	4,5	3	1,5	3	2	1	1,5	1	0,5

Zusammengesetzte Festigkeit. Die zulässige Beanspruchung ergibt sich für: 1. Zug (Druck) und Biegung: $M/W + p \leq p_z$ oder p_k . Bei starker lotrechter Belastung (Knickgefahr) empfiehlt sich $M/W - p \leq p_z$ oder p_k . 2. Zug (Druck, Biegung) und Drehung: $0,35 p + 0,65 \sqrt{p^2 + 2,4 x^2 \tau^2} \leq p_z$ oder p_k oder p_b . x ist für Zug p_z/p_d , für Druck p_k/p_d , für Biegung p_b/p_d ; hierin ist $p = P/q$; p_z ; p_k , usw. s. obige Tabelle; M s. S. 26 u. 27; W s. S. 25.

Eine neue Formel von Natalis¹⁾ gilt für das ganze Bereich; es ist

$$P_k = k_o F \cdot \frac{1 + A}{1 + A + A^2}, \quad A = \frac{k_o}{\pi^2} \cdot \alpha \cdot \left(\frac{l}{i}\right)^2$$

k_o Druckfestigkeit an der Bruchgrenze in kg/cm^2 , l Schublänge in cm, $i = \sqrt{J/A}$ in cm.

(22)

Dichte verschiedener Körper.

Metalle und Legierungen.

Aluminium	2,6—2,7	Magnesium	1,7
Blei	11,2—11,4	Mangan	7,4
Bronze (7,9—14 v H Zinn)	7,4—8,9	Messing	8,3—8,7
Deltametall	8,6	Neusilber, Argentan, Nickel lin usf.	8,4—8,7
Eisen, reines	7,86	Nickel	8,6—8,9
Flußeisen und Flußstahl	7,85	Phosphorbronze	8,8
Schmiedeeisen	7,82	Platin	21,5
Schweißeisen	7,8	Quecksilber 0°	13,6
Schweißstahl	7,86	Silber	10,5
Weißer Guß	7,6—7,7	Siliziumbronze	8,9
Grauer Guß	7,0—7,1	Tantal	16,5
Glockenmetall	8,81	Weißmetall	7,1
Gold	19,3	Wismut	9,8
Kadmium	8,6	Wolfram	19,1
Kanonengut	8,44	Zink	6,9—7,2
Kupfer, gegossen	8,83—8,92	Zinn	7,3
Draht, geh. od. gewalzt	8,94		
elektrolyt.	8,88—8,95		

¹⁾ Dingl. Polyt. J. Bd. 334. S. 69, 1919.

Verschiedene Materialien.

Asbest	2,1—2,8	Anthracit	1,4—1,7
Asbestpappe	1,2	Retortenkohle	1,9
Asphalt	1,1—1,5	Koks im Stück	1,4
Bernstein	1,0—1,1	Holzkohle im Stück	1,5
Beton	1,80—2,45	Kohlenstäbe	1,6
Bleioxyd, -glätte	9,3—9,4	Kolophonium	1,07
Bleisuperoxyd	8,9	Kork	0,24
Braunstein	3,7—4,6	Kupfervitriol	2,3
Chlornatrium	2,16	Linoleum	1,15—1,30
Eis von 0°	0,917	Marmor	2,5—2,9
Elfenbein	1,8—1,9	Mennige	8,6—9,1
Fette	0,92—0,94	Papier	0,70—1,15
Flachs, lufttrocken	1,5	Paraffin	0,9
Gips, gegossen	0,97	Pech	1,1
gebrannt	1,81	Porzellan	2,3—2,5
Glas	2,5—2,7	Salmiak	1,5—1,6
Glimmer	2,7—3,2	Schiefer	2,65
Guttapercha	0,97	Schmirgel	4,0
Hanf, lufttrocken	1,5	Schwefel	1,93—2,07
Hartgummi	1,15	Serpentin	2,4—2,7
Harz	1,07	Speckstein	2,6—2,8
Kalziumkarbid	2,26	Stearin	1,0
Kautschuk, nicht vulkan..	0,92—0,96	Vulkanfaser	1,28
Kohlenstoff		Wachs	0,96
Graphit	1,9—2,3	Zement, Portland-	2,7—3,0
Braunkohle	1,2—1,4	Ziegel	1,4—2,0
Steinkohle	1,2—1,5	Zinkvitriol	2,02

Flüssigkeiten.

Äther	0,74	Petroleum	0,8—0,9
Alkohol	0,79	Rizinusöl	0,97
Amylacetat	0,89	Schwefelkohlenstoff	1,29
Benzin	0,7	Spiritus	0,84
Benzol	0,90	Steinkohlenteer	1,20
Öle, Fette	0,91—0,94	Terpentinöl	0,87

Wässrige Lösungen von Säuren, Alkalien und Salzen.

Dichte bei 15° C	100 Gewichtsteile der Lösung enthalten Gewichtsteile:							
	Schwefel- säure H_2SO_4	Salpeter- säure HNO_2	Salz- säure HCl	Kali- lauge KHO	Natron- lauge $NaHO$	Chlor- natrium $NaCl$	Kupfer- vitriol $CuSO_4$ + 5 H_2O	Zink- vitriol $ZnSO_4$ + 7 H_2O
1,05	7,5	8,2	10	6,1	4,3	6,9	7,8	8,5
1,10	14	17	20	12	8,7	14	15	17
1,15	21	25	30	17	13	20	28	24
1,20	27	32	40	22	18	26		31
1,25	33	40		27	22			37
1,30	39	47		31	27			44
1,4	50	65		39	37			55
1,5	60	91		47	46			
1,6	69			55	56			

Wärme.

(23) **Temperaturen.** Siedetemperatur T des Wassers bei verschiedenen Barometerhöhen (b_0):

$b_0 = 740$	745	750	755	760	765	770
$T = 99,3$	99,4	99,6	99,8	100,0	100,2	100,4.

Umrechnung eines Gasvolumens von der Temperatur $t^\circ\text{C}$ und dem Druck b mm Quecksilber auf 0° und 760 mm:

$$\text{Volumen bei } 0^\circ = \text{Volumen bei } t^\circ \times \frac{273}{273+t} \cdot \frac{b}{760}$$

Schmelz- und Siedepunkte.

Metalle und Legierungen	Schmelzpunkt $^\circ\text{C}$	Siedepunkt $^\circ\text{C}$	leicht schmelzbare Legierungen				Schmelzpunkt $^\circ\text{C}$	
			Gewichtsteile					
			<i>Cd</i>	<i>Sn</i>	<i>Pb</i>	<i>Bi</i>		
Aluminium	658	1800						
Blei . . .	327,4	1525						
Eisen, rein.	1600	2450	Lipowitz . . .	3	4	8	15	60—65,5
Roheisen	1100—1200		Wood . . .	1	1	2	4	65,5—70
Stahl . . .	1300—1400		Rose . . .	—	4	4	8	95
Gold . . .	1063	2530	Organische Körper				Schmelzpunkt	Siedepunkt
Iridium . . .	2340		Alkohol					78,5
Bronze . . .	etwa 900		Amylacetat zur Hefnerlampe					138
Deltametall	950		Äther					35
Messing . . .	etwa 900		Benzin					90—110
Kupfer . . .	1083	2310	Ligroin					110—120
Magnesium	651	1120	Paraffin, weich				38—52	350—390
Nickel . . .	1460	2325	„ hart				52—56	390—430
Platin . . .	1764	2400	Schmalz, Talg, Wachs				40—65	
Quecksilber	—38,9	357	Terpentinöl					160
Silber . . .	960,5	1950	Wallrat				44—44,5	
Tantal . . .	2900		Gase					
Wolfram . . .	3000	3710	Schweflige Säure					—10
Zink	419,4	918	Ammoniak					—33
Zinn	231,8	2270	Kohlensäure					—78
Schwefel . .	119	444,5	Sauerstoff					—183
Selen	217	690	Kohlenoxyd					—190
Chlornatrium	801		Stickstoff					—196
			Wasserstoff					—253
			Helium					—268

(24) Inneres Wärmeleitungsvermögen einiger Körper,
bezogen auf $\text{cm}^2, \text{cm}, ^\circ\text{C}, \text{cal.}$

Aluminium . .	0,35			Quecksilber . .	0,02
Antimon . . .	0,04	Kohle	{ 0,0003	Schiefer	0,0008
Blei	0,08	Kupfer	{ —0,0004	Silber	1,1
Eisen	0,16	Luft	0,7—1,0	Wismuth	0,017
Glas	0,002	Marmor	0,00005	Woodsches	
Graphit	0,16	Messing	0,001—0,002	Metall	0,03
Hartgummi . .	0,0002	Neusilber . . .	0,2—0,3	Zinn	0,14
Holz	0,0003	Paraiffin . . .	0,07—0,10	Zink	0,30
Kadmium . . .	0,21	Porzellan . . .	0,0001		
			0,002		

(25) Spezifische Wärme fester und flüssiger Körper.

Äther	0,56	Platin	0,03
Alkohol	0,58	Porzellan	0,17
Aluminium	0,21	Quarz	0,19
Blei, fest	0,031	Quecksilber	0,033
flüssig	0,040	Roses Metall	0,04
Bleiglätte	0,05	Schwefel	0,17
Chloroform	0,23	Schwefelkohlenstoff	0,24
Eis	0,5	Schwefelsäure, konz.	0,33
Eisen bei 0°	0,112	Silber	0,055
100°	0,114	Tantal	0,036
300°	0,127	Terpentinöl	0,42
Stahl 20—100°	0,118	Wismut	0,029
Schmiedeeisen	0,108	Zink	0,092
Glas	0,19	Zinn	0,052
Gold	0,03	Woods Metall	0,04
Kohle, Gaskohle	0,2—0,3		
Holzkohle	0,16—0,20	Atmosphärische Luft,	
Graphit 0°	0,15	Kohlensäure, Sauerstoff	
200°	0,30	und Stickstoff bezogen	
Kupfer	0,091	auf gleiche Masse Wasser	
Magnesium	0,25	bei konstantem Druck	0,23
Messing	0,093	bei konstant. Volumen	0,17
Nickel	0,11		

(26) Verdampfungswärme bei 760 mm Druck.

Äther	90	Quecksilber	68
Alkohol	210	Schwefel	362
Chloroform	58	Wasser	539

(27) Ausdehnungskoeffizienten.**Lineare Ausdehnungskoeffizienten fester Körper.**

Aluminium	22. 10 ⁻⁶	Kupfer	17. 10 ⁻⁶
Blei	28. 10 ⁻⁶	Messing	19. 10 ⁻⁶
Bronze	18. 10 ⁻⁶	Neusilber	18. 10 ⁻⁶
Eisen und Stahl	12. 10 ⁻⁶	Nickel	13. 10 ⁻⁶
Glas	6 bis 10. 10 ⁻⁶	Platin	9. 10 ⁻⁶
Graphit	8. 10 ⁻⁶	Platin-Iridium	9. 10 ⁻⁶
Hartgummi	80. 10 ⁻⁶	Porzellan	5. 10 ⁻⁶
Holz, quer	30 bis 60. 10 ⁻⁶	Schwefel	80. 10 ⁻⁶
„ längs	3 bis 10. 10 ⁻⁶	Silber	19. 10 ⁻⁶
Invar 64 Fe, 36 Ni	2. 10 ⁻⁶	Zinn	23. 10 ⁻⁶
Kohle, Gaskohle	5. 10 ⁻⁶	Zink	30. 10 ⁻⁶

Kubische Ausdehnungskoeffizienten von Flüssigkeiten und Gasen.

Atmosphärische Luft, Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Kohlen- säure	0,0037
Äther, flüssig	0,0021
Alkohol „	0,0012
Quecksilber	0,00018
„ in Glas, scheinbar	0,00015
Wasser 4—25°, Mittel	0,0001

Zweiter Abschnitt.

Magnetismus und Elektrizität.

Magnetismus.

(28) Magnetische Stoffe. Am stärksten magnetisierbar sind: Eisen, Stahl, in geringerem Maße Magneteisenstein (Fe_3O_4), Nickel, Kobalt sowie die Legierungen von Kupfer mit Manganaluminium und Manganzinn (H e u s l e r). Zwar zeigen alle diese Materialien auch nach Aufhören der magnetisierenden Kraft sogenannten „remanenten“ Magnetismus, doch verschwindet dieser durch magnetische Felder, Erschütterungen usw. leicht wieder bei den „magnetisch weichen“ Materialien (reines Eisen, Eisensiliziumlegierungen u. dgl.), schwerer bei den übrigen, „magnetisch harten“, am schwersten bei bestimmten Stahlsorten, die sich daher besonders zu permanenten Magneten eignen (30, 39).

(29) Verteilung des Magnetismus. Bei jedem Magnet scheint die Wirkung nach außen von zwei verhältnismäßig kleinen Stellen nahe den Enden auszugehen, den Polen (ihre Verbindungslinie = magnetische Achse), während der Teil in der Mitte zwischen den Polen, die Indifferenzzone, nach außen fast keine Wirkung ausübt. Bei vielen Berechnungen darf man sich einen Magnet durch zwei starr verbundene punktförmige Magnetpole ersetzt denken, in denen der ganze freie Magnetismus konzentriert ist. Der Polabstand beträgt etwa $\frac{5}{6}$ der Länge eines stabförmigen bzw. des Durchmessers eines scheiben- oder ringförmigen Magnetes, hängt jedoch noch von der Gestalt des Magnetes und der Stärke der Magnetisierung ab.

Bei einem Rotationsellipsoid von der Länge l ist nach dieser Definition (Fernwirkung) der Polabstand = $0,775 l$ (vgl. z. B. G a n s: ETZ 1907, S. 529; dort sind auch die Bedingungen für die Zulässigkeit der Annahme punktförmiger Pole diskutiert). Nach einer zweiten, weniger gebräuchlichen Definition wird der Pol als Schwerpunkt des freien Magnetismus betrachtet; der Polabstand nach dieser Definition ist im allgemeinen kleiner, z. B. beim Rotationsellipsoid nur $0,67 l$.

Die Verteilung des Magnetismus im Innern des Magnetes ist der des freien Magnetismus entgegengesetzt; an den Polen hat der im Innern vorhandene Magnetismus ein Minimum, in der Indifferenzzone ein Maximum.

(30) Herstellung der Magnete. Das beste Material war bisher harter Stahl mit $0,7$ – $1,2$ % C und einem Zusatz von 3 – 6 % W , Cr oder Mo ; Härtungstemperatur 800 – 850 °. Bedeutende Verbesserungen sind neuerdings erzielt worden durch Zusatz von 4 – 5 % Mn , 4 % Cr und 35 % Co (Gumlich: ETZ 1923, H. 7; das Material wird von Krupp hergestellt) oder von 5 – 9 % W , $1,5$ – 3 % Cr , 30 – 40 % Co (Honda und Saitô: Phys. Rev. R. 2, Bd. 16, S. 495). Starke Magnete setzt man aus dünneren Stäben oder Hufeisen zusammen, die vorher einzeln magnetisiert worden sind.

Die zu magnetisierenden Stahlstäbe oder -hufeisen werden an die Pole eines kräftigen hufeisenförmigen Stahl- oder Elektromagnetes gelegt und ein wenig

hin- und hergezogen, ein Stab auch um seine Längsachse gedreht. Vor dem Abreißen legt man dem Hufeisen einen Anker vor. Gerade Stäbe magnetisiert man am besten in einer von einem starken Strom durchflossenen Spule. Statt einer langen Spule, die den ganzen Stab bedeckt, genügt zur Not auch eine kurze Spule, die man über den Stab oder das Hufeisen der Länge nach wegzieht. Besonders kräftige Magnetisierung erreicht man bei Hufeisenmagneten, wenn man den ganzen Raum zwischen den Schenkeln mit einem oder mehreren starken Kabeln anfüllt, durch die man ganz kurz einen möglichst hohen Strom schickt.

Haltbare Magnete. Im allgemeinen nimmt die Stärke permanenter Magnete schon bei längerem Lagern, besonders aber beim Gebrauch, infolge kleiner Temperaturschwankungen und Erschütterungen auch bei sorgfältiger Behandlung ab. Um dies möglichst zu vermeiden, behandelt man sie in folgender Weise (Alterung): Vor oder nach dem ersten Magnetisieren werden sie für mehrere Stunden in den Dampf von siedendem Wasser gebracht; nach dem Abkühlen magnetisiert man sie wieder und nimmt nun eine Reihe von kürzeren Erwärmungen und Abkühlungen vor. Sodann werden sie kräftigen Erschütterungen (Schlägen mit einem Holzhammer u. dgl.) ausgesetzt (Strouhal und Barus).

Temperaturkoeffizient permanenter Magnete. Das Moment gealterter Magnete nimmt bei mäßigen Temperaturschwankungen nicht mehr dauernd ab, wohl aber ändert es sich mit der Temperatur: es sinkt mit steigender Temperatur und nimmt mit fallender wieder zu. Die Änderung (der Temperaturkoeffizient) beträgt im allgemeinen 0,02—0,06 % für 1° C. Die Größe desselben hängt vom Material, aber auch von der Gestalt des Magnets ab: Langgestreckte Stabmagnete und lange, gut geschlossene Hufeisenmagnete haben einen geringeren Temperaturkoeffizienten als kurze, gedrungene Stabmagnete oder kurze, schlecht geschlossene Hufeisenmagnete. Magnete aus reinem, bei 1100° gehärtetem Kohlenstoffstahl mit etwa 1,4% C besitzen keinen Temperaturkoeffizient, aber auch nur geringes magnetisches Moment (Gumlich: Wiss. Abh. der Reichsanstalt IV, H. 3, S. 343).

Äußerungen der magnetischen Kraft.

(31) **Magnetische Verteilung.** Nähert man einem Magnet ein Stück Eisen oder Stahl, so wird das letztere ebenfalls zu einem Magnet; jeder Pol des ersteren Magnetes erzeugt in den ihm zunächst liegenden Teilen des genäherten Körpers einen ihm ungleichnamigen Pol, in den entfernteren Teilen einen gleichnamigen Pol.

(32) **Tragkraft der Magnete.** Ein Magnetpol hat die Eigenschaft, weiches Eisen anzuziehen und mit einer gewissen Kraft festzuhalten; diese „Tragkraft“ des Magnetes wird gemessen durch das Gewicht, das gerade ausreicht, um ein angezogenes und festgehaltenes Stück Eisen vom Magnetpol loszureißen. Zwischen der erreichbaren Tragkraft P und der Masse m des Magnetes ist die Beziehung gefunden worden

$$P = a \cdot \sqrt[3]{m^2} \text{ Kilogramm-Kraft,}$$

worin m in kg gemessen wird (D. Bernoulli). Die Zahl a ist für einen Pol = 10, für zwei Pole = 20 (ungefähr), doch spielen Gestalt und Material dabei eine erhebliche Rolle. Die Tragkraft ist im wesentlichen der Polfläche proportional, s. (125, b).

Allgemeiner: Treten vom Magnet zum Anker auf 1 cm² Kraftlinien senkrecht über, so ist nach Maxwell bei F cm² Polfläche die Anziehung P zwischen Magnet und Anker gegeben durch

$$P = \frac{F \cdot 98^2}{8\pi} \text{ Dyn} \approx \frac{F \cdot 98^2}{25000} \text{ Gramm-Kraft.}$$

(33) **Anziehung und Abstoßung.** Eisen und nicht magnetisierter Stahl werden von beiden Polen angezogen (31). — Für Magnetpole untereinander gilt der Satz:

Gleichnamige Pole stoßen sich ab, ungleichnamige Pole ziehen sich an.

Gesetz der magnetischen Fernwirkung. Die Kraft, mit welcher ein Magnetpol einen anderen anzieht bzw. abstößt, ist nach der Verbindungslinie der beiden Pole gerichtet und unabhängig von der Natur des zwischenliegenden Mittels, wenn das letztere unmagnetisch ist. Sie ist proportional den wirkenden Magnetismen und umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung der Pole voneinander:

$$P = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}.$$

Maß des Magnetismus eines Poles. Die Einheit des Magnetismus besitzt also derjenige Pol, der einen gleichstarken, 1 cm entfernten ungleichnamigen Pol mit der Einheit der Kraft (Dyn) anzieht, d. i. nahezu mit derselben Kraft, mit der die Masse von 1 mg von der Erde angezogen wird.

(34) Magnetisches Moment. Praktisch kommen niemals vereinzelter Pole, sondern immer Magnete, d. i. Paare von ungleichnamigen Polen vor. Die Pole eines Magnetes sind in der Regel gleich stark; besitzt der eine Nordmagnetismus von der Stärke m , also $+m$, so hat der andere Südmagnetismus von der Stärke m , d. i. $-m$. Das Produkt aus dem Magnetismus eines Poles in den Polabstand heißt das magnetische Moment des Magnetes. Polabstand s. (29).

Bei beliebiger Verteilung der magnetischen Mengen dm gilt allgemein für das magnetische Moment $\mathfrak{M} = \int r \cdot dm$, wo r den Radiusvektor von einem beliebigen Raumpunkt nach dem Punkt dm bezeichnet. Die einzelnen magnetischen Momente sind vektoriell zusammensetzen bzw. in Komponenten $\mathfrak{M}_x = \int x \, d\mathfrak{M}$ usw. zu zerlegen.

Wirkung eines Magnetes auf einen anderen. Ein Magnetstab (vom Moment \mathfrak{M}) liege fest an einer Stelle einer wagerechten Ebene, in der eine auf einer Spitze gelagerte oder aufgehängte Magnetnadel vom Moment \mathfrak{M}' sich drehen kann.

Erste Hauptlage (Gauß). Die Nadel liegt in der Verlängerung der magnetischen Achse des Stabes und steht senkrecht zur letzteren.

$$\text{Drehmoment } D_1 = 2 \cdot \frac{\mathfrak{M} \cdot \mathfrak{M}'}{r^3} \text{ CGS.}$$

Zweite Hauptlage (Gauß). Die Nadel liegt mit ihrer magnetischen Achse in der Senkrechten auf der Mitte der magnetischen Achse des Stabes.

$$\text{Drehmoment } D_2 = \frac{\mathfrak{M} \cdot \mathfrak{M}'}{r^3} \text{ CGS.}$$

Zwischenlagen. Bildet die Nadel mit den obigen Richtungen den Winkel φ , so sind die betreffenden Ausdrücke noch mit $\cos \varphi$ zu multiplizieren. Macht der Stab mit r den Winkel ψ , so kann man ihn ersetzt denken durch zwei Stäbe, von denen der eine mit dem Moment $\mathfrak{M} \cos \psi$ aus der ersten, der andere mit dem Moment $\mathfrak{M} \sin \psi$ aus der zweiten Hauptlage wirkt.

Diese Gesetze gelten nur auf Entfernungen, die so groß sind, daß die Quadrate der Magnetlängen gegen das Quadrat des Abstandes der Magnete voneinander verschwinden.

Maß des magnetischen Momentes. Ein Magnet vom Moment $\mathfrak{M} = 1$ übt in der zweiten Hauptlage aus der (großen) Entfernung r auf einen anderen, gleichstarken Magnet ($\mathfrak{M}' = 1$) das Drehmoment $1/r^3$ aus, welches also so groß ist, als wenn an dem letzteren Magnet im Abstand 1 cm von der Drehachse ein Zug gleich der Kraft $1/r^3$ wirkte.

(35) Spezifischer Magnetismus ist der Quotient aus dem magnetischen Moment durch die Masse des Magnetes.

Der spezifische Magnetismus, welcher nicht nur vom Material, sondern in hohem Maße auch von der Gestalt des Magnets abhängt, ist bei guten Stahlmagneten etwa = 40 CGS, bei besonders gestreckter Form bis 100 CGS. Elektromagnete aus sehr gutem weichen Eisen erreichen 200 CGS.

Stärke der Magnetisierung \mathfrak{J} ist der Quotient aus dem magnetischen Moment durch das Volumen des Magnets, also das Moment für das Kubikzentimeter oder die Polstärke für das Quadratzentimeter des Magnets $\mathfrak{J} = \mathfrak{M}/V = m/lq = m/q$. Werte nach der Formel in (37) und der Tabelle S. 43 zu berechnen.

(36) Magnetisches Feld und Potential; magnetische Spannung. Die Umgebung eines Magnetpols, eines Magnets oder einer Vereinigung von Magneten heißt deren magnetisches Feld. Die Kraftlinien des Feldes geben für jeden Punkt die Richtung der resultierenden magnetischen Kraft an; die Linien nehmen im allgemeinen ihren Weg strahlenartig von einem Pol zum nächsten ungleichnamigen Pol.

Im magnetischen Felde von der Stärke 1 erleidet der Pol 1 die Kraft 1; ist die Stärke \mathfrak{H} , so übt das Feld auf den Pol m die Kraft $\mathfrak{H} \cdot m$ aus. Wird ein Pol von der Stärke m durch das Feld \mathfrak{H} auf irgendeinem Wege s von einem Punkt A zu einem Punkt B geführt, so ist die dabei aufzuwendende Arbeit $= m \int_A^B (\mathfrak{H}, ds)$ $= m \int_A^B \mathfrak{H}_s ds$, ($\mathfrak{H}_s =$ Projektion von \mathfrak{H} auf ds). $\int_A^B \mathfrak{H}_s ds = \Pi_{AB}$ oder $\int_a^B \mathfrak{H}_s ds = \Pi_a$ ist die magnetische Spannung (Potentialdifferenz) zwischen A und B oder längs der Strecke a ; $\oint \mathfrak{H}_s ds$ längs eines geschlossenen Weges ist die magnetische Umlaufspannung. Diese wird Null für jeden geschlossenen Weg, der keine stromdurchflossene Stellen enthält: $\oint \mathfrak{H} ds = 0$, und $= 0,4 \pi w I$ für einen Weg, der mit $w I$ Amperewindungen verketet ist ($\text{rot } \mathfrak{H} = 4 \pi c/10$; c in A/cm²) vgl. (103).

Das magnetische Feld \mathfrak{H} im Innern einer langen Spule, welche auf die Längeneinheit K Windungen enthält ($K = w/l$) und vom Strome I A durchflossen wird, ist daher $0,4 \pi K I$.

In den nicht von Strömen durchflossenen Teilen des Feldes lassen sich die Komponenten von \mathfrak{H} als Ableitungen eines Potentials ψ darstellen, so daß:

$$\mathfrak{H}_x = -\frac{\partial \psi}{\partial x}; \quad \mathfrak{H}_y = -\frac{\partial \psi}{\partial y}; \quad \mathfrak{H}_z = -\frac{\partial \psi}{\partial z} \quad \text{oder} \quad \mathfrak{H} = -\text{grad } \psi.$$

Starke und dabei gleichmäßige Felder erhält man zwischen den Polen eines Elektromagnets mit ziemlich breiten und nahe aneinander gerückten Polflächen oder, was auf dasselbe hinauskommt, im schmalen Schlitz eines Eisen-Rings oder -Vierecks, dessen Wickelung von einem Strom durchflossen wird. Die Beziehung zwischen Magnetisierungsstrom und Feldstärke muß zunächst empirisch ermittelt und in Kurvenform aufgetragen werden; dann genügt bei gewissen Vorsichtsmaßregeln (G a n s und G m e l i n, Ann. d. Phys. (4) Bd. 28, S. 925; 1909) zur Herstellung eines bestimmten Feldes die Anwendung eines bestimmten Magnetisierungsstromes. Schwächere, gleichmäßige Felder liefert die Mitte einer gleichmäßig bewickelten, relativ langen Spule.

Um den Verlauf der Kraftlinien in einem magnetischen Feld zu untersuchen, kann man sich einer kurzen Magnetnadel bedienen, die sich um zwei zur magnetischen Achse senkrechte Achsen drehen kann; sie stellt sich überall in die Richtung der Kraftlinien ein. Die Richtung, nach welcher der Nordpol der kleinen Magnetnadel zeigt, rechnen wir als positive Richtung der Kraftlinien. — Oder man bringt in das zu untersuchende Feld eine Papier- oder Glastafel, die mit Eisenfeilspänen bestreut ist; die Eisenteilchen ordnen sich bei leisem Klopfen in der Richtung der Kraftlinien an; um sie in ihrer Stellung festzuhalten, bestäubt man sie mit Gummi- oder Schellacklösung.

Wirkung auf eine Magnetnadel. Ist die Stärke des magnetischen Feldes \mathfrak{H} , das magnetische Moment der Nadel \mathfrak{M} , und schließt die magnetische Achse der letzteren mit der Richtung der Kraftlinien den Winkel φ ein, so erfährt die Nadel ein Drehmoment von der Größe $\mathfrak{H} \cdot \mathfrak{M} \cdot \sin \varphi$. Die Schwingungsdauer einer Magnetnadel im Magnetfeld ist $\pi \sqrt{J / \mathfrak{H} \mathfrak{M}}$ s. (J = Trägheitsmoment.)

Als Maß der Stärke des magnetischen Feldes [Messung s. (244)] gilt die Anzahl der Kraftlinien auf 1 cm^2 . Im magnetischen Feld von der Stärke 1 Gauß (eine Kraftlinie auf 1 cm^2) erfährt eine Magnetnadel vom Moment 1, deren magnetische Achse senkrecht zu den Kraftlinien steht, das Drehmoment 1.

(37) **Magnetische Induktion (magnetische Dichte).** Die magnetische Kraft oder die Stärke des magnetischen Feldes \mathfrak{H} an irgendeiner Stelle erzeugt die magnetische Induktion \mathfrak{B} . Wirkt \mathfrak{H} auf einen magnetischen Körper, so ist im Innern des Magnetes

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{H} + 4\pi \mathfrak{J}.$$

\mathfrak{H} und $4\pi \mathfrak{J}$ haben zwar im allgemeinen verschiedene Richtung, so daß sie als Vektoren zu addieren sind, in dem hier wichtigsten Falle, im Eisen, gilt jedoch, wenn man von der Hysterese absieht, die obige einfache Formel. Ferner ist

$$\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{H}} = \mu \qquad \frac{\mathfrak{J}}{\mathfrak{H}} = \kappa \qquad \mu = 1 + 4\pi \kappa.$$

μ heißt Permeabilität oder Durchlässigkeit,
 κ „ Suszeptibilität oder Aufnahmefähigkeit.

Für Luft ist μ sehr nahe = 1, $\kappa = 0$.

Der Pol von der Stärke 1 sendet 4π Kraftlinien, der Magnet von der Magnetisierungsstärke \mathfrak{J} sendet $4\pi \mathfrak{J} q$ Kraftlinien aus; q = Querschnitt.

Die Linien \mathfrak{B} bilden in sich geschlossene Bahnen. Umgrenzt man auf einer beliebigen Fläche, die die Linien \mathfrak{B} schneidet, einen kleinen Teil durch eine in sich geschlossene Kurve, so bilden die durch diese Kurve gehenden Linien \mathfrak{B} eine Induktionsröhre. Diese kann sich durch beliebiges Material, z. B. teilweise durch Eisen, teilweise durch Luft, erstrecken, wobei sich im allgemeinen ihr Querschnitt q ändert, und schließt sich in sich selbst. Eine solche Röhre enthält in jedem Querschnitt gleich viele Induktionslinien \mathfrak{B} ($q_1 \mathfrak{B}_1 = q_2 \mathfrak{B}_2$), aber verschieden viele Feldlinien \mathfrak{H} . Der Stoff, durch den die Bahn führt (ob Eisen, Luft, Holz usw.), ist dabei ganz gleichgültig. In der Technik werden die Induktionslinien häufig Kraftlinien, der Induktionsfluß Kraftfluß, in der Physik die Feldlinien häufig Kraftlinien genannt.

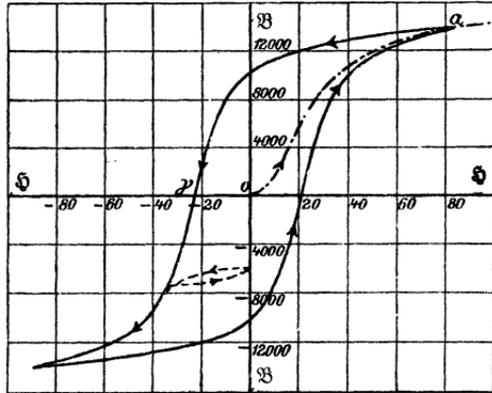


Abb. 18. Magnetisierungskurve (Hystereseschleife).

(38) **Magnetisierungskurve.** Stellt man den Zusammenhang zwischen der magnetisierenden Kraft \mathfrak{H} und der erzeugten Induktion \mathfrak{B} oder der Magnetisierungsstärke \mathfrak{J} durch eine Kurve dar, so erhält man ein Bild, wie es Abb. 18 zeigt. Vom unmagnetischen Zustand im Nullpunkt der Koordinaten ausgehend (Nullkurve)

wächst \mathfrak{B} oder \mathfrak{H} bei schwachen magnetisierenden Kräften erst langsam, dann bedeutend rascher, schließlich wieder immer langsamer. Läßt man in irgend einem Punkte dieser Kurve, z. B. bei *a*, die magnetisierende Kraft wieder abnehmen, so entsprechen den neuen Werten andere \mathfrak{B} oder \mathfrak{H} als beim Zunehmen des Stromes. Ist die magnetisierende Kraft Null geworden, so haben \mathfrak{B} oder \mathfrak{H} noch ganz erhebliche Werte, um dann aber nach Umkehren des Feldes in ähnlicher Weise abzufallen, wie sie vorher im steilsten Teil der Kurve angestiegen waren. Die Ordinate zu 0 (in der

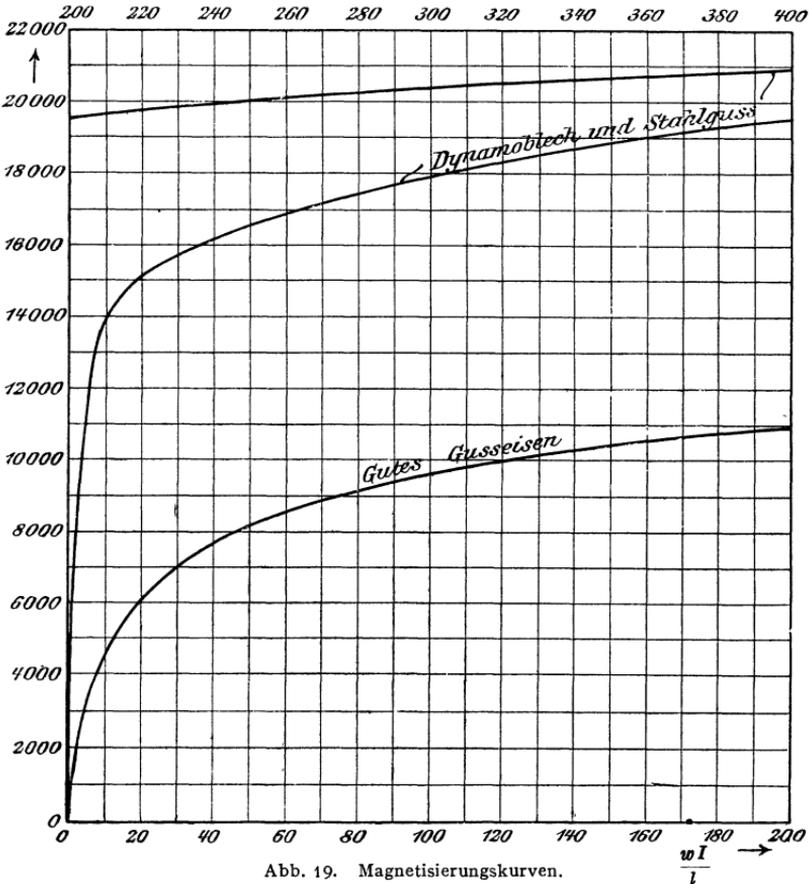


Abb. 19. Magnetisierungskurven.

Abb. etwa 10000) heißt Remanenz. Die Abszisse $O\gamma$ heißt Koerzitivkraft (Hopkinson); sie bezeichnet diejenige Feldstärke, welche nötig ist, um die Remanenz zu beseitigen. Die ausgezogene Kurve stellt einen vollen Wechsel der Magnetisierung von einem hohen Werte von \mathfrak{B} oder \mathfrak{H} in der einen zu einem gleich großen Werte in der entgegengesetzten Richtung und wieder zurück dar. Wie sich aus der Abb. 18 ergibt, zeigt der Magnetismus eine Art von Beharrungsvermögen, insofern er hinter der magnetisierenden Kraft zurückbleibt, wenn diese einen Kreisprozess beschreibt. Diese Eigenschaft nennt man Hysterese (Ewing), eine vollständige magnetische Schleife bezeichnet man als Hystereseschleife. Nach mehrfachem Durchlaufen einer solchen Schleife werden die magnetischen Größen genau zyklisch, d. h. jeder folgende Wechsel verläuft wie der vorhergehende.

Ein Zurückbleiben der Magnetisierung tritt auch dann auf, wenn man an irgendeinem Punkte der Hystereseschleife eine kleinere Schleife einschaltet;

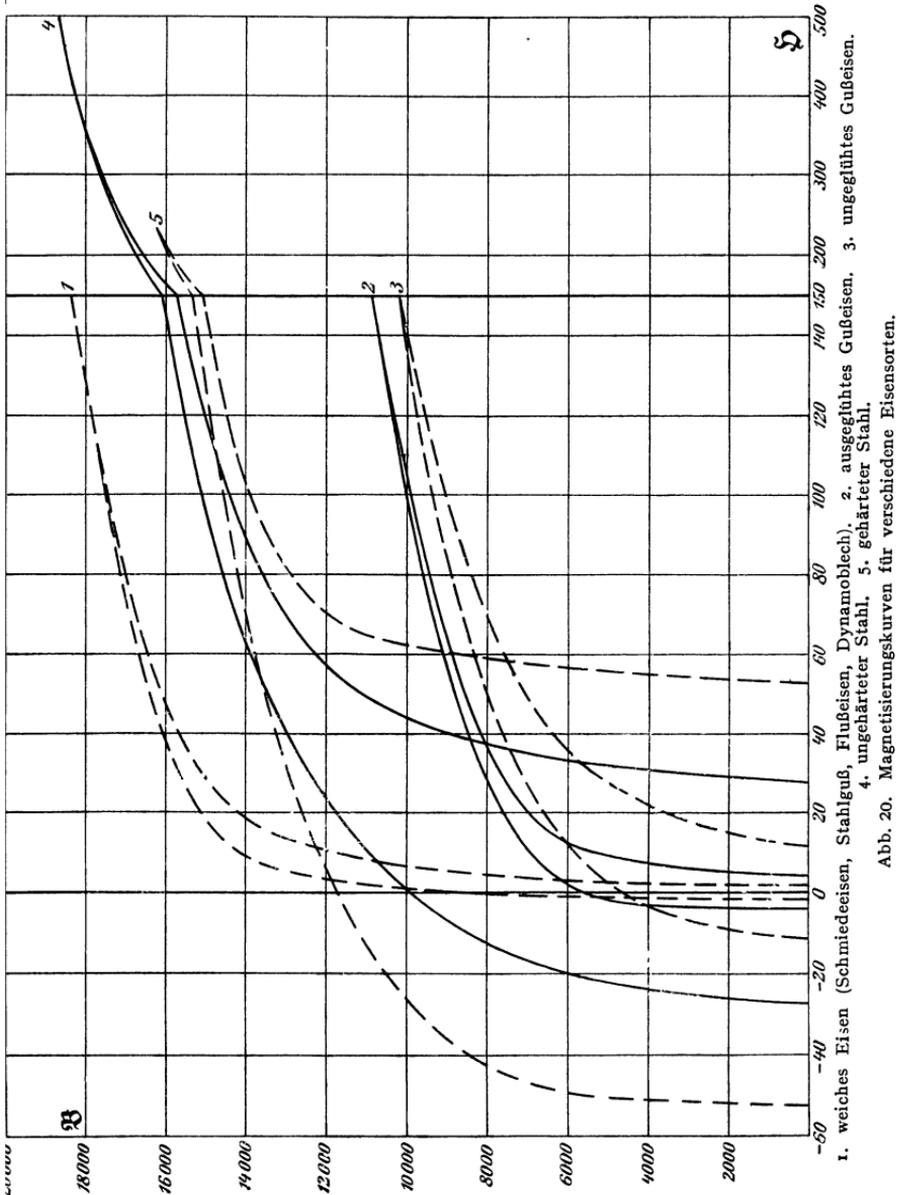


Abb. 20. Magnetisierungskurven für verschiedene Eisensorten.

so zeigt Abb. 18 links unten den Verlauf einer Änderung von \mathfrak{H} von einem höheren negativen Wert zu Null und wieder zurück.

Ist eine derartige Schleife sehr klein, so schrumpft sie zu einer Geraden

zusammen, deren Neigung gegen die \mathfrak{H} -Achse nicht mehr von der Größe der zusätzlichen Feldstärke $d\mathfrak{H}$ abhängt. Entspricht der Feldänderung $d\mathfrak{H}$ die Änderung $d\mathfrak{B}$ der Induktion, so wird die Größe $d\mathfrak{B}/d\mathfrak{H}$ als reversible Permeabilität bezeichnet (G a n s). Hierher gehört auch der erste Anstieg der Nullkurve (s. oben); die Permeabilität für sehr kleine Feldstärken ($\lim \mathfrak{H} = 0$) bezeichnet man dann als Anfangspermeabilität μ_0 .

Abb. 19 gibt die Nullkurven von Stahlguß bzw. normalem Dynamoblech und von gutem Gußeisen, Abb. 20 (S. 39) die Hystereschleifen von fünf Eisen- und

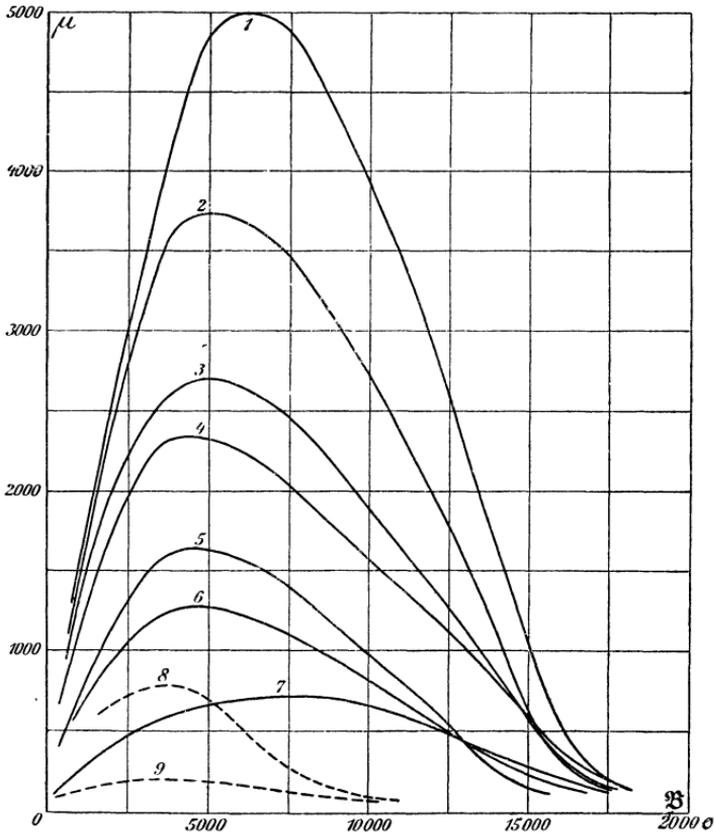


Abb. 21. Permeabilität und Induktion für Stahlguß (1—7) und Gußeisen, geglüht (8), ungeglüht (9).

Stahlsorten. — Abb. 21 stellt die Beziehung zwischen der Permeabilität μ und der Induktion \mathfrak{B} für Stahlguß und Gußeisen dar. Man erhält die Werte von μ , wenn man die der Nullkurve (strichpunktierte Linie in Abb. 18) entnommenen Werte der Induktion \mathfrak{B} durch die zugehörigen Werte der Feldstärke \mathfrak{H} dividiert.

Auch bei weichem Eisen ist μ für sehr geringe Feldstärken ($\mathfrak{H} = 0,001$) klein, gewöhnlich etwa 100—200, ausnahmsweise bis gegen 500 (Anfangspermeabilität μ_0), wächst dann rasch auf einen hohen Wert (1000—10 000; Maximalpermeabilität μ_{max}) und sinkt bei sehr hohen Feldstärken wieder auf ganz kleine Werte. Bei Permalloy [(39), S. 44] steigt μ_0 bis 12 000, μ_{max} bis 80 000.

Bei Gußeisen, weichem und hartem Stahl überschreitet μ selten die Grenze 200—250; doch kann dieser Wert bei Gußeisen durch geeignetes Ausglühen auf das Drei- bis Vierfache gesteigert werden (vgl. Tab. auf S. 43, Nr. 25 bis 28).

Eine Beziehung zwischen der Maximalpermeabilität μ_{max} , der Remanenz R und der Koerzitivkraft C gibt für weiches, bis zur Sättigung magnetisiertes Eisen die empirische Formel $\mu_{max} = R/2C$ (G u m l i c h und S c h m i d t).

Für Werte von \mathfrak{B} , welche >7 sind, gilt die angenäherte Gleichung

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{H} \left(1 + \frac{10^3}{a + b \mathfrak{H}} \right),$$

worin a und b Konstanten bezeichnen.

(39) Magnetische Eigenschaften verschiedener Eisen- und Stahlsorten. In der folgenden Tabelle sind die Werte für die Magnetisierbarkeit verschiedener gehärteten Stahlsorten zusammengestellt (Frau Curie und Reichsanstalt). Hierbei bedeutet t die Härtungstemperatur, C die Koerzitivkraft, R die Remanenz, \mathfrak{B} die Induktion für $\mathfrak{H}=500$, W die Energievergeudung für 1 cm^3 (40); die Indizes s bzw. r lassen erkennen, ob die betreffenden Werte mit Stäben von 20 cm Länge und 1 cm^2 Querschnitt, die bis zur Sättigung magnetisiert waren, oder mit geschlossenen Ringen gewonnen wurden.

Maßgebend für die Güte eines permanenten Magnets ist die Stärke der Magnetisierung, welche er festzuhalten vermag. Diese hängt aber, wie die Tabelle zeigt, einmal ab von der Höhe der Remanenz $R_r = 4\pi \cdot \mathfrak{J}_r$, die er bei der Untersuchung im geschlossenen Kreise (Ring, Joch) besitzt, sodann aber auch von der Größe der Koerzitivkraft. Je kürzer, gedrungener ein Magnetstab, je weniger geschlossen ein Hufeisenmagnet ist, desto vorteilhafter ist eine hohe Koerzitivkraft selbst auf

Material	Kohlenstoff in %	t°	$C_{r,s}$	R_s	R_r	\mathfrak{B}_r	W_r	$R_r \cdot C_r \times 10^{-3}$	
Messungen von Frau Curie:									
Kohlenstoffstahl von Firminy	0,06	100C	3,4	400	7850	20110	28000	27	
	0,49	770	23	280C	10490	19660	108000	241	
	1,21	770	60	580C	8110	15580	182000	487	
Kohlenstoffstahl von { weich Böhler (Steiermark) { extra zah, hart { extra halbhart	0,70	80C	49	530C					
	0,99	800	55	520C					
Kupferstahl von Chatillon & Commentry; 3,9% Cu	1,17	800	63	580C					
	0,87	730	66	620C					
Chromstahl von Assailly; 3,4% Cr	1,07	850	57	670C					
Volframstahl von Assailly; 2,7% W	0,76	850	66	6400	10050	16080	260000	663	
Volframstahl von { Spezialstahl, sehr hart; 2,9% W Böhler (Steiermark) { Boreasstahl, gehartet; 7,7% W	1,10	850	74	6700					
	1,96	800	85	4700					
Stahl von Allevard	0,59	770	72	7000	10680	16080	280000	769	
Molybdänstahl von { 3,5% Mo Chatillon & Commentry { 4,0% Mo	0,51	850	60	6700					
	1,24	800	85	6700					
Messungen der Reichsanstalt:									
Chromstahl { A { B { C { D { E	Cr in % 2,9 2,9 5,8 2,9 5,8	0,9	850	57,4	10900				626
		1,1	850	59,2	10380				615
		1,1	850	64,6	9920				641
		1,1	900	63,1	9560				603
		1,1	900	72,5	9200				666
Volframstahl { 1876 { 1877 { 1615 { 1614 { 1739				58,1	10200				593
				61,5	9700				596
				63,0	10250				646
				62,3	10880				679
				66,4	10880				723
Kobaltmanganstahl } 36% Co, 3,5% Mn (Gumlich-Krupp) } 4 bis 5% Cr	4,8	1,1	875	227	9300			2110	
KS-Magnetstahl } Honda-Takagi) 30 bis 40% Co, 5 bis 9% W			1,5—3	0,4—0,8	950	226	11560	2610	
			1,5—3	0,4—0,8	950	221	10570	2335	
			1,5—3	0,4—0,8	950	245	10400	2550	
			1,5—3	0,4—0,8	950	257	7790	2000	

Kosten der Remanenz. Zur Beurteilung des Materials in bezug auf seine Tauglichkeit zu permanenten Magneten kann das Produkt $R_r C_r$ dienen, das, wie die Tabelle zeigt, bei gutem älterem W- und Cr-Stahl 600×10^3 , bei dem neueren sogar 2000×10^3 übersteigt. Wenn man den Verlauf der Hystereseurve kennt, so kann man aus der hierdurch gefundenen Remanenz R_r diejenige eines kürzeren Magnetstabes auf folgende Weise berechnen:

Befindet sich ein Magnetstab von der Stärke \mathfrak{J} in einem Felde \mathfrak{S}' , so herrscht, da der freie Magnetismus des Stabes eine entmagnetisierende Wirkung ausübt, d. h. das ungestörte magnetische Feld schwächt, im Innern des Stabes nur die Feldstärke $\mathfrak{S} = \mathfrak{S}' - N \cdot \mathfrak{J}$. Hierin bezeichnet N den sogenannten Entmagnetisierungsfaktor, der bei sehr gestreckten zylindrischen Stäben nur vom Dimensionsverhältnis v , d. h. dem Quotienten aus Länge und Durchmesser des auf kreisförmigen Querschnitt umgerechneten Stabes, abhängt, und zwar gilt hierfür, wie auch für Rotationsellipsoide, angenähert die Gleichung $N = \frac{4\pi}{v^2} (\log \text{nat } 2v - 1)$. Ist nun,

wie bei der Remanenz, $\mathfrak{S}' = 0$, so wird $\mathfrak{S} = -N \mathfrak{J} \approx -\frac{N \cdot R_s}{4\pi}$. Diese Größe trägt man in dem Punkt, wo der absteigende Ast der Hystereseurve die Ordinatenachse schneidet, nach der Richtung der negativen Feldstärke ($-\mathfrak{S}$) auf und verbindet den Endpunkt mit dem Nullpunkt. Der Schnittpunkt dieser Scherungslinie mit dem absteigenden Ast gibt den Betrag an, den man für die Remanenz des betreffenden Stabes zu erwarten hat.

In der folgenden Tabelle sind magnetometrisch gewonnene Werte von N für verschiedene Werte von v zusammengestellt (Riborgh Man).

Werte des Entmagnetisierungsfaktors von zylindrischen Stäben für ballistische Messungen (N_0), für magnetometrische (N_1) und von Rotationsellipsoiden (N_2) vom Dimensionsverhältnis v .

v	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200	300
N_0	—	0,204	0,106	0,0672	0,0467	0,0344	0,0211	0,0144	0,0104	0,0080	0,0063	0,0051	0,0042	0,0020	0,0012	—
N_1	0,68	0,255	0,140	0,0898	0,0628	0,0460	0,0274	0,0183	0,0131	0,0099	0,0078	0,0063	0,0052	0,0025	0,0015	0,0008
N_2	0,70	0,255	0,135	0,0848	0,0587	0,0432	0,0266	0,0181	0,0132	0,0101	0,0080	0,0065	0,0054	0,0026	0,0016	0,0008

In nahezu geschlossenen magnetischen Kreisen (Hufeisenmagneten usw.) ist die entmagnetisierende Kraft viel geringer.

Zur angenäherten, wenn auch nicht einwandfreien, Vorausberechnung der scheinbaren Remanenz der Hufeisenmagnete kann man ein ähnliches Scherungsverfahren wie beim Stabmagnet benützen (Edgcombe: Electrician Bd. 75, S. 546).

Die Tabelle auf S. 43 enthält eine Übersicht über die Magnetisierbarkeit verschiedener Eisensorten und über die dabei auftretenden wichtigsten Konstanten. Im allgemeinen gilt die Regel, daß mit wachsender Koerzitivkraft auch die Remanenz und die Energievergeudung [Hystereseverlust (40)] zunimmt, die Maximalpermeabilität abnimmt, doch kommen vielfache Ausnahmen vor.

Mit wachsendem Kohlenstoffgehalt wird das Eisen magnetisch härter, ebenso wirken Verunreinigungen durch Phosphor, Schwefel usw. ungünstig, während Zusatz von Aluminium oder Silizium die Permeabilität bei mäßigen Feldstärken erhöht. Durch Siliziumzusatz wird auch die elektrische Leitfähigkeit des Materials und damit das Auftreten von schädlichen Wirbelströmen in Transformatoren usw. beträchtlich vermindert („legiertes“ Dynamoblech).

U n m a g n e t i s c h e L e g i e r u n g e n. Während die Magnetisierbarkeit des Eisens durch den Zusatz von wenig Nickel (bis 5 %) noch zunimmt, vermindert sie sich durch höheren Nickelzusatz sehr stark. Nickelstahl von ca. 30 % Nickelgehalt ist bei gewöhnlicher Temperatur nahezu unmagnetisierbar (austenitisches Gefüge), er wird dagegen wieder magnetisierbar durch Abkühlung auf

Magnetisierbarkeit verschiedener Eisensorten
(nach Beobachtungen in der Reichsanstalt).

Material	Lfd. Nr.	Φ_{max}	\mathfrak{B}_{max}	B für $\Phi = 100$	Remanenz	Koerz. Kraft	μ_{max}	Energie- vergeudung (Erg.)	η	Widerstand für m/mm^2 (Ohm)	
Elektrolyteisen 1×gegl.	1	150	18870	18050	10850	0,38	14600	—	—	0,099	
	2	150	18520	17700	850	0,15	4900	—	—	—	
„ 12×gegl.	3	147	17740	17000	3000	0,096	19400	—	—	0,52	
Elektrolyteisen mit 3,5% Si, im Vakuum geschmolzen(Heraeus)	4	129	18190	17700	10300	0,60	8350	4900	0,00075	0,113	
Walzeisen	5	145	18370	17650	9000	1,65	2850	12300	185	0,148	
Schmiedeeisen gegossenes Material (Stahlguß, Flußeisen, Dynamostahl)	6	129	17950	17470	8000	0,80	5240	10100	158	0,143	
	7	129	17700	17200	7500	0,95	4070	9400	150	0,154	
	8	128	18040	17570	7200	1,04	3200	10700	166	0,142	
	9	128	18080	17600	7500	1,35	2610	11400	176	0,167	
	10	145	18250	17500	10200	1,50	3380	13600	207	0,148	
	11	127	18190	17700	9200	1,82	2460	14700	225	0,154	
	12	129	18190	17670	7500	2,00	1900	15700	240	0,129	
	13	129	17940	17400	11700	2,42	2250	20300	317	0,158	
	14	128	17790	17300	11080	3,27	1620	24200	383	0,217	
	15	129	17270	16750	9550	4,33	1100	30200	502	0,196	
	Dynamoblech (geglüht)	16	129	17430	16900	9800	1,15	4950	9400	154	—
		17	128	19540	19100	7550	1,37	2940	10700	146	—
		18	146	18490	17700	8300	1,62	2660	11200	167	0,144
		19	146	18500	17730	8800	2,39	1840	16200	241	0,144
		20	129	17440	17000	10000	2,90	1740	17600	288	—
21		127	18320	17800	10150	3,38	1410	22000	332	—	
22		124	18880	18450	11550	4,18	1220	28800	415	—	
Dynamoblech {schwach legiert {stark	23	150	18220	17430	9400	1,30	3300	12600	192	—	
	24	150	17550	16740	9850	0,77	6200	8090	131	—	
Gußeisen { ungeglüht dass. geglüht ungeglüht dass. geglüht	25	155	10320	9030	4630	11,3	200	34600	1310	0,878	
	26	155	10930	9900	5560	4,06	800	14900	515	0,798	
	27	154	10030	8800	4630	13,2	200	36600	1450	0,989	
	28	155	10640	9600	5060	4,68	560	16100	580	—	
Stahl, gehärtet	29	234	16220	13900	11700	52,6	195	—	—	0,325	
	30	235	15120	12200	10500	61,7	125	—	—	0,360	
	31	238	13370	9500	8880	69,7	—	—	—	0,422	

Sättigungswerte $4\pi\mathfrak{B}$ für:

reinstes Elektrolyteisen	21600
Schmiedeeisen, guten Stahlguß usw	21200—21400
Stahl (ungehärtet) 21600—1580 p^* (bis 1% C); etwa	19800
„ (gehärtet) 21600—3200 p^* (bis 1,2% C); etwa	17800
Gußeisen etwa	16500
Siliziumlegierungen (bis 5% Si)	21600—480 p^*
Dynamoblech (schwach legiert) etwa	20500
„ (stark „ „) „	19300

* p = % Gehalt von C bzw. Si.

Für Feldstärken über 2000 findet man hieraus die zugehörigen Induktionen nach der Formel $\mathfrak{B} = 4\pi\mathfrak{J} + \mathfrak{H}$.

Temperaturen unter 0° und behält dann die Magnetisierbarkeit auch in höheren Temperaturen bei (martensitisches Gefüge). Durch eine Erhitzung auf ca. 600° wird er wieder unmagnetisch und bleibt in diesem Zustande bei der Abkühlung auf gewöhnliche Temperatur. Es existieren also für derartige (irreversible) Nickellegierungen zwei verschiedene magnetische Zustände innerhalb eines bestimmten Temperaturintervalls, das von der Zusammensetzung der Legierung abhängt. Zusätze von Kohlenstoff, Chrom, Mangan erniedrigen den Umwandlungspunkt sehr beträchtlich, so daß es gelungen ist, Legierungen herzustellen, welche auch bei der Temperatur der flüssigen Luft nicht magnetisierbar werden.

Beim Zusatz von noch mehr Nickel verliert sich diese Eigentümlichkeit, die Legierung wird wieder bei allen Temperaturen magnetisierbar, der magnetische Zustand ist reversibel (Hopkinson, Dumont, Dumas, Guillaume).

Diese Legierungen, namentlich die von Arnold und Elmen 1923 gefundene und als „Permalloy“ bezeichnete Legierung mit 78,5% Ni sind nach geeigneter thermischer Behandlung magnetisch außerordentlich weich (μ_0 bis 12000; $\mu_{max} \sim 100000$; $\mathfrak{H}_c < 0,1$; $4\pi\mathfrak{J}_\infty \sim 11000$).

Auch durch den Zusatz von etwa 12 % Mangan wird Stahl praktisch unmagnetisierbar (Haddfield, Gumlich).

(40) Hystereseverlust (Energievergeudung). Zur Magnetisierung von 1 cm³ Eisen von \mathfrak{B}_1 bis zu \mathfrak{B}_2 muß die Energie $\frac{1}{4\pi} \int_{\mathfrak{B}_1}^{\mathfrak{B}_2} \mathfrak{H} \cdot d\mathfrak{B}$ aufgewendet werden. Führt man einen vollständigen Kreisprozeß von + \mathfrak{B} zu - \mathfrak{B} und wieder zurück aus, so gewinnt man beim Rückgange nur einen Teil der Energie wieder, der Rest wird in Wärme verwandelt. Das Flächenstück, das von der Kurve umschlossen wird, welche \mathfrak{B} oder \mathfrak{J} als Funktion von \mathfrak{H} darstellt (vgl. Abb. 18), ist derjenigen Arbeitsmenge proportional, welche bei dem magnetischen Kreisprozeß in Wärme verwandelt worden ist (Verlust durch Hysterese; Warburg). Auch für unsymmetrische Kreisprozesse (Abb. 18 links unten) gilt dies.

Mißt man \mathfrak{H} , \mathfrak{B} und \mathfrak{J} im CGS-System, so ist die in Wärme verwandelte Arbeitsmenge für 1 cm³ Eisen für einen vollen Kreisprozeß = $\int \mathfrak{H} \cdot d\mathfrak{J}$ oder $\frac{1}{4\pi} \int \mathfrak{H} \cdot d\mathfrak{B}$, gleichfalls in CGS.

Nach Steinmetz (ETZ 1892) kann man die durch Hysterese in 1 cm³ Eisen verbrauchte Arbeitsmenge bei verschiedenen hohen Induktionen \mathfrak{B} darstellen durch $\eta \cdot \mathfrak{B}^{1,6}$, worin die Werte von η zwischen 0,001 und 0,025 liegen (vgl. auch Tab. S. 43, 44 und 45).

Jedoch ist, wie sich aus den Versuchen von Steinmetz und der Reichsanstalt ergibt, der Wert η wenigstens für magnetisch weiches Material keineswegs konstant, sondern wächst für Induktionen oberhalb des Knies der Magnetisierungskurve sehr beträchtlich, um dann wieder abzunehmen (s. folgende Tabelle).

Beziehung zwischen η und \mathfrak{B} für einige Materialien.

Weiches Schmiedeeisen		Geglühtes schwedisches Schmiedeeisen		Dynamoblech		Geglühter Wolframstahl	
\mathfrak{B}_{max}	η	\mathfrak{B}_{max}	η	\mathfrak{B}_{max}	η	\mathfrak{B}_{max}	η
5000	0,00097	4800	0,00168	4000	0,00137	4200	0,0138
8400	94	8000	169	6000	137	8300	137
14800	105	11000	187	8000	141	10800	136
17300	114	13800	216	10000	148	16800	139
18800	124	18300	252	12000	157	18500	134
		20500	214	14000	169		
				16000	185		

Trotzdem ist die Steinmetzsche Formel unter Umständen gut zu gebrauchen, wenn es sich darum handelt, die Hystereseverluste verschiedener nicht genau gleich hoch magnetisierter Materialien zu vergleichen.

Die von Rud. Richter (ETZ 1910, S. 1241) für den Hystereseverlust vorgeschlagene Formel $V = a \cdot \mathfrak{B} + b \cdot \mathfrak{B}^2$ paßt sich dem Verlauf der Verlustkurve viel besser an als die Formel von Steinmetz, verlangt aber natürlich zur Ermittlung der Konstanten a und b die Bestimmung des Hystereseverlusts bei zwei verschieden hohen Induktionen (etwa $\mathfrak{B} = 10\,000$ und $15\,000$).

Als sog. Faustregel (Abweichungen $< 20\%$) kann die Beziehung gelten: $V = a \cdot \mathfrak{B}_m \mathfrak{H}_c$, wobei \mathfrak{B}_m die Maximalinduktion, \mathfrak{H}_c die zugehörige Koerzitivkraft und a einen Faktor bezeichnet, welcher der folgenden Zahlentafel zu entnehmen ist (Gumlich, ETZ 1923, H. 4).

\mathfrak{B}_m	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10 000
a	0,227	0,230	0,235	0,242	0,251	0,261	0,273	0,287	0,303	0,320
\mathfrak{B}_m	11 000	12 000	13 000	14 000	15 000	16 000	17 000	18 000		
a	0,339	0,360	0,382	0,406	0,432	0,460	0,489	0,520		

Der Hystereseverlust wird durch andauernde Erwärmung (sog. Altern des Dynamoblechs) und durch hohen Druck vergrößert, wahrscheinlich aber nicht durch die fortwährende Ummagnetisierung; hochlegierte (39) Bleche altern wenig oder gar nicht.

Bei einer Frequenz von f Perioden in 1 Sekunde wird in 1 kg Eisen oder Stahl vom spezifischen Gewicht 7,7 eine Leistung verbraucht von (vgl. nachstehende Tabelle)

$$f \cdot \frac{\eta \mathfrak{B}^{1,6}}{7,7 \cdot 10^4} \text{ Watt}$$

Hystereseverlust in 1 kg Eisen oder Stahl (spez. Gew. = 7,7) bei 100 Perioden in 1 Sekunde in Watt.

\mathfrak{B}	$\eta = 0,0010$	$\eta = 0,0015$	$\eta = 0,0020$	$\eta = 0,0025$	\mathfrak{B}	$\eta = 0,0010$	$\eta = 0,0015$	$\eta = 0,0020$	$\eta = 0,0025$
5 000	1,076	1,614	2,15	2,69	11 000	3,803	5,705	7,61	9,51
6 000	1,442	2,164	2,88	3,60	12 000	4,373	6,556	8,74	10,93
7 000	1,845	2,768	3,69	4,61	13 000	4,969	7,452	9,94	12,42
8 000	2,284	3,428	4,57	5,71	14 000	5,594	8,387	11,19	13,98
9 000	2,759	4,140	5,51	6,90	15 000	6,248	9,367	12,49	15,62
10 000	3,265	4,898	6,53	8,16					

Verlustziffer s. S. 184, 185.

(41) **Der magnetische Kreis.** Die magnetischen Kraftlinien werden erzeugt von der magnetischen Spannung, welche das vorher unmagnetische Eisen (oder Stahl) magnetisch gemacht hat. Die Kraftlinien sind geschlossene Kurven; beim Übergang aus Eisen in Luft oder andere unmagnetische Körper werden sie gebrochen nach dem Gesetz (vgl. Abb. 22):

$$\operatorname{tg} \alpha = \mu \operatorname{tg} \beta.$$

Außerhalb des Eisens bilden die Kraftlinien das magnetische Feld (36); ihre Richtung gibt die Richtung der Kraft, ihre Dichte die magnetische Feldstärke an.

Für die Gesamtmenge Φ der Kraftlinien, welche von der magnetischen Spannung \mathcal{H} (36) erzeugt werden, ist der magnetische Leitwert G_m des Weges, der sich den Kraftlinien darbietet, bestimmend. Bisweilen

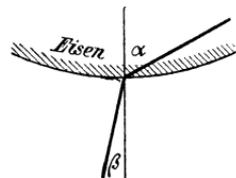


Abb. 22. Brechung der magnetischen Kraftlinien.

ist es bequemer, statt des magnetischen Leitwertes dessen Kehrwert, den magnetischen Widerstand $R_m = 1/G_m$ bei der Rechnung zu benutzen. Es gilt, analog dem Ohmschen Gesetz

$$\Phi = \mathfrak{B} \cdot q = II \cdot G_m = II/R_m.$$

Für einen vollständig bewickelten Eisenring aus gleichmäßigem Material und von gleichbleibendem Querschnitt ist $II = \mathfrak{H} \cdot l$, worin l die mittlere Länge des Kraftlinienweges und $\mathfrak{H} = 0,4\pi \cdot KI$ (36).

II wird häufig magnetische Potentialdifferenz oder Spannung genannt. Wenn längs einer magnetischen Kraftlinie die Werte von \mathfrak{H} gegeben sind, so gilt für die ganze Kraftlinie wie auch für jedes Stück die Gleichung $II = \int \mathfrak{H} \cdot dl$. Hat \mathfrak{H} längs einer Kraftlinie auf einer Weglänge l einen konstanten Wert, so herrscht zwischen den Endpunkten der Länge l die magnetische Spannung $II = \mathfrak{H} \cdot l$. Da $\mathfrak{H} \cdot \mu = \mathfrak{B}$ ist, so folgt $II = \mathfrak{B}l/\mu$. Setzt sich der Kraftlinienweg aus mehreren Stücken zusammen, so wird $\oint \mathfrak{H} \cdot d\mathfrak{s} = \Sigma II = \Sigma \mathfrak{H} \cdot l = \Sigma \mathfrak{B}l/\mu = 0,4 \cdot \pi \cdot w \cdot I$ (w = gesamte Windungszahl). Diese Formel enthält das Wichtigste für die Berechnung elektromagnetischer Apparate (107).

Bei einem geschlitzten Ring, bei welchem der Eisenteil die Länge l_i und der Luftschlitz die Breite l_a hat ($l_i + l_a = 2r\pi$), ergibt sich angenähert der Kraftlinienfluß

$$\Phi = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot w \cdot I}{\frac{l_i}{\mu q} + \frac{l_a}{q}}.$$

Bei einem permanenten Ringmagnet kann man sich die im Zähler stehende magnetische Spannung durch eine eingeprägte Feldstärke $\mathfrak{H}_c \cdot l_i$ ersetzt denken (G a n s), so daß auch hier gilt

$$\Phi = \frac{II}{R_i + R_a}.$$

Der magnetische Leitwert G_m und der magnetische Widerstand R_m hängen von den Abmessungen und der materiellen Beschaffenheit des Weges für die Kraftlinien ab. Für einen Körper, der gleichmäßig von parallelen Kraftlinien durchzogen wird, ist G_m proportional dem Querschnitt q des Körpers und der Permeabilität, aber umgekehrt proportional der Länge, also $G_m = \mu q/l$ und $R_m = l/\mu q$.

μ ist für Luft = 1, für weiches Eisen in schwachen Feldern etwa 200—10 000; bei stark zunehmender Magnetisierung nimmt der Wert von μ für Eisen wieder ab, s. Abb. 21.

Wenn die Kraftlinien auf ihrem Wege mehrere verschieden bemessene oder beschaffene Körper mit den magnetischen Widerständen r_1, r_2, r_3 durchsetzen, so ist der gesamte magnetische Widerstand des Weges gleich der Summe der Einzelwiderstände.

$$R_m = r_1 + r_2 + r_3 + \dots = \Sigma r_m.$$

Wenn den Kraftlinien mehrere Wege nebeneinander geboten werden, so berechnet sich der gesamte Leitwert G_m der nebeneinander liegenden Wege aus der Formel

$$G_m = g_1 + g_2 + g_3 + \dots = \Sigma g_m.$$

Einfluß des weichen Eisens auf die Kraftlinien. Der Verlauf der Kraftlinien in einem magnetischen Feld wird durch die Gegenwart von magnetisierbaren Körpern, besonders von weichem Eisen, beeinflusst. Die Kraftlinien werden aus ihrer Richtung abgelenkt und in großer Zahl und Dichte durch das Eisen geführt (magnetische Schirmwirkung des Eisens; Panzergalvanometer (158).

(42) Erdmagnetismus. Die Erde ist ein sehr großer Magnet, dessen Südpol nahe beim geographischen Nordpol, dessen Nordpol nahe beim geographischen Südpol liegt.

Der Nordpol einer durchaus frei beweglichen Magnetnadel zeigt nahezu nach dem geographischen Norden, und die magnetische Achse der Nadel macht mit der Horizontalen einen bestimmten Winkel. Die Abweichung von der geographischen Nord-Süd-Richtung heißt Deklination, sie ist in Deutschland westlich und beträgt etwa 8° . Der Winkel der magnetischen Achse mit dem Horizont heißt Inklination; der Nordpol zeigt nach unten, der Inklinationswinkel beträgt bei uns etwa 66° .

Die nur in der horizontalen Ebene frei beweglichen Magnetnadeln, wie Bussole, Magnetometer usw. suchen sich stets in die magnetische Nord-Südrichtung, den „magnetischen Meridian“ einzustellen; sie stehen nur unter der Einwirkung der horizontalen Komponente (Horizontalstärke \mathfrak{h}) des Erdmagnetismus.

In Gebieten von geringer Ausdehnung, in Beobachtungsräumen, Laboratorien u. dgl., darf man die Kraftlinien des erdmagnetischen Feldes als parallel und geradlinig, die Stärke des magnetischen Feldes als konstant ansehen, sofern nicht vorhandene Eisenmassen, Magnete, Stromschleifen usw. Störungen hervorbringen, die jedoch die Feldstärke nicht in dem Maße beeinflussen wie die Richtung der Kraftlinien.

In größeren Gebieten ändert sich die Horizontalstärke mit der geographischen Lage des Ortes; sie liegt in Deutschland zwischen 0,18 (Kiel) und 0,21 (Lindau).

(43) Schwingungsdauer einer Magnetnadel im erdmagnetischen Feld. Die Richtkraft ist gleich dem Produkt aus dem magnetischen Moment der Nadel \mathfrak{M} und der horizontalen Intensität \mathfrak{h} , also $= \mathfrak{M}\mathfrak{h}$; das Trägheitsmoment J wird nach (19), S. 26, berechnet; dann ergibt sich die Schwingungsdauer

$$t = \pi \cdot \sqrt{\frac{J}{\mathfrak{M}\mathfrak{h}}}.$$

Das elektrische Feld.

(44) Einheit der Elektrizitätsmenge. Gleichartig geladene Körper stoßen einander ab, ungleichartig geladene ziehen einander an. Die elektrostatische Einheit der Ladung oder Elektrizitätsmenge ist diejenige, die im Abstand 1 cm auf eine ihr gleiche durch den leeren Raum hindurch mit der Kraft 1 dyn $\approx 1,02$ mg* wirkt. Vorausgesetzt ist hierbei, daß die körperlichen Träger der Elektrizitätsmengen klein gegenüber ihrem Abstände, und daß alle anderen Körper weit entfernt sind. Dann gilt nämlich das Coulombsche Gesetz, daß die Kraft zwischen zwei Ladungen Q_1, Q_2 im Abstand r gleich $Q_1 Q_2/r^2$ ist.

Die elektromagnetische Einheit der Ladung enthält $3 \cdot 10^{10}$, die praktische Einheit (Coulomb, Amperesekunde) $3 \cdot 10^9$ elektrostatische Einheiten. Ein Coulomb wirkt also auf ein zweites Coulomb in 1 km Abstand mit einer Kraft von rund $1t^*$.

(45) Elektrisches Feld¹⁾ heißt jeder Raum, in dem sich elektrische Wirkungen äußern. Zu jedem Punkt des Feldes läßt sich ein Vektor (S. 9), die elektrische Feldstärke \mathfrak{E} angeben; sie ist gleich der Kraft in Dyn, die ein sehr kleiner, mit einer Einheit positiver Elektrizität geladener Körper (Einheitspol) dort erfährt. (Voraussetzung: grad $\epsilon = 0$; s. (57).)

Durch jeden Punkt des Feldes läßt sich eine Feld- oder Kraftlinie ziehen, deren Tangente in jenem Punkte die Richtung der Feldstärke angibt.

¹⁾ Im folgenden wird von dem Rechnen mit Vektoren Gebrauch gemacht. Die Erklärung der Bezeichnungen findet sich in den Abschnitten (8) und (9); dort sind auch die Rechenregeln zusammengestellt.

(46) Im **elektrostatischen Felde**, d. h. in einem elektrischen Felde, das ohne Energieumsatz fortbesteht, ist die Arbeit, die die elektrischen Kräfte beim Herumführen des Einheitspols auf einem geschlossenen Wege leisten, gleich Null:

$$\oint \mathfrak{E} \, ds = 0.$$

Daraus folgt: 1. daß zu beiden Seiten der Grenzfläche zweier Körper die tangentielle Komponente von \mathfrak{E} denselben Wert hat; 2. daß sich \mathfrak{E} von einem einwertigen Potential φ ableitet, und daß somit das elektrostatische Feld wirbelfrei ist:

$$\mathfrak{E} = -\text{grad } \varphi$$

$$\text{rot } \mathfrak{E} = 0.$$

Die Flächen konstanten Potentials werden von den Kraftlinien senkrecht durchkreuzt. Solche Flächen sind auch die Leiteroberflächen. Das Potential der Oberfläche herrscht auch im Leiterinnern, weil dort überall $\mathfrak{E} = 0$ ist.

(47) Die **Spannung** zwischen zwei Leitern im elektrostatischen Felde ist das von einem beliebigen Punkte des einen nach einem beliebigen Punkte des zweiten auf einem beliebigen Wege genommene Integral $\int \mathfrak{E} \, ds$. Es bedeutet die bei der Überführung des Einheitspols auf diesem Wege geleistete Arbeit und ist gleich der Potentialdifferenz der Leiter.

Das Integral $\int \mathfrak{E} \, ds$ ergibt die Spannung auch in nicht wirbelfreien elektrischen Feldern; hier hängt aber die Spannung im allgemeinen ab von dem Weg und von der Lage des Anfangs- und des Endpunkts.

(48) Die **dielektrische Verschiebung** ist in isotropen (nicht kristallartigen) Körpern der Feldstärke proportional:

$$\mathfrak{D} = \gamma \varepsilon \mathfrak{E}.$$

ε ist die Dielektrizitätskonstante, γ eine vom Maßsystem abhängige Konstante. Sie beträgt

a) im absoluten elektrostatischen Maßsystem $\gamma = 1$

b) im absoluten elektromagnetischen Maßsystem $\gamma = 1/4\pi c^2$
darin ist $c = 3 \cdot 10^{10}$ die Lichtgeschwindigkeit;

c) im praktischen elektrotechnischen Maßsystem $\gamma = 10^9/4\pi c^2 = 0,886 \cdot 10^{-13}$

In diesem Maßsystem ist \mathfrak{E} in Volt/cm und \mathfrak{D} in Coulomb/cm² ausgedrückt.

Von jeder Ladungseinheit geht stets der Verschiebungsfluß 1 aus. Es ist daher die Raumdichte der Ladung $\eta = \text{div } \mathfrak{D}$; die Flächendichte an der Grenze der Körper (1) und (2) beträgt $\omega = \mathfrak{D}_{n1} + \mathfrak{D}_{n2} = \text{Div } \mathfrak{D}$, wobei die positive Richtung der Normalkomponente \mathfrak{D}_n aus dem betreffenden Körper hinausweist.

(49) Dielektrizitätskonstanten.

Balata, roh	3,4	Baryt Leichtflint O 1266	7,7
Balata, stark entharzt	3,1	Silikatflint S 461	16,5
Bernstein	2,9	Kron mit hoher Dispersion O 381	6,8
Cellon, hell	3,5	Barytkron O 1209	8,3
Ceresin	2,1 bis 2,2	Fluorkron O 7185	5,9
Ebonit (Hartgummi)	2,5 bis 3,5	Uviolglas	5,6
Gesteine ¹⁾	7 bis 15	Glimmer	5 bis 8
Glas, verschieden ²⁾	5 bis 8	Guttapercha (45 % Harzgehalt)	3 bis 3,2
weißes Glas	7,1		
gewöhnl. Flintglas O 118	7,3		

¹⁾ Einzelangaben für 42 Gesteinsarten bei Löwy, H.: Ann. d. Phys. (4), Bd. 36, S. 126—127, 1911.

²⁾ Jaeger, R.: Dissert., Berlin, 1917 (s. a. ETZ 1919, S. 442—443).

Gutta-Gentzsch	2,5	Petroleum	2,0 bis 2,2
Starkstromkabel-Isolation (getränkt, Papier od. Jute)	4,3	Porzellan	4,4
Fernsprechkabel-Isolation (Papier und Luft)	1,6	Quarz (amorph)	3,7
Hartpapier (Repelit)	3,6	Quarz (parallel zur Haupt- achse)	4,5
Kautschuk (natürlich oder synthetisch)	2,5 bis 2,8	Rapsöl	2,3
Kolophonium	2,5	Rizinusöl	4,7
Marmor	8,3	Rüböl	3
Mikant	4,5 bis 5,5	Schellack	2,7 bis 3,7
Oliveneröl	3	Schwefel	3,6 bis 4,3
Papier	1,8 bis 2,6	Siegellack	4,3
Paraffin (fest)	2,1 bis 2,2	Terpentinöl	2,2
Paraffinöl	2 bis 2,5	Transformator- { Mineralöl	2,2
Pertinax	4,8	renöl { Harzöl	2,5
		Wasser	80

(50) Dielektrischer Energieverlust. Die in (48) angegebene Beziehung zwischen \mathfrak{E} und \mathfrak{D} gilt genau nur für Gase.

a) **Feste Dielektrika.** Wirkt auf ein festes Dielektrikum ein elektrisches Wechselfeld $\mathfrak{E}_0 \sin 2\pi ft$, so bleibt die Verschiebung um einen Winkel δ in der Phase hinter der Feldstärke zurück (dielektrische Nachwirkung). Dem entspricht eine Leistung in der Raumeinheit $N = \varepsilon \mathfrak{E}_0^2 f \operatorname{tg} \delta / 4c^2 \operatorname{Erg}/s \cdot \operatorname{cm}^3$ oder, wenn statt des Scheitelwertes \mathfrak{E}_0 der Effektivwert \mathfrak{E} eingeführt und dieser in V/cm ausgedrückt wird,

$$N = 0,555 \varepsilon \mathfrak{E}_{\text{eff}}^2 \cdot f \operatorname{tg} \delta \cdot 10^{-12} \operatorname{Watt}/\operatorname{cm}^3.$$

Für einen Kondensator der Kapazität C Farad, an dem eine effektive Wechselspannung E Volt liegt, ergibt sich hieraus die Verlustleistung $N = 2\pi f E^2 C \operatorname{tg} \delta \operatorname{Watt}$.

δ heißt der dielektrische Verlustwinkel. Wenn er, wie in den meisten Fällen, klein ist, so ist $\operatorname{tg} \delta \approx \sin \delta = \cos \varphi =$ dem Leistungsfaktor.

Die Größe des Verlustwinkels δ hängt von der Temperatur stark ab, dagegen nur in geringem Maße von der Frequenz (größere Änderungen von δ treten meist erst bei Frequenzänderungen im Verhältnis 1 : 10 und mehr hervor). Die folgende Tafel gibt einige Werte. Es entspricht $\operatorname{tg} \delta = 2,9 \cdot 10^{-4}$ einem Winkel von $1'$, $\operatorname{tg} \delta = 175 \cdot 10^{-4}$ einem Winkel von 1° .

Die dielektrische Nachwirkung unterscheidet sich von der magnetischen Hysterese durch das Fehlen der Remanenz¹⁾ und der Koerzitivkraft; nach dem Erlöschen des äußeren Feldes klingt auch die Verschiebung allmählich ab. Die dielektrische Nachwirkung rührt von Ungleichförmigkeiten im Stoff her, und zwar kommt es hierbei auf das Verhältnis der Dielektrizitätskonstante zur Leitfähigkeit an; je mehr dieses Verhältnis innerhalb eines Körpers schwankt, um so stärker tritt die Nachwirkung hervor. Sehr gleichförmige Stoffe, wie gereinigtes Ceresin und Paraffin, haben sehr geringe dielektrische Verluste.

Literatur: Maxwell, J. C.: Lehrb. d. Elektrizität u. d. Magnetismus, Bd 1. Art. 328—330 — Schweißler, E. v.: Ann. d. Phys. (4) Bd. 24, 1907, S. 711 (enthält eine vollständige Zusammenstellung der älteren Literatur). — Wagner, K. W.: Ann. d. Phys. (4) Bd. 40, 1913, S. 817; Archiv f. Elektrot. Bd. 2, 1914, S. 371; ebenda, Bd. 3, 1914, S. 67 (hier auch Literaturangaben über die wichtigeren experimentellen Arbeiten aus der neueren Zeit). — Tank, F.: Ann. d. Phys. (4) Bd. 48, 1914, S. 307. — Meyer, U.: Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. 1917, S. 139. — Schott, E.: Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Telephonie, Bd. 18, S. 82, 1921. — Giebe, E. u. Zickner, G.: Arch. f. Elektrot. Bd. 11, 1922, S. 109.

¹⁾ Remanente Elektrisierung ist bisher nur bei Kristallen beobachtet worden, und zwar bei pyroelektrischen (Turmalin, Topas u. a., vgl. Thomson, W.: Phil. Mag. (5) Bd. 5, S. 24, 1878. — Riecke, E.: Wied. Ann. Bd. 28, S. 43, 1886) und piezoelektrischen (Seignettesalz, Quarz u. a.; vgl. Nicolson, A. M.: Proc. Amer. Inst. of El. Eng. Bd. 38, S. 1315, 1919).

Dielektrischer Verlustwinkel.

Stoff	Fre- quenz <i>f</i>	Tem- peratur °C	10000 × tg δ	Stoff	Fre- quenz <i>f</i>	Tem- peratur °C	10000 × tg δ
Balata, roh . . .	1000	15	48	Weichgummi(33 % Paragummi) . .	1000	20	150
Balata, stark ent- harzt	1000	15	26	Isolation (Draht-) aus Emaillack	1000	20	180
Cellon, hell . . .	1000	20	330	„ Seide . . .	1000	20	400
Ceresin	1000	20	0,3	„ Baumwolle	1000	20	3600
Ebonit (Hart- gummi), gute Sorte I . .	1000	20	25 bis 35	Papier - Luftraum- isolation f. Fern- sprechkabel . .	1000	20	27
geringe Sorte II Sorte III (ameri- kanisch)	1000	20	230		10 ⁴	20	40
Flintglas (Schott u. Gen., Jena) .	10 ⁶	20	100		10 ⁵	20	72
	50	20	40	Papierisolation, ge- tränkt, f. Stark- stromkabel . . .	50	20	50 bis 200
	1000	20	30	Papier (trocken) .	1000	20	40
	5000	20	15	Papier, getrocknet und mit Paraffin getränkt	50	20	30 bis 150
	50000	20	8		1000	20	30 bis 100
	140000	20	4	Paraffin	1000	20	0,8
Glas (Spiegel-) .	1000	17	180	Pertinax	1000	20	250
Glimmer	50	20	3 bis 15	Porzellan	50	20	500
	1000	20	2 bis 10	Paraffinöl ¹⁾ . . .	50	15	2,9
Guttapercha . . .	1000	15	240	Rizinusöl ¹⁾ . . .	50	16,5	25
Gutta-Gentzsch .	1000	15	65	Transformatoren- öl ¹⁾	50	17,5	50
Kautschuk (Para, roh oder vulka- nisiert)	1000	20	100				
„ (synthet.) . . .	1000	20	200				

In feuchtigkeitshaltigen Faserstoffen (z. B. Baumwollisolation) treten neben den dielektrischen Verlusten im elektrischen Wechselfelde noch zusätzliche Verluste infolge anomaler Leitung (92) auf. Diese Verluste nehmen schneller als das Quadrat der Spannung zu, und zwar besonders bei niedrigen Frequenzen (Näheres im Archiv f. Elektrot. Bd. 3, 1914, S. 99 bis 105).

b) Flüssige Dielektrika. Während bei den festen Dielektriken der Energieverbrauch durch Stromleitung (Joulesche Wärme) neben dem Energieverlust durch dielektrische Nachwirkung meistens verschwindend gering ist, verhalten sich flüssige Dielektrika gerade umgekehrt. Bei ihnen rührt der Verlust überwiegend von elektrolytischer Leitung her und ist von der Frequenz unabhängig. Verlustwinkel und Leistungsfaktor sind somit der Frequenz umgekehrt proportional. Leitfähigkeit und Energieverlust wachsen mit der Temperatur schnell an. Da nach Untersuchungen von Hertz, Warburg, Jaffé und Tank die Leitfähigkeit flüssiger Dielektrika von Verunreinigungen herrührt, verschwinden die dielektrischen Anomalien aller flüssigen Isolatoren mit zunehmender Reinheit der Substanzen. (Addenbrooke, G. L.: Electrician Bd. 68, 1912, S. 869. — Pungs, L.: Arch. f. Elektrot. Bd. 1, 1912, S. 329. — Tank, F.: Ann. d. Phys. (4) Bd. 48, 1914, S. 307.)

(51) Kapazität zweier Leiter gegeneinander ist das Verhältnis ihrer Ladung zu der zwischen ihnen herrschenden Spannung, wenn alle von dem einen Leiter aus-

¹⁾ Siehe die Ausführungen unter b).

gehenden Verschiebungslinien auf dem andern Leiter münden. Sind mehrere Leiter im Felde vorhanden, so ist die Ladung jedes einzelnen eine lineare Funktion der Spannungen aller Leiter gegen einen auszuwählenden.

(52) Werte von Kapazitäten.

Kapazität (Mikrofarad)

- 1. Zwei im Abstand d einander gegenüberstehende parallele Flächen von der Größe S (Leydener Flasche, Kondensatoren) } $\frac{\epsilon S}{36\pi d} 10^{-5}$
 Über Randkorrekturen vgl. M a g i n i : Phys. Z. S. Bd. 7, S. 844, 1906; Bd. 8, S. 136, 1907.
- Ist die Zwischenschicht von der Dicke d zusammengesetzt aus parallelen Schichten aus verschiedenem Material von den Dicken $d_1, d_2, d_3 \dots$ und den Dielektrizitätskonstanten $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3 \dots$, so tritt an die Stelle von d/ϵ

$$\frac{d_1}{\epsilon_1} + \frac{d_2}{\epsilon_2} + \frac{d_3}{\epsilon_3} + \dots$$
- 2. Eine zwischen zwei parallelen Flächen liegende dritte Fläche mit den Abständen d_1 und d_2 von den äußeren Flächen } $\frac{\epsilon S}{36\pi} \cdot \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}\right) 10^{-5}$
- 3. Zylinder vom Radius r , der von einem Zylinder vom Radius r_1 umgeben ist (Kabel), für 1 km Länge } $\frac{\epsilon}{18 \log \text{nat} \frac{r_1}{r}}$
- 4. Zylinder vom Radius r , der im Abstände h mit seiner Achse parallel einer unendlichen Ebene liegt, wobei r klein gegen h (Draht im Abstand h über dem Erdboden), für 1 km Länge } $\frac{\epsilon}{18 \log \text{nat} \frac{2h}{r}}$
- 5. Zwei Zylinder mit den Radien r_1 und r_2 , die im (gegen r großen) Abstand a einander parallel liegen, für 1 km Länge } $\frac{\epsilon}{18 \log \text{nat} \left(\frac{a^2}{r_1 r_2}\right)}$
- 6. Desgl., $r_1 = r_2 = r$ (Doppelleitung, Drahtradius r). } $\frac{\epsilon}{36 \log \text{nat} \frac{a}{r}}$
- 7. Zwei konzentrische Kugeln mit den Radien r_1 und r_2 } $\frac{\epsilon}{9} \frac{r_2 r_1}{r_2 - r_1} \cdot 10^{-5}$

Maße der Längen und Flächen in cm und cm².

(53) Verschiedene Schaltungsweisen der Kondensatoren.

Sind die Kapazitäten $C_1, C_2 \dots C_n$ parallel geschaltet, so ist die Gesamtkapazität dieser Zusammenstellung

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n.$$

Sind diese Kondensatoren dagegen in Reihe geschaltet, so ist die Kapazität der Reihe aus der Beziehung $1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n$ zu berechnen. Ist $C_1 = C_2 = \dots = C_n = C_0$, so wird $C = C_0/n$. Für zwei verschiedene hintereinander geschaltete Kondensatoren C_1 und C_2 ergibt sich

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}.$$

(54) Kapazität der Leitungen. Liegen im wesentlichen nur zwei Leiter (Hin- und Rückleitung) im elektrischen Felde, so wende man die entsprechende der vorstehenden Formeln (52) an. Liegen mehr Leiter im Felde, so kann man ihre Ladungen bei gegebener Spannungsverteilung so berechnen, als ob je zwei von ihnen

durch einen Kondensator verbunden wären¹⁾. Dessen Kapazität, die Teilkapazität der beiden Leiter gegeneinander, muß unter Berücksichtigung der Lage aller Leiter berechnet werden, wofür sich nur in besonderen Fällen einfache Formeln ergeben. Man tut im allgemeinen besser, die Ladungen aus den Spannungen unmittelbar nach einem einfachen Näherungsverfahren zu berechnen, das F. Breisig (ETZ 1898, S. 772; 1899, S. 127) und L. Lichtenstein (ETZ 1904, S. 126) entwickelt haben.

a) **Oberirdische Doppelleitungen**, die sich in einer gegenüber dem Leiterabstand großen Höhe über dem Erdboden befinden; die Kapazität ist nach (52), Formel 6 zu berechnen, wobei $\epsilon = 1$ ist. Die folgende Tafel erspart die Rechnung.

Kapazität oberirdischer Doppelleitungen in $\mu\text{F}/\text{km}$.

$\frac{a}{r}$	C	$\frac{a}{r}$	C	$\frac{a}{r}$	C	$\frac{a}{r}$	C
20	0,00927	80	0,00634	140	0,00562	250	0,00503
30	0,00817	90	0,00617	150	0,00554	300	0,00487
40	0,00753	100	0,00603	170	0,00541	400	0,00464
50	0,00710	110	0,00591	190	0,00529	500	0,00447
60	0,00679	120	0,00580	210	0,00520	1000	0,00402
70	0,00654	130	0,00571	230	0,00511	2000	0,00366

b) **Vielpaarige Fernsprechkabel** üblicher Bauart (1309, 1310) mit Doppelleitungen und Papier-Luftisolation für Leiter von

0,6 0,8 1,0 1,2 1,5 1,8 2,0 mm Stärke
 0,031 0,033 0,035 0,037 0,040 0,041 0,042 $\mu\text{F}/\text{km}$

Für Fernsprechkabel des Weitverkehrs (1310) bei einer Leiterstärke von

0,9 mm (Stamm) 0,9 mm (Vierer) 1,4 mm (Stamm) 1,4 mm (Vierer)
 0,0335 $\mu\text{F}/\text{km}$ 0,057 $\mu\text{F}/\text{km}$ 0,0355 $\mu\text{F}/\text{km}$ 0,059 $\mu\text{F}/\text{km}$.

c) **Telegraphenkabel** mit Guttaperchaisolierung (1308); Kapazität etwa 0,2 $\mu\text{F}/\text{km}$.

d) Die **Teilkapazitäten von symmetrischen Dreileiterkabeln** (zur Übertragung hochgespannten Drehstromes) mit runden Leitern in marktgängiger Ausführung mit einer Isolation aus getränktem Papier gibt die folgende Tafel (S. 53), k ist die Teilkapazität zwischen Leiter und Bleimantel, c die Teilkapazität zwischen Leiter und Leiter, beide in $\mu\text{F}/\text{km}$ ausgedrückt (Abb. 23). Für Kabel mit sektorförmigem Leiterquerschnitt, der aber nur für die Spannungen bis etwa 10000 V in Frage kommt, erhöhen sich die Kapazitäten um 15 bis 50%.

e) **Betriebskapazitäten**. Hängen die Spannungen der Leiter so voneinander ab, daß sie alle durch die Angabe einer einzigen bestimmt sind, und gehorchen sie und auch die Lage der Leiter gewissen Symmetriebedingungen (kein Leiter soll bevorzugt sein), so ist auch ein Mehrleitersystem elektrostatich durch eine einzige Kapazitätsgröße gekennzeichnet. Diese, die Betriebskapazität, gilt aber nur für die vorausgesetzte Betriebsart. Beispiel: Die Betriebskapazität eines verselten Drehstromkabels, eines verselten vieradrigen Zweiphasenkabels. Fertige Formeln für einige Betriebskapazitäten sind in den genannten Aufsätzen von Breisig, Lichtenstein und Diesselhorst und E m d e enthalten.

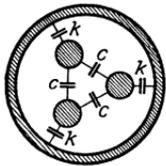


Abb. 23. Symmetrisches Dreileiterkabel mit runden Leitern.

Die Betriebskapazität einer symmetrischen Drehstromleitung ergibt das Verhältnis der La-

¹⁾ Der Gegenstand ist in den „Vorschlägen für die Definition der Eigenschaften gestreckter Leiter“ v. Diesselhorst und E m d e (ETZ 1909, S. 1155, 1184) ausführlich erörtert.

dung eines Leiters zur Sternspannung. Sie ist doppelt so hoch wie die Kapazität der entsprechenden Doppelleitung [(52), Formel 6; (54) a]. Durch die Teilkapazitäten c und k ausgedrückt, lautet sie

$$C = k + 3c.$$

Teilkapazitäten von Dreileiterkabeln.

Betriebsspannung ¹⁾ in Volt	Leiterquerschnitt in mm ²	k	c	Betriebsspannung ¹⁾ in Volt	Leiterquerschnitt in mm ²	k	c
		$\frac{\mu F}{km}$	$\frac{\mu F}{km}$			$\frac{\mu F}{km}$	$\frac{\mu F}{km}$
5000	25	0,120	0,045	20000	25	0,070	0,023
	50	0,157	0,058		50	0,091	0,030
	95	0,195	0,073		95	0,114	0,039
	150	0,220	0,086		150	0,132	0,045
	240	0,235	0,096				
10000	25	0,090	0,035	25000	25	0,064	0,019
	50	0,115	0,041		50	0,083	0,026
	95	0,145	0,052		95	0,104	0,035
	150	0,170	0,062		150	0,120	0,041
	240	0,190	0,075	30000	50	0,073	0,022
15000	25	0,077	0,029		95	0,096	0,031
	50	0,100	0,035		150	0,110	0,036
	95	0,125	0,045				
	150	0,147	0,054				

(55) Gegenkapazität zwischen Hochspannungsanlagen und Fernmeldeleitungen.

(1333) Hochspannungsanlagen sind mit benachbarten oberirdischen Fernmeldeleitungen elektrisch gekoppelt (Kondensatorwirkung vgl. Abb. 24). Diese Kopplung bewirkt, daß bei Einphasenbahnen betriebsmäßig

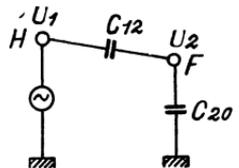


Abb. 24. Teilkapazitäten einer Fernmeldeleitung nach Erde und nach einer eindrahigen Hochspannungsleitung (Einphasenbahn).

bei Drehstromanlagen im Erdschlußfalle ein Ladestrom über die Gegenkapazität C_{12} auf die Fernmeldeleitung übergeht (Influenz). Ist diese isoliert, so nimmt sie eine Ladespannung U_2 an (Leerlaufspannung), die angenähert aus der Beziehung $U_2 = U_1 \frac{C_{12}}{C_{20}}$ zu berechnen ist. U_2 ist also von Länge und Frequenz unabhängig. Bei Freileitungen an Einphasenbahnen mit 15 kV Betriebsspannung sind Ladespannungen von rund 1500 V gemessen worden. Benachbarte geerdete Leitungen sowie sonstige mit Erde verbundene Gegenstände (Bäume) wirken spannungsenkend. Werte für C_{12} sind aus Abb. 25 ersichtlich.

bei Drehstromanlagen im Erdschlußfalle ein Ladestrom über die Gegenkapazität C_{12} auf die Fernmeldeleitung übergeht (Influenz). Ist diese isoliert, so nimmt sie eine Ladespannung U_2 an (Leerlaufspannung), die angenähert aus der Beziehung

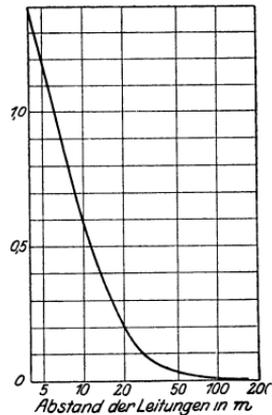


Abb. 25. Gegenkapazität von Einfachleitungen in 10^{-9} F/km, berechnet für $h_1 = h_2 = 6,5$ m; $r_1 = 53$ mm (Ersatzleiter für Fahrdrabt und Aufhängung e. Wechselstromleitung); $r_2 = 2$ mm.

¹⁾ Gemeint ist die verkettete Drehstromspannung.

Der Ladestrom ist, wenn die Fernmeldeleitung geerdet ist (Kurzschlußstrom) $I = C_{12} l \frac{dU}{dt} = U \omega l C_{12}$ für l km also abhängig von der Kreisfrequenz ω (Oberschwingungen) und l . Der Widerstand $1/\omega C_{12}$ ist gegenüber $1/\omega C_{20}$ so hoch, daß annähernd der gleiche Ladestrom übertritt, wenn die Fernmeldeleitung isoliert, d. h. nur über die Erdkapazität C_{20} (mindestens zehnmals größer als C_{12}) geerdet ist. In Freileitungen an der Bahn sind bei 15 kV Ladeströme von 1 bis 2 mA/km gemessen worden. Ladeströme über 2 mA werden beim Berühren der Leitung äußerst unangenehm empfunden; die Stromstärke wird durch den Körperwiderstand nicht merklich geändert, da auch dieser klein neben $1/\omega C_{12}$ ist.

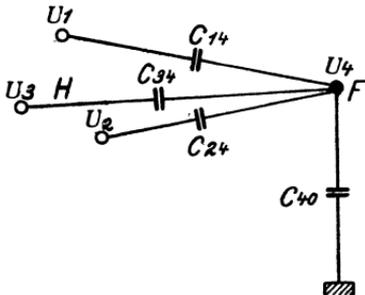


Abb. 26. Teilkapazitäten einer Fernmeldeleitung nach Erde und nach den Drähten einer Drehstromleitung.

Bei Drehstromanlagen (Abb. 26) sind angenähert die Ladespannung und der Ladestrom:

$$U_4 = \frac{1}{C_{40}} (U_1 C_{14} + U_2 C_{24} + U_3 C_{34})$$

$$I = \omega l (U_1 C_{14} + U_2 C_{24} + U_3 C_{34}).$$

Ist $|U_1| = |U_2| = |U_3|$ (Symmetrie der Hochspannungsanlage in sich selbst) und $C_{14} = C_{24} = C_{34}$ (Symmetrie der beiden Anlagen gegeneinander), so ist $U_4 = 0$ und ebenso I . Dies gilt für die Grundschwingung und die ungeraden Oberwellen, jedoch nicht für die dreizahligen Harmonischen.

Bricht die Spannung einer Phase infolge Erdschlusses plötzlich zusammen, so entstehen außer den Wirkungen durch die

hohe Restspannung (etwa 8fache Influenz gegenüber dem normalen Betriebe in unverdrillten Anlagen; falls Anlage verdrillt, noch wesentlich höher, weil die Verdrillung wirkungslos wird) *Wanderwellen*, deren Spannung durch wiederholte Reflexion um Vielfaches erhöht werden kann [(146), ferner K. W. Wagner, ETZ 1914, S. 639, 677, 705]. Diese Wanderwellen erzeugen in den beeinflussten Fernsprechleitungen hohe Ladungen, die bei Spannungen von etwa 300 V ab über die Spannungssicherungen des a- und b-Zweiges zur Erde abfließen. Da aber beide Sicherungen nie genau gleichzeitig ansprechen, fließt die Ladung eines Zweiges über den Fernhörer zur Spannungssicherung ab und ruft nervenschädigende Knallgeräusche hervor. Wegen Maßnahmen gegen diese „*Gefährdung*“ s. (115).

„*Störungen*“ des Fernsprechbetriebes werden bei normalem Zustande der Hochspannungsanlage besonders durch Oberschwingungen (Generatoren, Motoren, Transformatoren) hervorgerufen. Abhilfe: Verdrillen der Hochspannungsanlage, Kreuzen der Fernsprechleitungen, Vermeiden sonstiger Unsymmetrien (Ableitung) s. auch Angaben unter (115).

Literatur: Brauns: *Telegr.- u. Fernsprechtechnik*, Jahrgg. 8, S. 61; 1919; ETZ 1920, Heft 31; — Liene mann: *Telegr.- u. Fernsprechtechnik*, Jahrgg. 8, S. 173; Jahrgg. 9, S. 53. 1920. — Jäger: ebenda; Jahrgg. 9, S. 133, 151. — Leitsätze des VDE zum Schutz von Fernsprech-Doppelleitungen gegen die Beeinflussung durch Drehstromleitungen.

(56) Die im elektrischen Felde aufgespeicherte Gesamtenergie wird richtig erhalten, wenn man jedem Punkt des Feldes eine Energiedichte $\frac{1}{2} \mathcal{D} \mathcal{E} = \frac{1}{2} \gamma \epsilon \mathcal{E}^2$ zuschreibt. Für einen Kondensator von der Kapazität C , der Ladung Q und der Spannung U ergibt das einen Energiebetrag $\frac{1}{2} Q U = \frac{1}{2} C U^2 = Q^2/2C$.

(57) Die mechanischen Kräfte elektrischen Ursprungs lassen sich als Raumkräfte (a) oder als Oberflächenkräfte (b) darstellen¹⁾.

a) Auf das mit der Dichte η geladene Raumteilchen dV wirkt die Kraft

$$\mathcal{R} = (\eta \mathcal{E} + \mathcal{E}^2 \text{ grad } \epsilon/8\pi c^2) dV.$$

¹⁾ In den folgenden Formeln sind absolute elektromagnetische Einheiten angenommen.

In einem homogenen Körper fällt das zweite Glied weg; das erste ist die aus dem Coulombschen Gesetz folgende Kraft. Das zweite Glied besagt: Die Körper suchen sich so zu stellen, daß der Verschiebungsfluß im ganzen möglichst groß wird. (Vgl. das entsprechende Verhalten des Eisens im Magnetfeld (125, a).)

b) Die Wirkung des Feldes auf einen Körper wird erhalten, wenn man sich an jedem Punkt seiner Oberfläche eine Spannung \mathfrak{E} vom Betrag $\varepsilon \mathfrak{E}^2 / 8\pi c^2$ angreifend denkt. Der Winkel zwischen \mathfrak{E} und der Oberflächennormale wird durch die Richtung von \mathfrak{E} halbiert. Die Kraft auf das Oberflächenelement ist der Unterschied der nach außen und der nach innen wirkenden Spannung.

Den Zusammenhang zwischen Spannung, Feldstärke und Neigungswinkel zwischen Feldstärke und Oberflächenelement hat F. Emde eingehend erörtert (Elektr. u. Maschb., Wien 1910, S. 35) und Modelle zur Veranschaulichung angegeben (ebenda, 1916, Heft 12 u. 13).

Spezialfälle (Emde: Elektrot. u. Maschb. 1910, S. 33):

1. Zwischen zwei in einem homogenen Körper im Abstand r befindlichen elektromagnetisch gemessenen Punktladungen Q_1 und Q_2 wirkt die Kraft $Q_1 Q_2 c^2 / \varepsilon r^2$ [Coulombsches Gesetz; vgl. (44)].

2. Hängt die Lage zweier Körper mit der Kapazität C nur von einer Koordinate (x) ab, so ist die zugehörige Kraftkoordinate bei konstanter Spannung $1/2 U^2 \partial C / \partial x$.

3. Auf das Oberflächenelement df eines Leiters wirkt die normale Zugkraft $\varepsilon \mathfrak{E}^2 df / 8\pi c^2$.

4. Auf eine kleine ungeladene leitende Kugel vom Volum V wirkt im elektrischen Felde \mathfrak{E}_0 die Kraft $\varepsilon V \text{grad } \mathfrak{E}_0^2 / 8\pi c^2$.

Durchbruchfeldstärke und Durchschlagspannung.

(58) **Gase.** Die Spannung, bei der eine Entladung in Luft einsetzt (Anfangsspannung), hängt in erster Linie von der Gestalt des elektrischen Feldes ab. Maßgebend ist nicht nur der Wert der elektrischen Feldstärke an den Elektroden, sondern auch ihr weiterer Verlauf in das Feld hinein.

Im homogenen Felde zwischen ausgedehnten ebenen Elektroden ist die Durchbruchfeldstärke eine Funktion der Schlagweite und nimmt mit wachsender Schlagweite ab. Bei 760 mm Barometerdruck und 20°C beträgt sie¹⁾ für den Elektrodenabstand

0,0005	0,001	0,003	0,01	0,03	0,1	0,3	1	3	11 cm
700	400	180	103	63	44,5	37,5	31,7	29	26 kV/cm

Bei größeren Abständen nimmt sie nur wenig ab. Erklärt wird diese Erscheinung durch die Theorie der Ionisierung durch Stoß (96, b).

Bei zylindrischen Elektroden ist die Durchbruchfeldstärke hauptsächlich vom Radius des Innenzylinders abhängig. Sie beträgt bei 760 mm und 20°C

für den Radius	0,1	1	15 cm
	etwa 62,2	40	30,6 kV/cm

Bei Kugeln ist die Durchbruchfeldstärke abhängig von Radius und Abstand. Bei kleinen Abständen ist sie sehr groß (wie bei ebenen Elektroden), durchläuft mit wachsendem Abstand ein Minimum und erreicht darnach einen Bereich langsam veränderlicher Werte. Sie nimmt auch mit wachsendem Radius ab. In dem erwähnten Bereich beträgt die Feldstärke (Estorff) bei 760 mm und 20°C

für den Radius	1	5	12,5 cm
	46,7	34,9	31,9 kV/cm

sofern die Schlagweite bei großen Kugeln mindestens gleich dem Kugelradius, bei kleinen Kugeln mindestens gleich dem 2 bis 3fachen Kugelradius ist. Bei

¹⁾ Die angegebenen Werte sind Gleichspannungswerte und bei sinusförmigem Wechselstrom durch $\sqrt{2}$ zu dividieren.

kleineren Schlagweiten sind die Durchbruchfeldstärken geringer, bis sie schließlich bei kleinsten Abständen sehr stark ansteigen.

Die Durchschlagspannungen sind annähernd proportional dem Luftdruck und nehmen mit steigender Temperatur ab. Sie werden durch Regen stark (bei Kugelfunkenstrecken auf die Hälfte) herabgesetzt.

Die Kugelfunkenstrecke hat vor anderen den Vorteil, daß ihre Durchschlagspannung bis zu sehr hohen Frequenzen hinauf konstant ist (Algermissen) und auch für kurzzeitige Impulse bis zur Dauer von $3 \cdot 10^{-9}$ s hinab denselben Wert hat, vorausgesetzt, daß die Kugeln frisch gereinigt sind und ihr Abstand den Kugeldurchmesser nicht übersteigt (Peek, Burawoy). Die Überschlagspannung anderer Entladungsstrecken (z. B. von Hornableitern und namentlich von Spitzen) steigt dagegen bei kurzdauernden Impulsen stark an (Peek).

Die Spitzenfunkenstrecke wird ihrer Unzuverlässigkeit wegen nicht mehr angewendet; ihre Überschlagspannung hängt von der Schärfung der Spitzen, von der Feuchtigkeit, der Frequenz und Beanspruchungsdauer stark ab.

Für Spannungsmessungen ist die Kugelfunkenstrecke bei Beachtung einiger Vorsicht am besten geeignet. Die hierfür in Betracht kommenden Regeln hat der „Ausschuß für den elektrischen Sicherheitsgrad“ des VDE zusammengestellt (ETZ 1926, S. 594). Die Überschlagspannung kann nach einer von Peek aufgestellten Formel wie folgt berechnet werden, wobei die Temperatur 20°C vorausgesetzt ist:

$$E_{eff} = 19,6 \delta \left(1 + \frac{0,757}{\sqrt{\delta D}} \right) D \varphi$$

Hierin bedeutet E_{eff} den Effektivwert der sinusförmig gedachten Überschlagspannung in kV; δ ist die relative Luftdichte ($\delta = 1$ bei 760 mm Hg Druck und 20°C); D ist der Kugeldurchmesser in cm. φ ist eine Funktion des Verhältnisses der Schlagweite s zum Kugeldurchmesser D , die außerdem von der Spannungsverteilung abhängt. Die folgende Tafel gibt den Wert von $\varphi = \varphi_s$ für zwei isolierte Kugeln mit entgegengesetzt gleichen Spannungen nach Erde, und von $\varphi = \varphi_e$ für den Fall, daß eine Kugel geerdet ist.

$\frac{s}{D}$	φ_s	φ_e
0,05	0,0484	0,0483
0,10	0,0936	
0,15	0,1361	0,1357
0,20	0,1759	
0,25	0,2131	0,212
0,30	0,2483	
0,35	0,2811	
0,40	0,3118	
0,45	0,3406	
0,50	0,3679	0,354

Literatur (dort auch Schlagweitenkurven): Toepler, M.: ETZ 1907, S. 998, 1025. — Algermissen, J.: Ann. d. Phys. (4), Bd. 19, 1906, S. 1016. — Townsend, J. S.: Theory of ionization of gases by collision, 1910. — Weicker, W.: ETZ 1911, S. 436. — Weidig und Jaensch: ETZ 1913, S. 637, 679. — Peek jr., P. W.: Proc. Am. Inst. of El. Eng. 1914, S. 889; 1915, S. 1695. 1857; 1919, S. 717. — ETZ 1916, S. 246. — Estorff, W.: Diss. Berlin 1915; ETZ 1916, S. 60, 76. — Reiche, W.: ETZ 1925, S. 1650. — Burawoy, O.: Arch. f. Elektr. Bd. 16, S. 186; 1926.

Eine zusammenfassende Darstellung des Gesamtgebiets mit reicher Literaturangabe findet man bei Schumann, W. O.: „Elektrische Durchbruchfeldstärken von Gasen“, Berlin 1923.

(59) Flüssigkeiten. Als Isolieröle werden heute Mineralöle vorwiegend verwendet, die durch fraktionierte Destillation und zusätzliches Raffinieren aus Erdöl gewonnen werden. Über ihre Durchschlagfestigkeit macht R o b. M. F r i e s e¹⁾ auf Grund langjähriger Versuche und Erfahrungen folgende Angaben.

Isolieröle haben eine große Neigung, Feuchtigkeit aus der Umgebung an sich zu reißen; geringe Spuren davon setzen die Durchschlagfestigkeit stark herab. Diese ließ sich durch weitgehende Trocknung bis auf 230 kV/cm steigern. Sieht man ein solches Öl als wasserfrei an, so ergibt sich der folgende Zusammenhang zwischen der Durchschlagfestigkeit E_d und dem Feuchtigkeitsgehalt w :

w in ‰	0	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1
E_d in $\frac{kV}{cm}$	230	140	76	42	31	26	23	22

Bei einem Feuchtigkeitsgehalt über 1 ‰ nimmt die Durchschlagfestigkeit nicht mehr merklich ab. Diese Werte wurden durch Emulgierung wasserfreien Öles mit abgewogenen Mengen destillierten Wassers gewonnen, wobei das Wasser im Öl in Form kleiner Tröpfchen von etwa 0,01 mm nachweisbar war. Aus der Luft in Dampfform aufgesogenes Wasser ist in dem Öl mikroskopisch nicht mehr nachweisbar, also offenbar noch feiner verteilt; die Durchschlagwerte hierfür sind um einiges geringer als für emulgiertes Wasser. Entfeuchtete Isolieröle müssen unter luftdichtem Verschuß gehalten werden, wenn sie ihre hohe Isolierfestigkeit behalten sollen. In Betriebsräumen mittlerer Feuchtigkeit (etwa 50% rel. Feuchte) stellen sich nicht geschützte Isolieröle allmählich auf eine mittlere Durchschlagfestigkeit von etwa 50 kV/cm ein. Von der Oberfläche her nehmen Isolieröle Feuchtigkeit schneller auf als vom Bodenwasser.

Durch Erhitzen (nicht über 120°!) oder durch Filtrieren läßt sich nasses Öl entfeuchten. In der Praxis erreicht man dabei Durchschlagfestigkeiten von etwa 130—140 kV/cm.

Für die zahlenmäßige Festlegung der Durchschlagfestigkeit ist nur der jeweils erste Durchschlagwert maßgebend; denn bei gut trockenem Öl liegen die folgenden Werte niedriger wegen der beim ersten Durchschlag gebildeten Zersetzungsprodukte, während bei feuchtem Öl zuweilen Trocknung eintritt, die die späteren Durchschlagwerte erhöht.

Mit zunehmendem Luftdruck wächst auch die Durchschlagfestigkeit von Isolieröl nahezu linear; die Abhängigkeit kann z. B. für filtriertes Öl ($w = 0,01$ ‰) empirisch durch den Ausdruck

$$E_d = 86 + 0,08 B$$

dargestellt werden; B Barometerstand in mm Hg.

Alle Durchschlagwerte sind bei 50periodigem Wechselstrom mit sinusförmiger Spannungskurve bestimmt worden und als Effektivwerte angegeben; sie beziehen sich auf ein praktisch gleichförmiges elektrisches Feld und Schlagweiten von einigen Millimetern. Im ungleichförmigen Feld hängt die maximale Feldstärke beim Durchschlag flüssiger Isolierstoffe in ähnlicher Weise wie bei den Gasen von der Feldgestalt ab.

Die Kommission für Isolierstoffe des VDE hat „Vorschriften für Transformatoren- und Schalteröle“ entworfen (ETZ 1923, S. 600), in denen die Bedingungen, denen solche Öle hinsichtlich ihrer Beschaffenheit und Eigenschaften genügen müssen, sowie Prüfverfahren festgelegt sind. Siehe auch den Aufsatz von E s t o r f f, W.: Behandlung und Überwachung von Isolierölen im Betriebe auf S. 29 der ETZ-Festschrift zur 29. Jahresversammlung des VDE 1923 (Verlag Jul. Springer).

¹⁾ „Über Durchschlagfestigkeit von Isolierölen“, Wiss. Veröff. a. d. Siemens-Konzern, Bd. 1, 1921, S. 41. Siehe auch G y e m a n t, A.: ebenda Bd. 4, 1926, S. 68.

(60) Feste Körper. Die Durchschlagspannungen werden gewöhnlich mit hochgespanntem Wechselstrom bestimmt und als Effektivwerte angegeben. Zahlen für die Durchschlagspannungen sind ziemlich unzuverlässig, da sie bei den meist inhomogenen Materialien von vielen Zufälligkeiten abhängen, auch gelten sie nur für die gerade gewählte Versuchsanordnung. Ohne genaue Angabe dieser sind Schlagweitengesetze wertlos. Viele Einzelangaben von Durchschlagspannungen finden sich bei Turner und Hobart: „Die Isolierung elektrischer Maschinen“, Berlin 1906, und bei Petersen: „Hochspannungstechnik“, Stuttgart 1911. Siehe auch Zipp, H.: Handb. d. elektr. Hochspannungstechnik, Leipzig 1917; Schwaiger, A.: Lehrbuch der elektrischen Festigkeit der Isoliermaterialien (Berlin 1919), Kap. III.

Einen Anhalt für die Größenordnung einiger Durchschlagspannungen gibt die folgende Zusammenstellung; sie bezieht sich auf Stoffe, die zwischen parallelen Metallplatten mit 50-periodigem Wechselstrom durchgeschlagen wurden. Die obere Zahl bedeutet die effektive Durchschlagspannung in Kilovolt, die untere die durchgeschlagene Dicke in mm.

Paraffin	27	39	56	68	78	87	95	102	Ebonit	14
	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0		1,4
Hartporzellan			15	25	44	61	77	92	Preßspan	12
			1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0		1,0
Vulk. Gummi			2,2	6,8	10	16,8	26	40	Rote Vulkanfiber	5
			0,14	0,5	1,0	2,0	4,0	10,0		1,0
Glimmer			1,75	11,5	19	37	52	60	Papierisolation für Kabel	20
			0,015	0,1	0,2	0,5	0,8	1,0		1,0
Mikanit					22	42	53	58	Transformatoröl	6 bis 10
					1,0	2,0	3,0	4,0		1,0
Imprägn. Jute					2,2	7	10,2	12,7	Vaselineöl	130
					1,0	6,0	10,0	14,0		10,0
Glas					4,0	6,4	13	18	Petroleum	95
					0,1	0,2	0,5	1,0		10,0

Wie diese Zahlen lehren, steigt die Durchschlagspannung langsamer als die Dicke. Macht man die gleiche Zahl von Durchschlagproben mit großen und mit kleinen Elektrodenflächen, so ergeben die Versuche mit den großen Elektrodenflächen einen niedrigeren Mittelwert der Durchschlagspannung, weil die Wahrscheinlichkeit, schlechte Stellen im Isolierstoff zu treffen, mit der Elektrodenfläche wächst. (Vgl. Gewecke und Krukowski: Arch. f. Elektrot. Bd. 3, 1915, S. 63). Kennt man die Streuung der für kleine Elektroden gültigen Durchschlagspannungen um ihren Mittelwert, so kann man die mittlere Durchschlagspannung für größere Elektroden nach H. Stahl berechnen.

Mit steigender Frequenz nimmt die Durchschlagspannung der meisten festen Isolierstoffe nach Versuchen von K. W. Wagner und H. Dieterle (ETZ 1925, Heft 10) mehr oder minder stark ab; z. B.:

Stoff	Durchschlagspannung in kV für die Frequenz						
	0 (Gleichstrom)	0,5	10	50	500	5000	50 000
Glimmer, 0,015 mm	8,0	2,55	2,06	1,75	1,57	1,49	1,38
Glas, 0,108 mm . .	7 bis 8	8,3	rd. 5	4,25	4,0	3,9	3,2
Gummi 0,143 mm .	3	2,6	—	2,17	1,7	—	1,5

Die angegebenen Durchschlagspannungen beziehen sich auf Dauerbeanspruchung; bei kurzzeitiger Beanspruchung wird der Durchschlag erst bei höherer Spannung erreicht. Für jede Spannung oberhalb der Durchschlagspannung für Dauerbeanspruchung läßt sich eine Zeit bestimmen, die bis zum Eintritt des Durchschlags verfließt. So ergab sich z. B.

a) Für vulkanisierten Gummi, 0,143 mm stark, bei Gleichstrom:

Zeit bis zum Durchschlag in min	∞	12	7	4	2,5	1,7	1	0,8	0,3
Spannung in kV	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	5,0

b) Für Glimmer, 0,015 mm stark, bei 0,5 Per/s:

Zeit bis zum Durchschlag in min	∞	25	13	7,5	3	1	0,3	
Spannung in kV	2,55	2,6	2,7	2,8	3,0	3,2	3,4	

c) Für Glimmer, 0,015 mm stark, bei 50000 Per/s:

Zeit bis zum Durchschlag in min	∞	24	12	6	2,8	0,5	
Spannung in kV	1,38	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	

Ist die Zeit der Beanspruchung hinreichend kurz (z. B. bei Sprungwellen), so widersteht ein fester Isolierstoff einem Vielfachen seiner gewöhnlichen Durchschlagspannung.

Beim Vergleich verschiedener Spannungskurven hinsichtlich der Durchschlagsbeanspruchung fester Isolierstoffe ist der Effektivwert in Betracht zu ziehen (im Gegensatz zu den gasförmigen Isolierstoffen, bei denen der Scheitelwert maßgebend ist).

Mit steigender Temperatur nimmt die Durchschlagspannung im allgemeinen ab; ebenso mit steigendem Feuchtigkeitsgehalt; dieser ist insbesondere bei faserigen oder porösen Isolierstoffen von hohem Einfluß. (Vgl. Flight, W. S.: The Electrical Review, Bd. 90, 1922, S. 39, 76.)

Nach K. W. Wagner lassen sich die Gesetze des Durchschlags von festen Isolierstoffen aus der Betrachtung des thermisch-elektrischen Gleichgewichts herleiten; der Durchschlag tritt ein, wenn dieses Gleichgewicht labil wird (Sitzungsber. d. Preuß. Akad. d. Wiss., phys.-math. Kl. 1922, S. 438; Journ. of the Amer. Inst. of El. Eng. 1922, S. 1034; — s. ferner Kneschke, A.: Ztschr. f. Phys. Bd. 41. S. 195, 1927; — Rogowski, W.: Arch. f. El. Bd. 18, S. 123, 1927.

Der elektrische Strom.

a) Metalle und metallisch leitende Körper.

(61) **Eingeprägte Feldstärke.** Im Innern homogener Leiter ist im Zustande des elektrischen Gleichgewichts (im elektrostatischen Felde) die Feldstärke $\mathfrak{E} = 0$. In chemisch oder thermisch heterogenen Leitern besteht eine „eingeprägte“ Feldstärke \mathfrak{E}_e , die von der Beschaffenheit des Leiters abhängt. Sie wird im Gleichgewichtszustand durch eine gleich große, aber entgegengerichtete elektrische Feldstärke \mathfrak{E} gerade aufgehoben: $\mathfrak{E} + \mathfrak{E}_e = 0$.

(62) **Strömung, Ohmsches Gesetz.** Jede Abweichung der Feldstärke von dem soeben angegebenen Gleichgewichtswert ruft eine Strömung von der Dichte

$$c = \frac{1}{\rho} (\mathfrak{E} + \mathfrak{E}_e)$$

hervor (Ohmsches Gesetz). ρ ist der spezifische Widerstand des Materials, $\kappa = 1/\rho$ der spezifische Leitwert oder die Leitfähigkeit. Die Stromlinien können nur dort entspringen oder münden, wo elektrische Ladungen sich ändern. An allen anderen Punkten ist also $\text{div } c = 0$.

(63) Energieumsatz. Die Strömung ist mit einer Erzeugung nichtelektrischer Energie verbunden, die in der Zeit dt

$$\Psi dt = dt \int \mathfrak{E} c dV = dt \int (\rho c^2 - \mathfrak{E}_e c) dV$$

beträgt. Darin entspricht ρc^2 der in der Raum- und Zeiteinheit entstehenden Stromwärme (Joulesches Gesetz (72)); sie ist stets positiv (irreversibler Energieumsatz). $\mathfrak{E}_e c$ ist die Abnahme der chemischen Energie bei galvanischen oder die verbrauchte Peltierwärme bei Thermoelementen; sie wechselt mit c das Vorzeichen (reversibler Energieumsatz); dV bedeutet das Raumelement.

(64) Potential. Auch das elektrische Feld einer stationären Strömung ist überall wirbelfrei; die Feldstärke \mathfrak{E} kann daher als Gefälle eines einwertigen Potentials dargestellt werden: $\mathfrak{E} = -\text{grad } \varphi$.

(65) Lineare Leiter sind solche, deren Querschnittsabmessungen klein gegen die Länge sind (Drähte u. dgl.). Wenn q den Querschnitt, $|c|q = I$ den Gesamtstrom,

$\int_a^b \mathfrak{E} ds = \varphi(a) - \varphi(b) = U$ die Potentialdifferenz oder Spannung zwischen

den Enden a und b des Leiters und $\int_a^b \mathfrak{E}_e ds = E$ die im Stücke ab tätige elektromotorische Kraft (EMK) bezeichnet, so nimmt das Ohmsche Gesetz hier die Form an

$$U = RI - E, \quad \text{mit } R = \int_a^b \frac{\rho |ds|}{q}.$$

R ist der Widerstand des Leiters ab , $G = 1/R$ sein Leitwert. Ist der Querschnitt überall derselbe, und ist l die Drahtlänge, so ist

$$R = \rho l / q.$$

Spezialfälle.

1. Für einen geschlossenen Kreis ist $U = 0$, daher $E = RI$.
2. An den Enden eines Leiters, in dem keine EMK wirkt, ist die Spannung $U = RI$ (Ohmscher Spannungsfall).
3. Die Klemmenspannung einer galvanischen Zelle (eines Sammlers) ist $U_k = E - R_i I$ bei der Entladung, $U_k = E + R_i I$ bei der Ladung; R_i ist der innere Widerstand der Zelle.

Die in der Zeiteinheit im linearen Leiter erzeugte nichtelektrische Energie ist

$$\Psi = RI^2 - EI$$

RI^2 ist die Joulesche Wärmeleistung, $-EI$ die Zunahme der chemischen Energie oder Peltierwärme. Ψ wächst auf Kosten der elektrischen Energie (oder der magnetischen Energie; abgesehen von bewegten Körpern). Im Falle stationärer Strömung sind diese Energien konstant, daher $\Psi = 0$ oder $RI^2 = EI$ (Joulesche Wärme = Abnahme der chemischen Energie oder der Peltierwärme).

(66) Die Kirchhoffschen Sätze über die Stromverzweigung beziehen sich auf ein aus linearen Leitern in beliebiger Weise zusammengeschaltetes Netz.

1. In jedem Verzweigungspunkte ist die Summe der ankommenden Ströme gleich der Summe der abfließenden: $\sum I = 0$ (folgt aus $\text{div } c = 0$).
2. Für jeden aus den Leitern zu bildenden geschlossenen Weg ist die Summe

aller EMKe gleich der Summe aller Ohmschen Spannungsfälle: $\sum E = \sum RI$ (folgt aus dem Ohmschen Gesetz).

Aus diesen Sätzen folgt insbesondere:

a) eine aus den Widerständen R_1, R_2, \dots, R_n gebildete Reihe hat den Gesamtwiderstand $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$.

b) Schaltet man die Einzelwiderstände parallel, so ist der Gesamtwiderstand aus $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$ zu berechnen.

Ist $R_1 = R_2 = \dots = R_n = R_0$, so wird $R = R_0/n$.

(67) In körperlich oder flächenhaft ausgedehnten Leitern muß die Stromverteilung aus den in (61) bis (64) angegebenen Beziehungen berechnet werden. Von einem Widerstande solcher Leiter kann man nur dann sprechen, wenn Lage und Beschaffenheit der Stromzuführungsstellen (Elektroden) gegeben sind, und wenn diese so klein sind oder so wenig Widerstand haben, daß von einem bestimmten Potential der Elektroden geredet werden kann¹⁾.

(68) Widerstände einiger ausgedehnten Leiter. 1. Isolationswiderstand gestreckter Leiter (siehe auch (92)).

Die Ableitung $G = 1/R$ ist für ein *homogenes* Dielektrikum der Kapazität (51 bis 54) proportional; es gilt $G = 4\pi c^2 C / \epsilon \varrho_{\text{abs}}$, wobei alle Größen in absolutem elektromagnetischem Maß ausgedrückt sind. Wenn man R in Ohm, d. h. G in Siemens, und C in Mikrofarad ausdrückt, so ist

$$G = \frac{1}{R} = \frac{36 \cdot 10^9 \pi}{\epsilon \varrho_1} C,$$

ϵ = Dielektrizitätskonstante, ϱ_1 = spez. Widerstand für 1 m Länge und 1 mm² Querschnitt = $10^4 \varrho$ in $\Omega\text{-cm} = 10^{-5} \varrho_{\text{abs}}$.

Sind mehr als zwei Leiter im Felde, so ergibt jede Teilkapazität (s. Fußnote 1 auf S. 52) nach dieser Formel die zugehörige Teilableitung.

2. Übergangswiderstände von Erdelektroden in einem unbegrenzten Medium

Kugel, Durchm. = d

$$R = \varrho / 2\pi d,$$

Kreisplatte, Durchm. = d

$$R = \varrho / 4d,$$

Zylindr. Walze, Durchm. = d
Länge = nd

$$R = \frac{\varrho}{\pi d} \frac{\log \text{nat } 2n}{2n},$$

Rechteckige Platte, Länge der kleineren Seite a , der größeren Seite na

$$R \approx \frac{\varrho}{2a\pi\sqrt{N}} \log \text{nat} \frac{n+1+\sqrt{N}}{n+1-\sqrt{N}}$$

Dabei ist $N = (1+n)^2 - 8n/\pi$

Kreisring, Dicke d ,
Durchmesser D

$$R = \frac{\varrho}{2\pi^2 D} \log \text{nat} \frac{8D}{d}$$

Die vorstehenden Formeln gelten angenähert auch für den Fall, daß die Elektroden tief unter der Erdoberfläche liegen; befinden sie sich dagegen in der Erdoberfläche, so ist der Übergangswiderstand genau doppelt so hoch, als die Formeln ergeben.

Rohr, Dicke d , von der Erdoberfläche senkrecht abwärts zur Tiefe t reichend

$$R = \frac{\varrho}{2\pi t} \log \text{nat} \frac{4t}{d}$$

Maße in cm; ϱ für Grund-(Fluß-)Wasser, bzw. nassen Boden ca. $10^4 \Omega\text{-cm}$, für trocknen Boden ca. $10^6 \Omega\text{-cm}$, für Seewasser ca. $10^2 \Omega\text{-cm}$.

¹⁾ Näheres bei Debye: *Enzykl. d. Math. Wiss.* Bd. V. Art. 17, § 6 bis 16, S. 401—425.

(69) Temperatureinfluß. Der Widerstand der Metalle und Legierungen befolgt in mäßigen Temperaturgrenzen mit praktisch ausreichender Genauigkeit das Gesetz

$$R_t = R_o(1 + \alpha t) = R_{\vartheta} \left[1 + \frac{\alpha}{1 + \alpha \vartheta} (t - \vartheta) \right].$$

R_t , R_{ϑ} , R_o = Widerstand bei t , ϑ , 0° C; α = Temperaturkoeffizient bei 0° ; er beträgt für die meisten Metalle etwa 0,0035 bis 0,0045, für die reinen ferromagnetischen Metalle etwa 0,0066, für Legierungen stets viel weniger. Für vollkommen reine Metalle hat der Temperaturkoeffizient die größten Werte (Zahlen bei L. H o l b o r n Z. S. f. Phys. Bd. 8. S. 62. 1921); geringe Verunreinigungen drücken ihn stark herab.

$\alpha_{\vartheta} = \alpha / (1 + \alpha \vartheta)$ ist der Temperaturkoeffizient bei der Temperatur ϑ . Aus dem vorstehenden Ausdruck ergibt sich

$$\frac{1}{\alpha_{\vartheta}} = \frac{1}{\alpha} + \vartheta.$$

Der Widerstand der reinen Metalle nimmt fast linear mit der Temperatur ab und verschwindet bei gewissen Metallen (z. B. Blei) nach Beobachtungen von K a m e r l i n g h O n n e s bei einer sehr tiefen, wenig über dem absoluten Nullpunkt liegenden Temperatur vollständig; bei dieser Temperatur kann man somit durch dünne Drähte beliebig starke Ströme schicken¹⁾.

Der spezifische Widerstand von Kohle, Siliziumkarbid, Karborund, Karbazolith, Silit u. dgl. nimmt mit wachsender Temperatur stark ab²⁾.

(70) Spezifischer Widerstand. Man beachte, daß der spezif. Widerstand von Metallen so sehr von Beimengungen abhängig ist, daß genaue Zahlen, die man für die ganz reinen Metalle kennt, oder Beispiele von Werten für verunreinigte Metalle oder für Legierungen hier nur verhältnismäßig geringen Wert haben.

Spezifischer Widerstand ϱ und Temperaturkoeffizient α bei 20° .

	ϱ	1000 α		ϱ	1000 α
Aluminium	0,03—0,04	3,6	Silber	0,016	3,6
Aluminiumbronze	0,12	1	Stahl	0,10—0,25	5,2
Antimon	0,45	4,1	Tantal	0,15	3,3
Blei	0,21	4,2	Wismut	1,2	4,2
Cadmium	0,076	4,0	Wolfram	0,055	4,1
Eisen	0,10—0,15	4,5	Zink	0,063	3,7
Elektron	0,063	2,2	Zinn	0,10	4,2
Gold	0,23	4,0	Kohle (Retorten-		
Iridium	0,053	4,1	kohle, Graphit) .	ca. 100	—0,2 bis —0,8
Kupfer	0,0175	3,9	Kohlenstifte für		
Magnesium	0,045	3,9	Bogenlampen:		
Messing	0,07—0,09	1,5	Homogenkohlen .	55—78	
Neusilber	0,15—0,40	0,2—0,6	Dochtkohlen . .	57—88	
Nickel	0,08—0,11	4,0	Kohlenfäden für		
Osmium	0,095	4	Glühlampen:		
Palladium	0,11	3,8	roh	35	
Platin	0,11—0,14	2 bis 3	mit Kohlenieder-		
Quecksilber	0,96	0,92	schlag	25	
Rhodium	0,06	4,4			

¹⁾ Dewar, J.: Proc. Roy. Soc. Bd. 68, S. 360, 1904. — Niccolai, C.: Atti della Acad. dei Lincei, 1907. — K a m e r l i n g h O n n e s: Communicat. Physical. Laborat. Leiden, namentlich Nr. 133c, 1913. — Zusammenfassende Darstellung bei C r o m m e l l n: Phys. ZS. Bd. 21, S. 274, 300, 331, 1920. Zahlenwerte und weitere Literatur in Landolt-Börnsteins physikal.-chem. Tabellen, 4. Aufl. 1912.

²⁾ Bis zu einem Minimum, nach K o e n i g s b e r g e r, J. und R e i c h e n h e i m, O.: Phys. Zeitschr. Bd. 7, S. 570, 1906; K o e n i g s b e r g e r, J. und S c h i l l i n g, K.: Ann. Phys. Bd. 32, S. 179, 1910. Siehe ferner „Handwörterbuch der Naturwissenschaften“, Bd. 3, S. 351 ff. Jena 1913.

Drahte für Freileitungen.

	ϱ	Festigkeit kg*/mm ²		ϱ	Festigkeit kg*/mm ²
Hartkupfer . . .	0,017	42—45	Bronze	0,019—0,022	50—55
Bronze	0,018	46	Bronze	0,025—0,056	70—90

Legierungen als Widerstandsmaterialien¹⁾.

Nach Angaben der Fabrikanten. Die Messungen rühren größtenteils von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt her; sie gelten nur für die untersuchten Stücke genau, für die im Handel gelieferten Materialien aber nur angenähert.

Bezugsquelle	Nummer	Material	ϱ	α	spez. Gew.	Festigkeit	feinster Draht
						kg* mm ²	
Basse & Selve, Altena (Westf.)	1	Konstantan hart	0,51	—0,000005	8,89	hart 83	0,05
		weich	0,49			weich 48	
	2	Nickelin	0,43	0,00023	8,71	hart 90	„
Vereinigte Deutsche Nickelwerke Akt.-Ges. vormals Westfäl. Nickelwalzwerk, Fleitmann, Witte & Co., Schwerte, Westf.	3	Nickelin-Neusilber	0,36	0,00031	8,71	weich 49	„
	4	Widerstandsdraht „Superior“	0,86	0,00073	8,5	—	0,10
	5	„ Ia. Ia., hart	0,50	—0,00001	bis	75	0,05
	6	„ „ weich	0,47	0,00001	9,0	40	„
	7	Nickelin Nr. 1, hart	0,44	0,00008		70	„
	8	„ „ weich	0,41	0,00017		40	„
	9	„ Nr. 2, hart	0,34	0,00018		70	„
	10	„ „ weich	0,32	0,00019		40	„
	11	Neusilber 2a., hart	0,37	0,00020		65	„
	12	„ „ weich	0,37			45	„
	13	Blanca-Extra	0,48	0,00015		—	„
	14	Chromin hart	0,82	0,00026		100	0,10
	„ weich	0,85	0,00026		70	0,10	
	Dr. Geitners Argenta-fabrik, F. A. Lange, Auerhammer, Sachs.	15	Rheotan	0,48	0,00023	8,9	
16		Rheotan CN	0,48	—0,00003			0,10
17		Rheotan S	0,72	0,00004	bis		0,10
18		Nickelin	0,40	0,00016			0,10
19		Extra Prima Neusilber	0,30	0,00025	9,0		0,10
Isabellenhütte bei Dillenburg	20	Manganin	0,43	±0,00001	8,3	45	0,03
	21	Resistin (nickelfrei)	0,50	±0,00002	8,3	45	0,06
Fried. Krupp, A.-G., Essen	22	Kruppsches Widerstandsmaterial	0,85	0,00077			
	23	WTII-Widerstandsmaterial für hohe Temperat.	1,00	zw. 18 u. 150° 0,00025	8,10	60	0,5
C. Schniewindt, Neuenrade in Westfalen	24	Exzelsior I	0,86	0,0007			0,10
	25	Konstantan	0,50	0,000005	bis		„
	26	Rheostatin	0,48	0,000011	9,1		„
	27	Nickelin	0,40	0,0001			„
	28	Exzelsior II	0,058	0,0014			„

Zusammensetzung einiger der angeführten Materialien nach Gewichtsprozenten (abgerundet).

- Nr. 1: 58 Cu, 41 Ni, 1 Mn,
 „ 2: 54 Cu, 26 Ni, 20 Zn,
 „ 20: 84 Cu, 4 Ni, 12 Mn.

Man erhält den Widerstand eines linearen Leiters (65) nach der auf S. 60 angegebenen Formel $R = \varrho l/q$, wo ϱ aus den obigen Tafeln entnommen, R in Ω , l in m, q in mm² gemessen ist.

Der spezifische Widerstand wird häufig nach Mikrohmm-Zentimeter gemessen; er ist dann gleich dem Widerstand eines Würfels von 1 cm Seite in Milliontel-Ohm =

¹⁾ Eine reichhaltige Zusammenstellung von Zahlenwerten findet man im Bulletin des Schweiz. Elektrot. Vereins, Jahrg. 1923. S. 525.

dem Hundertfachen der in den vorstehenden Tabellen unter ρ enthaltenen Werte. Multipliziert man diese mit 10^5 , so erhält man ρ in absoluten elektromagnetischen CGS-Einheiten.

(71) Widerstandskörper und -Drähte. C. S ch n i e w i n d t, Neuenrade i. W., liefert Widerstandskörper aus einem Gewebe bzw. Geflecht von Widerstandsdrähten oder Platte mit Asbestfäden in Form von Gittern, Bändern, Kordeln und Schläuchen.

Die Maximalbelastungen beziehen sich auf die günstigsten Abkühlungsverhältnisse; baut man die Bänder in Apparate ein, so wird man sie je nach der Dauer der Belastung und nach den Abkühlungsverhältnissen nur mit der Hälfte bis zu zwei Dritteln der angegebenen Stromwerte belasten dürfen. Für Widerstände mit sehr geringer Belastungsdauer (Anlasser, Überspannungsschutzwiderstände) setzt man die Bänder unter Öl und darf sie dann bedeutend stärker belasten.

Widerstandsbänder Nr. 42 aus Konstantandraht (Schniewindt).

Drahtdurchmesser mm	0,10	0,13	0,15	0,18	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4
Maximalbelastung in A etwa	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,75	1,0	3	5	6	7	8	9	10	11	12
Widerstand bei 100 mm Breite in Ω/m	7500	5200	2000	1500	1200	800	400	200	120	80	45	32	23	17	11	7
Widerstand bei 60 mm Breite in Ω/m	4500	3100	1200	900	750	480	240	120	72	48	27	19	14	10	6,5	4,2

Größte Fabrikationslänge 20 bis 50 m, je nach der Drahtstärke;
größte Fabrikationsbreite 1 m.

Die Widerstandskordel Nr. 60 wird mit einem Durchmesser von etwa 1,5 3 5 7 10 12 15 mm und mit einem Widerstand von etwa

minimal	16	1,0	1,5	2,4	3,5	4,0	4,5	Ω
maximal	800	1400	800	1100	1700	1900	2500	Ω

bei einer Belastung von etwa 0,04 bis 12 A geliefert.

H a r t m a n n & B r a u n Akt.-Ges. in Frankfurt (Main) liefern unter dem Namen „Haardrähte“ feine gezogene (nicht nach dem Wollastonverfahren hergestellte) Drähte von 0,2 bis herab zu 0,015 mm Durchmesser aus Silber, Kupfer, Aluminium, Zink, Gold, Messing, Nickel, Eisen, Platin, Platinsilber, Platiniridium, Phosphorbronze, Stahl, Manganin, Konstantan, Kulmitz, Kruppin, Neusilber, Nickelin. Die Widerstände gehen bis 2850 Ω/m . Außerdem werden Wismutdrähte von 0,06 bis 2 mm Durchmesser und sogenannte Wollastondrähte geliefert. Nach Wollaston umgibt man zur Herstellung feinsten Gold- und Platindrähte den ausziehenden Draht mit einer Silberhülle und zieht ihn mit dieser durch Diamantlochsteine auf geringstmögliche Dicke. Die verbleibende Silberhülle ist vor Benutzung der Drähte auf chemischem Wege zu entfernen.

Durchmesser der Gold- oder Platin- seele. mm	0,0015	0,002	0,0025	0,003	0,004	0,005	0,0075	0,01
Außerer Durch- messer, etwa mm	0,015	0,02	0,09	0,11	0,14	0,15	0,10	0,08

Die Leonischen Werke Roth-Nürnberg A.-G. in Nürnberg, liefern Flachdraht (Platte, Bänder) aus Widerstandsdraht Ia. Ia. von Fleit-

mann, Witte & Co. in Schwerte i. W. glatt und gewellt (gekrüpf) von 1 bis 700 Ω /m. Die stärkste Platte ist rd. 2,80 mm, die dünnste rd. 0,12 mm breit, und die Dicke beträgt $\frac{1}{25}$ bis $\frac{1}{20}$ der Breite. Platte in denselben Abmessungen wird von C. Schnie windt, Neuenrade i. W. geliefert.

Hohe Widerstände zwischen 10^7 und $10^3 \Omega$ werden unter der Bezeichnung „M u l t o h m“ (vgl. L i l i e n f e l d u. H o f m a n n: ETZ 1920, S. 870) hergestellt; es sind Glasröhren, die innen eine dünne Schicht aus Kohlenstoff oder Metall-oxyden in spiraliger Belegung tragen.

(72) **Erwärmung von Leitungen** (J o u l e s Gesetz). In einem Draht vom Widerstande R Ohm, durch den I Ampere fließen, entsteht während t Sekunden eine Stromwärme von

$$Q = 0,239 I^2 R t \text{ Grammkalorien.}$$

Wegen der Wahl des Leitungsquerschnitts mit Rücksicht auf die Erwärmung siehe den Abschnitt „Leitung und Verteilung“ (Starkstromausgabe).

(73) **Das Wesen der Stromleitung in Metallen** wird nach E. Riecke, P. Drude, J. J. Thomson und H. A. Lorentz dadurch erklärt, daß in den metallisch leitenden Körpern freie Elektronen (Atome negativer Elektrizität) vorhanden sind, die sich unter dem Einfluß des elektrischen Feldes bewegen. Näheres bei A b r a h a m, M.: Theorie d. Elektriz. Bd. II, S. 270, § 32, 1908; Riecke, E.: Phys. Zeitschr. Bd. 10, S. 508, 1909; B a e d e k e r, K.: „Elektrische Erscheinungen in metallischen Leitern“, Braunschweig 1911; Siebel: „Die Elektrizität in Metallen“, Braunschweig 1922; Nasarow, N. S.: Phys. Zeitschr. Bd. 27, S. 455, 1926; C o h n, E.: Das elektromagn. Feld, Kap. V, § 2; Berlin 1927, (2. Aufl.).

(74) **Thermoelektrische Kräfte**. Wenn in einem Leiter, der aus zwei oder mehreren verschiedenen Metallen (oder aus physikalisch verschieden beschaffenen Stücken desselben Metalls, z. B. einem harten und einem weichen Draht) besteht, die Verbindungsstellen der Metalle ungleiche Temperaturen besitzen, so entsteht eine EMK. Diese Kraft, Thermokraft, ist von der Natur der in Berührung gebrachten Metalle abhängig und wächst im allgemeinen mit der Temperaturdifferenz der Berührungsstellen. Bei sehr starken Erhitzungen (der einen Verbindungsstelle, während die andere abgekühlt bleibt) wird indes für viele Kombinationen von Metallen die EMK wieder geringer, ja sie kann ganz verschwinden und bei noch weiter gehender Erhitzung von neuem, aber mit entgegengesetzter Richtung auftreten.

Die Metalle und Metallegierungen lassen sich in eine thermoelektrische Spannungsreihe ordnen, welche zunächst nur für mäßige Erhitzungen gilt. Die Stellung der einzelnen Metalle in dieser Reihe ist aber von geringen Beimengungen, die sie enthalten können, abhängig. Die folgende Tabelle gibt die thermoelektrische Kraft eines Metallpaares, wenn die eine Lötstelle sich auf 0° , die andere auf 100° befindet, in Millivolt als Differenz der beigeetzten Zahlen.

Wismut 0	Quecksilber 6,7	Silber 7,4
Konstantan 3,0	Aluminium 7,1	Kupfer 7,4
Patentnickel 3,8	Blei 7,1	Zink 7,5
Nickel 5,1	Zinn 7,1	Cadmium 7,6
Palladium 6,1	Messing 7,1	Eisen 8,3
Platin 6,6	Gold 7,2	Antimon 10,0

Hieraus ergibt sich z. B. die thermoelektrische Kraft eines Kupfer-Konstantan-elementes zu $7,4 - 3,0 = 4,4$ mV für 100° Temperaturunterschied der beiden Lötstellen.

Der positive Strom fließt in der wärmeren Lötstelle in der Richtung Wismut—Antimon.

Zur Messung hoher Temperaturen ist das von der Firma Heraeus, Hanau, angefertigte Thermoelement nach L e c h a t e l i e r aus Platin-

Rhodium (10% Rh, 90% Pt) gebräuchlich. Befindet sich die eine Lötstelle auf 0°, die andere auf t° , so gilt im Mittel nach Holborn und Valentiner (Ann. d. Phys. (4) Bd. 22, 1907, S. 27)

$t = 100$	200	300	400	500	600	700	800°
EMK = 0,6	1,4	2,25	3,17	4,13	5,14	6,17	7,25 mV
$t = 900$	1000	1100	1200	1300	1400	1500°	
EMK = 8,34	9,47	10,62	11,8	13,0	14,1	15,3	mV

Richtlinien für die Brauchbarkeit verschiedener Thermoelemente zur Messung hoher Temperaturen hat die Physikalisch-Techn. Reichsanstalt aufgestellt; Zeitschr. f. Instr. Bd. 38, 1918, S. 97.

Die Umwandlung der Wärme in elektrische Arbeit in einem Thermoelement ist ein umkehrbarer Vorgang (63): das bei der Stromentnahme sich ausgleichende Temperaturgefälle entsteht von neuem, wenn man die Stromrichtung umkehrt; der Strom schafft sich dann selbst eine Gegen-EMK (Peltierwirkung).

Auch in vielen homogenen Leitern treten Thermokräfte auf, wenn ein Temperaturgefälle in ihnen besteht. Die Thermokraft ist diesem Gefälle proportional; in einigen Stoffen hat sie die Richtung des Temperaturgefälles, in anderen die entgegengesetzte (Thomsonwirkung).

b) Elektrolyte.

(75) **Elektrolytische Leitfähigkeit.** Salze, Säuren und Basen bzw. Oxyde (Leiter zweiter Klasse) leiten gelöst in Wasser (und einigen anderen Lösungsmitteln) sowie in geschmolzenem Zustande die Elektrizität unter gleichzeitiger chemischer Zersetzung. Für die elektrolytisch leitenden Substanzen gilt das Ohmsche Gesetz. Der Widerstand R ist proportional der Länge l (gemessen in cm) und umgekehrt

Leitfähigkeit wässriger Lösungen bei 18°.

Äquivalentleitvermögen				Leitfähigkeit. Länge und Querschnitt des Leiters in cm und cm ² , Gehalt in Gewichtsprozenten		
1000 η	1,0	0,1	0,001	5%	10%	20%
KCl	98,27	112,03	127,34	0,069	0,136	0,268
NaCl	74,35	92,02	106,49	0,0672	0,1211	0,196
NH ₄ Cl	97,0	110,7	127,3	0,0918	0,1776	0,3365
KNO ₃	80,46	104,79	123,65	0,0454	0,084	0,151
NaNO ₃	65,86	87,24	102,85	0,044	0,078	0,130
AgNO ₃	67,6	94,33	113,15	0,0256	0,0476	0,0872
$\frac{1}{2}$ K ₂ SO ₄	71,6	94,9	126,9	0,0458	0,0860	—
$\frac{1}{2}$ Na ₂ SO ₄	50,8	78,4	106,7	0,0409	0,0687	—
$\frac{1}{2}$ BaCl ₂	70,14	90,8	115,6	0,0389	0,0733	0,1331
$\frac{1}{2}$ MgSO ₄	28,9	49,7	99,8	0,0263	0,0414	0,0476
$\frac{1}{2}$ CuSO ₄	25,8	43,85	98,54	0,0189	0,0320	—
$\frac{1}{2}$ ZnSO ₄	(26,6)	45,34	98,40	0,0191	0,0321	0,0468
$\frac{1}{2}$ CdSO ₄	23,58	42,21	97,72	0,0146	0,0247	0,0388
KOH	184	213	(234)	—	—	—
NaOH	157,0	195,4	—	0,197	0,312	0,327 ¹⁾
HCl	301	351	(377)	0,395	0,6302	0,7615
HNO ₃	310	350	(375)	—	—	—
$\frac{1}{2}$ H ₂ SO ₄	198	225	361	0,209	0,392	0,653

¹⁾ bei 15°.

proportional dem Querschnitt q , gemessen in cm^2 , sowie der Leitfähigkeit oder dem spezifischen Leitwert κ , also: $R = l/\kappa q$. Als Einheit der Leitfähigkeit gilt die Leitfähigkeit eines Körpers, dessen Würfel mit der Kantenlänge von 1 cm den Widerstand von 1 Ω besitzt. Die Leitfähigkeit der Elektrolyte nimmt in der Regel mit steigender Temperatur zu, und zwar etwa um 2% für 1°.

(76) Äquivalentleitvermögen (F. Kohlrausch). Enthält eine Lösung von der Leitfähigkeit κ in 1 cm^3 η Grammäquivalente des Elektrolyten, so ist ihr Äquivalentleitvermögen $A = \kappa/\eta$. Zahlenwerte s. vorige Seite.

(77) Elektrolytische Dissoziation (Arrhenius). Die nichtleitenden Moleküle eines Elektrolyten sind in Lösung bis zu einem gewissen mit der Verdünnung zunehmenden Bruchteil (Dissoziationsgrad α) in elektrisch geladene, die Stromleitung besorgende Teilermoleküle (Ionen) gespalten. Das Verhältnis der Leitfähigkeit bei einer bestimmten Konzentration A_η zu der bei unendlicher Verdünnung A_∞ ergibt den Dissoziationsgrad, also: $\alpha_\eta = A_\eta/A_\infty$.

Ionen mit 1 oder mehr positiven Ladungen (Kationen) sind Wasserstoff, die Metalle und die Gruppe NH_4^+ . Ein- oder mehrfach negativ geladene Ionen (Anionen) sind die Halogene, die Säureradikale OH^- , NO_3^- , SO_4^{--} , ClO_3^- , NO_2^- , PO_4^{--} und viele andere. An Stelle der Zeichen + und — werden häufig an den chemischen Formeln die Zeichen \cdot und $'$ angebracht.

(78) Wirkungen des Stromes auf den Elektrolyten. Taucht man zwei metallisch leitende Elektroden in die Lösung eines Elektrolyten oder in einen geschmolzenen Elektrolyten und schickt einen Strom hindurch, so wandern die Kationen in der Richtung des Stromes zur Kathode, die Anionen zur Anode und werden daselbst abgeschieden, wobei sie in den ungeladenen Zustand übergehen.

Erstes Gesetz von Faraday. Die abgeschiedene Menge m der Ionen ist proportional der durch den Elektrolyten hindurchgegangenen Elektrizitätsmenge Q (oder prop. der Stromstärke I und der Dauer t des Stromschlusses).

Zweites Gesetz von Faraday. Durch die gleiche Elektrizitätsmenge werden von verschiedenen Stoffen Mengen abgeschieden, welche im Verhältnis ihrer Äquivalentgewichte stehen.

Die Menge eines Körpers, die durch die Einheit der Elektrizitätsmenge abgeschieden wird, heißt sein elektrochemisches Äquivalent a . Die Konstante a (z. B. für 1 mg/C) erhält man, indem man das chemische Äquivalent durch $10^{-3} F = 96,5$ (Valenzladung; vgl. S. 16) dividiert. Dies ergibt für beide Gesetze

$$m = a \cdot Q = a \int I dt.$$

Die Faradayschen Gesetze werden zur Messung von Elektrizitätsmengen benutzt (siehe Voltmeter (179)). Zahlenwerte s. (79), folgende Seite.

(80) Überführungszahlen und Ionenbeweglichkeiten (Hittorf). Die Geschwindigkeit, mit der die Ionen unter dem Einflusse des Stromes wandern, hängt ab 1. von den spez. Beweglichkeiten u und v der Ionen und 2. von dem in der Lösung herrschenden Spannungsgefälle (V/cm), welches letzterem prop. sie wächst. Das Verhältnis der Zahl der Anionen (Kationen), d. h. der sich in der Richtung von der Kathode zur Anode (bzw. von der Anode zur Kathode) durch einen Querschnitt des Elektrolyten bewegenden Ionen zu der Gesamtzahl der ausgeschiedenen Anionen (Kationen) heißt die Überführungszahl des Anions ν (bzw. Kations $1 - \nu$). Das Verhältnis der Beweglichkeiten ist gleich dem Verhältnis der Überführungszahlen: $u/v = (1 - \nu) : \nu$.

(81) Unabhängige Wanderung der Ionen (Gesetz von Kohlrausch¹⁾). Bei sehr großer Verdünnung ist die Summe der Ionenbeweglichkeiten gleich der Leitfähigkeit der Lösung: $A_\infty = u + v$. Für konzentriertere Lösungen, in denen die Dissoziation noch nicht vollständig ist, gilt $A_\eta = \alpha_\eta (u + v)$. Man kann hiernach

¹⁾ Wied. Ann. Bd. 6, S. 1 (1879); Bd. 26, S. 161 (1885).

aus den Beweglichkeiten gleichwertiger Ionen die Leitfähigkeit beliebiger Lösungen annähernd berechnen.

(79) Atom- und Äquivalentgewichte und elektrochemische Äquivalente.

Element	Zeichen	Atomgewicht	Valenz	Äquivalentgewicht	Elektrochem. Äquivalent	
					für 1 C. mg	für 1 Ah g
Aluminium	Al	27,1	3	9,03	0,0936	0,337
Blei	Pb	207,20	2	103,60	1,0735	3,865
Brom	Br	79,92	1	79,92	0,8282	2,982
Cadmium	Cd	112,40	2	56,20	0,5824	2,097
Chlor	Cl	35,46	1	35,46	0,3675	1,323
Eisen	Fe	55,84	2	27,94	0,2895	1,0425
„			3	18,627	0,1931	0,695
Gold	Au	197,2	3	65,7	0,681	2,452
Jod	J	126,92	1	126,92	1,3153	4,735
Kalium	K	39,10	1	39,10	0,4052	1,459
Kohlenstoff	C	12,00	4	3,001	0,0311	0,1119
Kupfer	Cu	63,57	1	63,57	0,6588	2,372
„			2	31,78	0,3294	1,186
Natrium	Na	23,00	1	23,00	0,2384	0,858
Nickel	Ni	58,68	2	29,34	0,3041	1,095
„			3	19,56	0,2027	0,730
Platin	Pt	195,2	4	48,80	0,5057	1,820
Quecksilber	Hg	200,6	1	200,6	2,0787	7,481
„			2	100,3	1,0393	3,742
Sauerstoff	O	16,000	2	8,000	0,0829	0,2985
Schwefel	S	32,07	2	16,035	0,1662	0,5981
Silber	Ag	107,88	1	107,88	1,11800	4,025
Stickstoff	N	14,008	3	4,67	0,0484	0,1742
Wasserstoff	H	1,008	1	1,008	0,01045	0,03762
Zink	Zn	65,37	2	32,685	0,3387	1,219
Zinn	Sn	118,70	2	59,35	0,614	2,214
„			4	29,67	0,307	1,107

Ionenbeweglichkeiten in wässriger Lösung bei 18°¹⁾.

u und v in cm/s bei 1 V/cm Spannungsgefälle.

Kationen				Anionen			
Ion	u	Ion	u	Ion	v	Ion	v
K	64,6	1/2 Sr	51	Cl	65,5	JO ₃	33,9
Na	43,5	1/2 Ca	51	Br	67,0	JO ₄	48
Li	33,4	1/2 Mg	45	J	66,5	C ₂ H ₃ O ₂	35,0
NH ₄	64	1/2 Zn	46	F	46,6	OH	174
Ag	54,3	1/2 Cd	46	NO ₃	61,7	1/2 SO ₄	68
H	315	1/2 Cu	46	ClO ₃	55,0	1/2 CrO ₄	72
1/2 Ba	55	1/2 Pb	61	ClO ₄	64	1/2 C ₂ O ₄	63

¹⁾ Nach Kohlrausch: Lehrbuch der prakt. Physik, 14. Aufl. 1923.

(82) Zersetzungsspannung (Le Blanc)¹⁾ ist die kleinste Spannung, bei der die Bestandteile des Elektrolyten an den Elektroden zur Abscheidung gelangen, und der Strom mit wachsender Spannung stärker zunimmt als unterhalb.

(83) Überspannung. Bei Gasentwicklung durch Strom ist auch an unangreifbaren Elektroden die Zersetzungsspannung von dem Material der Elektroden abhängig und kann die umkehrbare Spannung um mehrere Zehntel-Volt übertreffen. Nach Nernst²⁾ muß das abgeschiedene Gas, bevor es in Blasen entweichen kann, bis zu einer von der Löslichkeit des Gases in dem Elektrodenmetall abhängigen Konzentration in die Elektrode hineingepreßt werden. Der Betrag dieser nicht umkehrbaren Überspannung steht in umgekehrtem Verhältnis zur Löslichkeit des Gases in der Elektrode.

Von praktischer Bedeutung ist die Überspannung z. B. beim Bleiakкумуляtor, wo sie das Eintreten schädlicher Lokalaktionen verhindert, da die Bleielektrode sich unter Wasserstoffentwicklung in Bleisulfat verwandeln müßte, wenn nicht die Überspannung der Wasserstoffentwicklung am Blei größer wäre als das Potential des Bleies gegen die Schwefelsäure. Wird die Überspannung durch Berühren der Bleielektrode mit einem Platindraht aufgehoben, so geht die Oxydation des Bleies unter lebhafter Wasserstoffentwicklung am Platin vor sich. Bei der elektrolytischen Darstellung chemischer Präparate können Reduktions- und Oxydationsvorgänge durch die Überspannung an geeignet gewählten Elektroden günstig beeinflußt werden.

(84) Polarisation. Wird ein Element (Akkumulator) oder ein Bad in der einen oder anderen Richtung von einem Strom durchflossen, so entsteht eine der stromliefernden entgegengesetzt gerichtete EMK, die Polarisation, die durch Anwendung von Depolarisatoren beseitigt werden kann. Verursacht wird sie

1. durch Abscheidung von Stoffen, die der Lösung gegenüber ein anderes Potential haben als die Elektrode selbst,

2. durch Konzentrationsänderungen in dem Elektrolyten, die hauptsächlich infolge Auflösung der Elektroden bzw. Abscheidung an ihnen entstehen, die aber auch durch verschieden schnelle Wanderung der Ionen bedingt werden können.

(85) Depolarisatoren sind gelöste, gasförmige oder feste Stoffe, welche die an den Elektroden auftretenden Produkte durch chemische Bindung bzw. durch Entfernung aus der Lösung elektromotorisch unwirksam machen oder welche eine Abnahme der Konzentration durch Nachlieferung verhindern:

1. Oxydationsmittel verhindern den Übergang von Kationen in den elementaren Zustand. Solche sind a) O₂, Cl₂ usw.

b) chemische Verbindungen (Superoxyde), welche leicht O₂, Cl₂ usw. abgeben und die metallisch leiten (PbO₂, MnO₂),

c) gelöste Salze von Metallen mit mehreren Oxydationsstufen, die unter Verringerung ihrer Valenzzahl und Abgabe positiver Ladungen oxydierende Elemente abgeben, z. B. $2\text{Fe}^{+++} + 6\text{Cl}^- = 2\text{Fe}^{++} + 4\text{Cl}^- + \text{Cl}_2$.

2. Reduktionsmittel verhindern die Abscheidung von Anionen:

a) H₂ oder Anoden aus unedlem Metall,

b) chemische Verbindungen (Suboxyde), besonders auch organische Substanzen, welche leicht H₂ abgeben oder Anionen aufnehmen,

c) gelöste Salze von Metallen, die leicht von einer niederen Oxydationsstufe in eine höhere übergehen und dabei einen Teil des Metalls als Reduktionsmittel abgeben, z. B.: $2\text{Sn}^{++} + 4\text{Cl}^- = \text{Sn}^{++++} + 4\text{Cl}^- + \text{Sn}$.

Die Oxydations- bzw. Reduktionskraft einer Anzahl Substanzen ist in der folgenden Tabelle durch ihre Potentiale zahlenmäßig dargestellt, wobei das Potential des Wasserstoffs in normaler H-Ionenkonzentration als Nullpunkt gewählt ist.

3. In Elementen mit nur einer Lösung, welche ein Salz der einen Elektrode (Anode) enthält, muß die andere Elektrode (Kathode) von einem schwer löslichen

¹⁾ Zeitschr. f. phys. Ch., 8, S. 299 (1891), 12, S. 333 (1892)

²⁾ Theoretische Chemie, VIII.—X. Aufl., 1921 S. 852.

Salze dieser letzteren umgeben sein, das für eine kleine, durch seine Löslichkeit bestimmte Konzentration an Kationen der zweiten Elektrode sorgt, die durch den Strom dauernd abgeschieden, immer wieder aus dem festen Salze ergänzt werden. Beispiele hierfür sind das Clark- und Westonelement, bei denen am Hg-Pol Merkursulfat als Depolarisator wirkt.

(86) Relative Reduktions- und Oxydationspotentiale ¹⁾.

Oxydationsstufe niedere		höhere		n	Volt	Oxydationsstufe niedere		höhere		n	Volt
H ₂ gasf. + 2OH ⁻	2H ₂ O	2	+ 0,82			2H ₂ O	O ₂ gasf. + 4H ⁺	4	- 1,23		
S ⁼	Sfest	2	+ 0,55	TI ⁺	TI ⁺⁺⁺	2	- 1,24				
Cu ⁺	Cu ⁺⁺	1	+ 0,18	Cr ⁺⁺⁺ + 4H ₂ O .	HCrO ₄ ⁻ + 7H ⁺	3	- 1,3				
Sn ⁺⁺	Sn ⁺⁺⁺⁺	2	- 0,2	Mn ⁺⁺ + 2H ₂ O .	MnO ₂ + 4H ⁺	2	- 1,35				
Fe(CN) ₆ [≡]	Fe(CN) ₆ [≡]	1	- 0,40	Cl ⁻ + 3H ₂ O . .	ClO ₃ ⁻ + 6H ⁺	6	- 1,44				
Fe ⁺⁺	Fe ⁺⁺⁺	1	- 0,75	Pb ⁺⁺ + 2H ₂ O .	PbO ₂ fest + 4H ⁺	2	- 1,44				
Hg ₂ ⁺⁺	2Hg ⁺⁺	2	- 0,92	MnO ₂ fest + 2H ₂ O	MnO ₄ ⁻ + 4H ⁺	3	- 1,63				
NO + 2H ₂ O	NO ₃ ⁻ + 4H ⁺	3	- 0,95	Pb ⁺⁺	Pb ⁺⁺⁺⁺	2	- 1,8				
2OH ⁻	H ₂ O ₂	2	- 1,0	Co ⁺⁺	Co ⁺⁺⁺	1	- 1,8				

(87) Umkehrbare Elektroden. Sollen die chemischen Umsetzungen, die in einem Elemente, einem Akkumulator oder bei einer Elektrolyse während des Stromdurchganges stattfinden, das Maximum der Arbeit leisten bzw. mit einem minimalen Aufwand an äußerer Arbeit bewerkstelligt werden, so müssen die Elektroden sogenannte umkehrbare Elektroden sein, d. h. es darf bei Umkehr der Stromrichtung durch die gleiche Elektrizitätsmenge und unter Aufwendung der gleichen Spannung nur gerade die Reaktion rückgängig gemacht werden, welche bei der anfänglichen Stromrichtung stattgefunden hat, und es dürfen außerdem keinerlei andere Umsetzungen eintreten. Man unterscheidet zwei Arten:

1. Elektroden erster Art (d. h. Elektroden, die in bezug auf das Kation umkehrbar sind): Das Elektrodenmetall taucht in eine Lösung eines seiner Salze, dessen Konzentration so groß ist, daß es die Stromleitung besorgen kann, und daß immer genug Metallionen in der Umgebung der Elektrode vorhanden sind, welche entladen und abgeschieden werden können.

2. Elektroden zweiter Art (d. h. Elektroden, die in bezug auf das Anion umkehrbar sind): Das Elektrodenmetall taucht in eine Lösung eines fremden Salzes, ist aber umgeben von einem festen schwerlöslichen Salze, das aus dem Metall der Elektrode und dem Anion des fremden Salzes zusammengesetzt ist. Bei Stromdurchgang wird das Anion geladen oder entladen, während das Metall, ohne in Lösung zu gehen, direkt mit dem Anion reagiert.

Für jede umkehrbare Elektrode muß die Konzentration der umgebenden Lösung so gewählt werden, daß durch Lokalaktion kein anderes Kation auf der Elektrode niedergeschlagen wird, insbesondere daß keine Wasserzersetzung ein-

tritt, d. h. es muß der Ausdruck $\sqrt{C/c}$ (89) für die Elektrode und ihre Ionen kleiner sein als die entsprechende Größe für jedes andere in Frage kommende Ion. Die Tabelle (90) gibt hierfür einen guten Anhalt.

3. Normalelektroden sind umkehrbare Elektroden, die zur Untersuchung der Spannung einer Elektrode allein und unabhängig von dem Spannungsverluste (*IR*) in der Lösung dienen. Sie bestehen meist aus Hg, das von einem seiner schwerlöslichen Salze (Hg₂SO₄ in verdünnter H₂SO₄, HgCl in ver-

¹⁾ Siehe: Abhandl. d. deutsch. Bunsen-Gesellsch. Nr. 5 „Messungen elektromotorischer Kräfte galv. Ketten“ von R. Aebegg, Fr. Auerbach u. R. Luther; Halle 1911, Nr. 5 u. 1915 Nr. 8. — Die kursiven Zahlen der Tafel bedeuten unsichere Werte.

dünnter KCl-Lösung) überschichtet ist. Zum gleichen Zweck werden die Wasserstoffelektrode (mit H_2 beladenes Platin in verdünnter Säurelösung) und für technische Zwecke Zn in $ZnSO_4$ -Lösung von passender Konzentration gebraucht.

(88) Berechnung elektromotorischer Kräfte I. Thermodynamische Theorie. Die Arbeit, welche beim Stromdurchgange durch einen Elektrolyten gewonnen oder aufgewendet wird, beträgt für 1 Grammäquivalent $E \cdot F$ Wattsekunden (Spannung \times Elektrizitätsmenge/Äquivalent). Ganz allgemein gilt nach dem zweiten Hauptsatze der Thermodynamik (Gibbs, v. Helmholtz): $E = W/23063 + T \cdot dE/dT$, worin E die EMK, W die Wärmetönung des stromliefernden Vorganges, T die absolute Temperatur bedeuten. Der Faktor $23063 = 0,239 \cdot 96500$ ist das Produkt aus Wärmeäquivalent der elektrischen Energie mal F . Wenn die Peltierwärme $T \cdot dE/dT$ gleich 0 wird, so wird die EMK allein durch die Wärmetönung bestimmt. Ist andererseits die Wärmetönung verschwindend klein (wie bei Konzentrationsketten), so hat man $E = T \cdot dE/dT$, d. h. die EMK ändert sich proportional der absoluten Temperatur.

Für ein aus lauter reinen, im festen oder flüssigen Zustande befindlichen Stoffen bestehendes Element ist der Zusammenhang zwischen E und W durch das Nernstsche Wärmetheorem gegeben, nach dem im absoluten Nullpunkt $dE/dT = dW/dT = 0$ und $E = W$ wird. Läßt sich W durch eine Interpolationsformel nach steigenden Potenzen von T entwickeln, so erhält man: $W = W_0 + \beta T^2 + \gamma T^3 \dots$ und $E \cdot 23063 = W_0 - \beta T^2 - \frac{1}{2} \gamma T^3$, da die Faktoren für die erste Potenz von T verschwinden. Die Bedeutung von β und γ folgt aus dem Satze von Kirchhoff: $dW/dT = 2\beta T + 3\gamma T^2 = \Sigma C_1 - \Sigma C_2$, d. h. der Temperaturkoeffizient der Wärmetönung ist gleich der Differenz der Wärmekapazitäten vor und nach Hindurchfließen von $1 F$ durch das galvanische System. Finden bei bekanntem Verlaufe der spezifischen Wärmen der reagierenden Stoffe bis zum absoluten Nullpunkte in dem ganzen Temperaturgebiet keine Zustandsänderungen statt, so kann man aus W die EMK und ihre Abhängigkeit von der Temperatur berechnen.

(89) Berechnung elektromotorischer Kräfte II. Osmotische Theorie (Nernst)¹⁾. Unter Zugrundelegung der Gasesetze für verdünnte Lösungen (van t' Hoff) gilt für die Potentialdifferenz eines Metalls gegen die Lösung eines seiner Salze: $E = (RT/nF) \times \ln C/c$ Volt, wo R die Gaskonstante ($= 8,316 W \times s$), n die chemische Wertigkeit, C die Lösungstension des Metalls und c die Konzentration seiner Ionen in Grammäquivalent/Liter bedeuten (oder: $E = 1,983 \cdot 10^{-4} T/n \times \log C/c$; für 18° : $E = 0,0577/n \times \log C/c$). Für Metalloide und Anionen gilt die Formel mit negativem Vorzeichen.

Zwischen zwei verschieden konzentrierten Lösungen ($c_1 > c_2$) desselben Salzes besteht die Potentialdifferenz (Nernst): $E = + (u - v)/(u + v) \times RT/nF \times \log c_1/c_2$, [u und v (79, 80)]. Für eine Konzentrationskette mit zwei Elektroden gleichen Metalls (M) in verschieden konzentrierten Lösungen des gleichen Salzes (MS) nach dem Schema $M | MS \text{ verd.} | MS \text{ konz.} | M$ gilt:

$$E = RT/nF \times \left[\ln C/c_1 + \frac{u-v}{u+v} \ln c_1/c_2 - \ln C/c_2 \right] = -RT/nF \times \frac{2v}{u+v} \ln \frac{c_1}{c_2}$$

Der Sinn der EMK ist so gerichtet, daß der von ihr hervorgebrachte Strom die bestehenden Konzentrationsunterschiede auszugleichen strebt.

Bei einem galvanischen Element, das aus zwei verschiedenen Metallen mit den Tensionen C und C' und den Wertigkeiten n und n' besteht, die umgeben sind von Lösungen ihrer Salze mit den Konzentrationen c und c' , gilt unter Vernachlässigung der geringfügigen Potentialdifferenz an der Berührungsstelle der beiden Lösungen der einfache Ausdruck:

$$E = RT/F \times \frac{1/n \ln C/c - 1/n' \ln C'/c'}{1/n \log C/c - 1/n' \log C'/c'}$$

¹⁾ Zeitschr. f. phys. Ch. 2, S. 613; 4, S. 129, (1889). — Wied. Ann., Bd. 40, S. 561, (1890).

Diese Formeln gelten zur Berechnung sowohl der EMK von Elementen als der bei der Elektrolyse auftretenden Polarisation (Zersetzungsspannungen). Die folgende Tabelle enthält für eine Reihe positiver und negativer chemischer Elemente die Elektrodenpotentiale (P) bzw. Zersetzungsspannungen in äquivalentnormalen Lösungen ihrer Ionen entsprechend der Formel $P = 1,98 \cdot 10^{-4} T/n \times \log C/c$ für $c = 1$, wobei das Potential der Wasserstoffelektrode gleich 0 gesetzt ist. Für andere (c') als normale Konzentrationen ist $-0,058/n \times \log c'$ hinzuzufügen.

(90) Elektrodenpotentiale P und Zersetzungsspannungen¹⁾ in äquivalentnormalen Lösungen der Ionen bei 18°.

Ion	P Volt	Ion	P Volt	Ion	P Volt
K	+ 2,92	Tl	+ 0,33	Ag	- 0,80
Na	+ 2,71	Co	+ 0,29	Hg	- 0,86
Mg	+ 1,55	Ni	+ 0,22	O ₂	- 0,41
Mn	+ 1,0	Pb	+ 0,12	J	- 0,54
Zn	+ 0,76	Sn	+ 0,10	Br ₂	- 1,08
Fe	+ 0,43	H ₂	± 0,00	Cl ₂	- 1,36
Cd	+ 0,40	Cu	- 0,34	F ₂	- 1,9

Literatur: Nernst, W.: Theoretische Chemie, VIII.—X. Auflage, 1921. — Arrhenius, S.: Lehrbuch der Elektrochemie, 1901. — Le Blanc: Lehrbuch der Elektrochemie, 1911. — Förster, F.: Elektrochemie wässriger Lösungen, 2. Aufl. 1915. — Ferner: Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 24 u. 23. — Hittorf, W.: Über die Wanderung der Ionen während der Elektrolyse; Nr. 86 u. 87. — Faraday, M.: Experimentaluntersuchungen über Elektrizität, III. bis VIII. Reihe, Elektrolyse, Nr. 124. — v. Helmholtz, H.: Abhandlungen zur Thermodynamik, Nr. 160. — Arrhenius, S.: Untersuchungen über die galvanische Leitfähigkeit der Elektrolyte Nr. 160.

c) Isolierstoffe.

(91) Flüssigkeiten. Die Leitfähigkeit flüssiger Isolierstoffe ist eine im wesentlichen elektrolytische, herrührend von Verunreinigungen, die in großer Verdünnung in ihnen gelöst sind. Beim Stromdurchgang werden diese mehr und mehr auf den Elektroden niedergeschlagen, wodurch sich der Widerstand erhöht. Diese „elektrische Reinigung“ ist zuerst von H. Hertz am Benzin beobachtet worden (Ann. d. Phys. (3) Bd. 20, 1883, S. 283). Die Stromleitung in flüssigen Isolierstoffen ist von E. W a r b u r g untersucht worden (Ann. d. Phys. (3) Bd. 54, 1895, S. 396).

Nach diesen Versuchen ändert sich die Verteilung der Ionen in der Flüssigkeit während des Stromdurchgangs, bis sich, bei konstant gehaltener Spannung an den Elektroden, endlich ein stationärer Zustand einstellt. In der Regel ist hierbei die Leitfähigkeit erheblich geringer als zu Anfang des Versuches. Ist die Spannung an den Elektroden nicht konstant, sondern sinusförmig veränderlich, so kann die Ionenverteilung den Spannungsänderungen um so weniger folgen, je höher die Frequenz ist. Die Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen ist so gering, daß bereits bei den niedrigsten technisch verwendeten Frequenzen (16 in der Sekunde) der Wechselstrom keine nennenswerte Änderung der Ionenverteilung mehr hervorruft. Dies bedeutet, daß die Leitfähigkeit der flüssigen Isolierstoffe für die Wechselströme der Technik gleich dem Anfangswert der Leitfähigkeit für Gleichstrom zu setzen und jedenfalls von der Frequenz unabhängig ist. Diese Folgerung ist durch die Versuche von L. Pungs²⁾, G. L. Addenbrooke³⁾ und F. Tank⁴⁾ bestätigt worden. Insbesondere hat L. Pungs nachgewiesen, daß der Energieverbrauch in flüssigen Isolierstoffen

¹⁾ Siehe: Abhandl. d. deutsch. Bunsen-Ges. 1. c.

²⁾ Pungs, L.: Archiv für Elekt. Bd. 1 S. 329, 1912.

³⁾ Addenbrooke, G. L.: Proc. of the Phys. Soc. of London, Bd. 27, S. 291, 1915.

⁴⁾ Tank, F.: Ann. d. Phys. (4) Bd. 48, S. 307 1915.

in dem Gebiet $f = 15$ bis 75 unabhängig von der Frequenz ist (50, b), während nach A d d e n b r o o k e die höhere Leitfähigkeit für raschen Wechselstrom bei abnehmender Frequenz stetig in den niedrigeren Gleichstromwert übergeht.

Nach der oben vorgetragenen Ansicht über die Natur der Leitfähigkeit flüssiger Isolierstoffe muß sich die Leitfähigkeit durch sorgfältige Reinigung des Isolierstoffes weitgehend herabsetzen lassen. Es fragt sich, ob es auf diesem Wege möglich ist, die Isolationsfähigkeit eines flüssigen Isolierstoffes beliebig emporzutreiben. Bei vielen Stoffen gelingt die Reinigung nur bis zu einem gewissen Grade; die übrig bleibende Leitfähigkeit besitzt immer noch Kennzeichen ihrer elektrolytischen Natur. Dagegen ist es G. J a f f é¹⁾ gelungen, einige an sich sehr schlecht leitende Flüssigkeiten (Hexan, Heptan, Petroläther) durch vielfach wiederholtes, sehr sorgfältiges Destillieren von den elektrolytisch leitenden Verunreinigungen so gut wie vollständig zu befreien. Die so behandelten Flüssigkeiten wiesen noch einen Rest von Leitfähigkeit auf, die sich in jeder Weise so verhielt, wie die L e i t f ä h i g k e i t e i n e s d i c h t e n G a s e s. Sie kann beschrieben werden durch die Annahme, daß die Flüssigkeit durch irgendeine Strahlungsquelle in geringem Maße ionisiert wird. Durch die Strahlung wird in der Zeiteinheit eine gewisse Zahl von Molekülen in Ionen zerspalten. Die Zahl der in 1 cm^3 und in 1 Sekunde erzeugten Ionen werde mit n bezeichnet; n ist als Maß für die auf der Strahlung beruhende Leitfähigkeit des Stoffes anzusehen. Bei kleinen Feldstärken befolgt die Stromleitung das Ohmsche Gesetz. Bei größeren Feldstärken nähert sich der Strom einem S ä t t i g u n g s w e r t, der gleich ne ist, wo e die Ladung des Ion (die Elementarladung) bedeutet ($e = 1,8 \cdot 10^{-19}$ Coulomb). Sättigung tritt ein, sobald die Zahl der durch das elektrische Feld auf den Elektroden niedergeschlagenen Ionen gleich der Zahl der Ionen ist, welche die Strahlung in der Flüssigkeit neu erzeugt. Bei weiterer Steigerung des Feldes kann der Strom nicht mehr anwachsen. Im Gegensatz zu den früher betrachteten Fällen ist die Leitfähigkeit hier von der Temperatur unabhängig.

Bei den Versuchen von J a f f é waren die Ströme bereits bei einer Feldstärke von 200 V/cm (entsprechend einer Spannung von 400 V zwischen den Elektroden) gesättigt. Heptan und Petroläther ergaben nahezu denselben Grenzwert der Leitfähigkeit wie gereinigtes Hexan.

Die die Ionisation hervorrufende Strahlung ist teils äußere, teils rührt sie von der Apparatur (insbesondere von den Gefäßwänden) her. Die Wandstrahlung hängt ab vom Material der Wand. Die äußere Strahlung läßt sich dadurch verringern, daß man das Meßgefäß mit einem starken Bleimantel umgibt.

Die von der natürlichen Strahlung durch Ionisierung hervorbrachte Leitfähigkeit ist immer sehr gering. Man muß schon, wie es J a f f é getan hat, sehr schlecht leitende Stoffe verwenden und diese noch besonders reinigen, wenn man die Strahlungsleitfähigkeit rein beobachten will. Unter gewöhnlichen Verhältnissen überwiegt die von anderen Ursachen herrührende Leitfähigkeit bei weitem; aber bei einigen schlecht leitenden Stoffen kommt die Strahlungsleitfähigkeit neben anderen Arten der Leitfähigkeit in Betracht, so daß die beobachtete Gesamtleitfähigkeit ein verwickeltes Verhalten zeigt. An derartigen Stoffen kann man die Strahlungsleitfähigkeit dadurch hervortreten lassen, daß man eine stärkere künstliche Bestrahlung hinzufügt.

(92) Feste Körper. Durchgangswiderstand. Man scheidet die festen Isolierstoffe in zwei wesentlich verschiedene Klassen, nämlich:

1. Körper, deren Leitfähigkeit im Stoff selbst liegt;
2. Körper, die ihre Leitfähigkeit in der Hauptsache aufgesogener Feuchtigkeit verdanken.

Zur ersten Klasse gehören Gummi, Guttapercha, Hartgummi, Porzellan, trockener Glimmer u. dgl. In die zweite Klasse sind alle Faserstoffe zu rechnen, insbesondere Papier, Baumwolle und ähnliches. Bei jenen ist der „Isolationswider-

¹⁾ J a f f é, G.: Ann. d. Phys. (4) Bd. 28, S. 326, 1909.

stand“ (das Verhältnis der angelegten Spannung zum hindurchfließenden Strom) unter sonst gleichen Umständen von der Spannung unabhängig; dagegen nimmt er im Laufe der Zeit nach dem Anlegen der Spannung zu, weil sich über den von der Zeit unabhängigen Leitungsstrom der Nachwirkungsstrom überlagert, der allmählich abnimmt (vgl. Wagner, K. W.: Arch. f. Elektrot., Bd. 3, S. 67, 1914).

Bei den feuchtigkeitshaltigen Isolierstoffen mit Faserstruktur hängt der Isolationswiderstand nicht nur von der Menge der aufgenommenen Feuchtigkeit ab, sondern auch von ihrer Verteilung in den kapillaren Räumen in und zwischen den Fasern. Die Verteilung der Feuchtigkeit ändert sich unter der Einwirkung des elektrischen Feldes; es wird mehr Flüssigkeit in die Kapillaren hineingesogen, da die Oberflächenspannung abnimmt. Daher nimmt der Isolationswiderstand mit zunehmender Spannung U ab, und zwar angenähert nach der Formel

$$R = \frac{\text{konst}}{\sqrt{U}}$$

Da ferner die Verteilung der Feuchtigkeit in den Kapillaren den Feldänderungen nicht sogleich folgen kann, beobachtet man hier auch eine zeitliche Nachwirkung. (Evershed, S.: Journ. of the Inst. of El. Eng., London, Bd. 52, S. 51, 1913; ETZ 1914, S. 887.)

Die Höhe des Isolationswiderstandes hängt unter sonst gleichen Umständen von geringen Unterschieden in der Beschaffenheit und Zusammensetzung des Stoffes stark ab, so daß die Werte für verschiedene Proben desselben Stoffes oft im Verhältnis 1 : 10 bis 100 schwanken. Die folgenden Zahlen sind Mittelwerte von einer größeren Zahl von Proben nach Messungen von H. L. Curtis (Bull. of the Bur. of Standards, Washington 1915, Bd. 11, S. 359; ETZ 1916, S. 469. Technologic Papers of the Bur. of Stand. Nr. 299, Washington 1925).

Stoff	ρ in Ohm-cm bei 20°	Stoff	ρ in Ohm-cm bei 20°	Stoff	ρ in Ohm-cm bei 20°
Ambroid	$5 \cdot 10^{16}$	Glimmer:		Paraffin, technisch	$1 \cdot 10^{18}$
Bienenwachs, gelb	$20 \cdot 10^{14}$	schwarzgefleckter	$0,04 \cdot 10^{15}$	Porzellan, unglasiert	$3 \cdot 10^{14}$
„ weiß	$6 \cdot 10^{14}$	afrikanischer . . .	$2 \cdot 10^{15}$	Quarz, geschmolzen	über $5 \cdot 10^{18}$
Zelluloid, weiß . . .	$2 \cdot 10^{10}$	hellbrauner afrik.	$200 \cdot 10^{15}$	Kolophonium . . .	$5 \cdot 10^{18}$
Ceresin	über $5 \cdot 10^{18}$	farbloser afrik.		Siegellack	$8 \cdot 10^{15}$
Hartfaser	$20 \cdot 10^9$	rubinroter indischer, stark gefleckt	$0,05 \cdot 10^{15}$	Schellack	$1 \cdot 10^{16}$
Roter Faser	$5 \cdot 10^9$	desgl., leicht gefleckt		Schiefer	$1 \cdot 10^8$
Deutsches Glas . . .	$5 \cdot 10^{18}$			Schwefel	$1 \cdot 10^{17}$
Kavaliertglas	$800 \cdot 10^{13}$			Tetrachlornaphthalin	
Opalglas	$0,1 \cdot 10^{13}$	Gummi, roh	$50 \cdot 10^{15}$	„ 	$5 \cdot 10^{13}$
Plattenglas	$2 \cdot 10^{13}$	„ vulkan.	10^{15}	Holz, paraffiniertes:	
Glyptol ¹⁾	$1 \cdot 10^{16}$	Gummi, vulkan. . . .	$3 \cdot 10^{15}$	Mahagoni	$1000 \cdot 10^{10}$
Hartgummi	$1 \cdot 10^{18}$	Guttapercha	$5 \cdot 10^{15}$	Ahorn	$3 \cdot 10^{10}$
Elfenbein	$2 \cdot 10^8$	Mikanit	$1 \cdot 10^{15}$	Pappel	$50 \cdot 10^{10}$
Italien. Marmor . . .	$1 \cdot 10^{11}$	Paraffin, rein	über $500 \cdot 10^{18}$		

Werte der Leitfähigkeit von Gesteinen findet man bei Löwy, H.: Ann. d. Phys. (4), Bd. 36, S. 125, 1911.

Die Leitfähigkeit von Gläsern in Abhängigkeit von der Zusammensetzung behandeln G. Gehlhoff und M. Thomas (Zeitschr. f. techn. Phys. Bd. 6, S. 544, 1925).

Nach Untersuchungen von Hodgson (Phil. Mag. (6), Bd. 18, S. 252, 1909) wird die Leitfähigkeit von guten Isolatoren durch radioaktive Strahlung stark erhöht. Dünne Platten aus festem Paraffin und Hartgummi, die mit Staniolbelägen versehen waren, wurden mit einem Radiumpräparat, das 5 mg reines Radiumbromid enthielt, aus einigen cm Abstand bestrahlt. Während vor der Bestrahlung kein meßbarer Strom durch den Isolierstoff floß, ergaben sich während der Be-

¹⁾ Künstl. Harz, hergestellt von der General Electric Co.

strahlung die Werte für Paraffin $2,2 \cdot 10^{-13}$ A bei der Feldstärke 260 V/cm, für Hartgummi $1,5 \cdot 10^{-13}$ A bei der Feldstärke 520 V/cm.

Die durch diese kräftige Bestrahlung hervorgerufene Leitfähigkeit bildet sich während weniger Minuten aus. Nach beendeter Bestrahlung verschwindet sie wieder nach und nach, und zwar die Hälfte davon innerhalb einer Stunde, während der Rest sehr viel langsamer verklingt.

(93) **Temperatureinfluß.** Die Isolationswiderstände nehmen mit steigender Temperatur stark ab, und zwar angenähert nach dem Gesetze

$$R_t = R_0 e^{-\beta t}$$

β zwischen 0,04 und 0,13; t in Celsiusgraden.

Für einige Isolierstoffe sind die Zahlen zur angenäherten Umrechnung des Isolationswiderstandes auf andere Temperaturen den folgenden Tafeln zu entnehmen.

Umrechnung von Isolationswiderständen.

Ist R_t der Widerstand bei der Temperatur t , so ist er bei 15° C:

$$R_{15} = c \cdot R_t$$

Guttapercha.

t	c	t	c	t	c	t	c
-4	0,081	4	0,233	12	0,672	20	1,94
-2	0,105	6	0,304	14	0,876	22	2,52
0	0,137	8	0,396	16	1,14	24	3,24
+2	0,179	10	0,516	18	1,44	26	4,29

Gummi, Papier, Faserstoff, Paraffin usw.

Die Umrechnungszahlen sind für anscheinend gleiche Stoffe sehr verschieden. Tritt die Notwendigkeit einer Umrechnung ein, so empfiehlt es sich, die liefernde Fabrik zu fragen. Zu Schätzungen können folgende Zahlen dienen:

	$t=0$	5	10	20	25
Gummi, Okonit, getrocknetes Papier	$c=0,4$	0,6	0,75,	1,4	2,0
Getränkter Faserstoff und Papier	0,4	0,5	0,6	2,5	7
Paraffin	0,2	0,3	0,5	2,2	4,5

(94) **Oberflächenwiderstand.** Neben der Stromleitung durch den Isolierstoff hindurch hat die Stromleitung über die Oberfläche hinweg praktische Bedeutung. An der Oberfläche bildet sich nämlich durch chemische Zersetzung unter dem Einfluß des Sauerstoffs und des Wasserdampfes der Luft eine besser leitende Haut; auch Staubteilchen und Schmutz können an ihrer Bildung beteiligt sein. Die Dicke dieser Haut beträgt etwa 10^{-6} bis 10^{-4} mm. Dadurch können zwischen den spannungsführenden Elektroden leitende Brücken entstehen, die den sogenannten Kriechweg bilden. Man sucht diesen nach Möglichkeit durch geeignete Formgebung (Rillen) zu vergrößern.

Hartgummi erhält unter dem Einfluß des Lichtes eine verhältnismäßig gut leitende Haut (Bildung von Schwefelsäure). Durch Abspülen in verdünnter Ammoniaklösung und nachfolgendes gründliches Wässern läßt sich diese wieder beseitigen.

Über die Messung des Oberflächenwiderstandes vgl. (194; B 1).

Bei einer Änderung der Luftfeuchtigkeit von 25 auf 90% ändert sich der Oberflächenwiderstand der meisten Isolierstoffe um viele Zehnerpotenzen; die Luftfeuchtigkeit muß daher in jedem Falle mit angegeben werden. Bemerkenswert ist, daß diejenigen Stoffe, auf denen sich keine zusammenhängende Wasser-

haut bilden kann, einen sehr hohen und von der Luftfeuchtigkeit nahezu unabhängigen Oberflächenwiderstand haben; z. B. Ceresin, Paraffin, Bienenwachs, Tetrachlornaphthalin, Siegellack und Kolophonium; nicht ganz so gut sind Schwefel, Bernstein und Zelluloid.

(95) Isolierwiderstand für Wechselstrom. Wegen des dielektrischen Energieverlustes (50) ist der mit Wechselstrom bestimmte Isolationswiderstand viel kleiner als der mit Gleichstrom gemessene. Bedeutet δ den in (50) definierten Winkel, f die Frequenz und C die Kapazität, so ist der zugehörige Isolationswiderstand

$$R = \frac{1}{2\pi f C \operatorname{tg} \delta}$$

Da sich δ mit der Frequenz wenig ändert, so nimmt R mit zunehmender Frequenz ab. Auch der Oberflächenwiderstand (94) ist bei Wechselstrom wesentlich kleiner als bei Gleichstrom, da für den Wechselstrom auch Wege gangbar sind, auf denen die Wasserhaut sich nicht völlig zu einer leitenden Brücke schließt.

d) Gase.

(96) Allgemeines. Selbständige und unselbständige Strömung. Den Strom in Gasen denkt man sich ähnlich wie in Elektrolyten durch Elementarladungen übertragen. Diese bewegen sich entweder für sich als freie Elektronen oder an Atome oder Atomgruppen gebunden als Ionen unter der Wirkung des elektrischen Feldes von einer Elektrode zur anderen. Näheres darüber besonders bei Stark, J.: Die Elektrizität in Gasen. Leipzig 1902; Thomson, J. J.: Elektrizitätsdurchgang in Gasen, 1903; deutsch von E. Marx. Leipzig 1906; Conduction of electricity through gases, 2d edition, Cambridge 1906; ferner nach dem neuesten Stande in dem Graetzschen Handbuch der Elektrizität und des Magnetismus, Bd. 3, 1919 und in dem mehrbändigen Marxschen Handbuch der Radiologie.

Unter gewöhnlichen Verhältnissen ist die Zahl der freien Ladungen in einem Gase sehr gering; infolgedessen kommt unter der Wirkung eines schwachen elektrischen Feldes nur ein sehr geringer Strom zustande. Mit anderen Worten: das Gas verhält sich wie ein guter Isolator. Eine Erhöhung des Stromes kann nur durch eine Steigerung der freien Ladungen hervorgebracht werden. Sie ist auf zwei grundsätzlich verschiedenen Wegen möglich:

a) Es werden neutrale Gasmoleküle durch fremde Einflüsse (Röntgenstrahlen, Radiumstrahlen u. dgl.) in je ein positiv und ein negativ geladenes Teilchen (Ion) gespalten oder es werden aus irgend einer Quelle elektrisch geladene Teilchen (Elektronen) in den Gasraum hineingeliefert, z. B. aus einem glühenden Metalldraht oder aus einer mit ultravioletttem Licht bestrahlten Metalloberfläche. Eine in dieser Weise hervorgebrachte elektrische Strömung heißt eine „*unselbständige*“, weil sie nur so lange fortbesteht, als der ionenerzeugende oder ionenliefernde äußere Einfluß tätig ist.

b) Wenn die Stärke des elektrischen Feldes eine gewisse Größe übersteigt, so erlangen die vorhandenen Ionen in ihm eine so hohe Geschwindigkeit, daß sie befähigt werden, beim Aufprall auf neutrale Gasmoleküle diese in positive und negative Ionen zu spalten (Ionisierung durch Stoß; vgl. Townsend, J. S.: Theory of ionization of gases by collision, 1910).

Der Strom wächst alsdann rasch, unter Umständen lawinenartig an. Diese Art der Strömung in Gasen nennt man eine „*selbständige*“, weil sie ohne das Hinzutun äußerer Einflüsse fortbesteht. Je nach der Gasart, dem Gasdruck, der Temperatur, der Elektrodenform und den übrigen äußeren Bedingungen nimmt die selbständige Entladung sehr verschiedene Formen an; die wichtigsten sind die *Glimmentladung* und der *Lichtbogen* (Funken).

(97) Elektronenröhre. Eine wichtige technische Anwendung einer unselbständigen Strömung ist die hochevakuierte (gasfreie) Elektronenröhre mit Glühdraht. Dieser speit Elektronen in den Raum, der den Glühdraht

umgibt. Befindet sich in der Röhre eine zweite Elektrode und legt man an diese den Pluspol einer Stromquelle, ihren Minuspol an den Glühdraht, so wandern die Elektronen nach jener Elektrode (der Anode), d. h. es fließt in der Röhre ein positiver Strom von der Anode zum Glühdraht. In der umgekehrten Richtung kann kein Strom durch die Röhre fließen, sie wirkt somit bei Wechselstrom als Gleichrichter (Fleming, Dushman).

Durch die Anwendung der kinetischen Gastheorie auf Bewegung und Gleichgewicht der Elektronen an der Metalloberfläche hat Richardson (Phil. Trans. Bd. 201, S. 516, 1903) die folgende Beziehung zwischen der absoluten Temperatur T des Glühdrahtes und dem von 1 cm^2 seiner Oberfläche ausgehenden Elektronenstrom i abgeleitet

$$i = a\sqrt{T}e^{-\frac{b}{T}}$$

a und b sind Konstanten, die der folgenden Tabelle zu entnehmen sind. i ergibt sich in mA/cm^2 .

Stoff	a	b
Wolfram	$2,4 \cdot 10^{10}$	52 500
Molybdän	$2,1 \cdot 10^{10}$	50 000
Tantal	$1,1 \cdot 10^{10}$	50 000
Thor	$20 \cdot 10^{10}$	38 000
Oxydkathod . .	8 bis $24 \cdot 10^7$	19 bis $24 \cdot 10^3$

Spätere Untersuchungen von Richardson, Dushman, Schottky und v. Raschevsky haben ergeben, daß die Thermodynamik der Elektronenverdampfung allgemein zu einer Formel für den Sättigungsstrom von der Gestalt

$$i = A T^a e^{-\frac{B}{T}}$$

führt; a hängt von den Annahmen ab, die man über das Verhalten der Elektronen innerhalb des festen Körpers macht. Die Annahme von freien Elektronen im Metall führt zu dem Wert $a = 1/2$ der alten Richardsonschen Formel; die Annahme, daß die Energie der inneren Elektronen unabhängig von der Temperatur sei (mit anderen Worten: die Vernachlässigung der Wärmekapazität der Elektronen), führt zum Wert $a = 2$. Zugleich wird alsdann A (unter gewissen, angenähert erfüllten Voraussetzungen) eine universelle Konstante, $A = 60\,200 \text{ mA/cm}^2\text{grad}^2$ und B eine Materialkonstante,

$$B = \frac{\varphi}{k},$$

worin φ die Arbeit bedeutet, die ein Elektron beim Austritt aus der Glühkathode leistet, und $k = 1,372 \cdot 10^{-16} \text{ erg/grad}$ die Boltzmannsche Konstante ist. Literatur und Näheres bei Gehrts, A.: Elektr. Nachr.-Technik, Bd. 2, S. 189, 1925; ferner siehe v. Raschevsky, N.: Zeitschr. f. Phys. Bd. 32, S. 746; Bd. 33, S. 606 (1925); Bd. 35, S. 905; Bd. 36, S. 628 (1926).

Den Richardsonschen Strom i (den Sättigungsstrom) erhält man aber nur bei genügend hoher Spannung zwischen Glühdraht und Anode. Die von dem Glühdraht ausgespienen Elektronen laden nämlich die Umgebung des Drahtes negativ und erzeugen ein Gegenfeld, das den Austritt weiterer Elektronen verhindert. Diese von Langmuir und Schottky entdeckte Raumladung bewirkt, daß der Elektronenstrom bei kleineren Spannungen dem Gesetz

$$i = 14,65 \cdot 10^{-6} \frac{i}{r} \sqrt{E^3}$$

folgt, wobei E die angelegte Spannung, l die Länge, r der Radius einer den Glühdraht koaxial umgebenden zylindrischen Anode ist. Für andere Elektrodenformen gilt $i = k\sqrt{E^3}$, wobei k eine Konstante ist. Bei hoher Spannung zwischen Anode und Kathode erlangen die Elektronen große Geschwindigkeit und erzeugen beim Aufprallen auf die Gegenelektrode Röntgenstrahlen (Röntgenröhren nach Coolidge und Lilienfeld). Vgl. Marx: Handbuch der Radiologie Bd. V.

(98) Röhren mit 3 Elektroden. Bringt man in den Weg der Elektronen eine gitterartige dritte Elektrode, so kann man durch eine zwischen diese und den Glühdraht angelegte Spannung den Elektronenstrom beeinflussen. Hiervon macht man Gebrauch zur Verstärkung schwacher Ströme (Verstärkerröhre, Lieben, Reisz, de Forest, Schottky, Rukop, Arnold).

Bei hoher Gitterspannung erlangen die Elektronen große Geschwindigkeit und lösen auf der Anode sekundäre Elektronen aus, deren Zahl in einem gewissen Bereich der Anodenspannung die Zahl der primären Elektronen übersteigt. Der Stromzweig Glühdraht-Anode wirkt dann wie ein negativer Widerstand (Dynatron von Hull).

Statt durch ein Gitter kann man die Bewegung der Elektronen auch mittels eines Magnetfeldes steuern (Magnetron von Hull).

Schaltet man in den Anodenkreis einer Röhre mit Hilfsgitter einen Schwingungskreis und läßt die in ihm entstehende Schwingung auf den Gitterkreis zurückwirken, so gewinnt man einen sich selbst erregenden Schwingungserzeuger (Schwingungsröhre, A. Meißner). Da der Elektronenstrom den Schwankungen der Gitterspannung praktisch trägheitslos folgt, kann man auf diesem Wege außerordentlich schnelle kontinuierliche Schwingungen erzeugen (bis 10^8 Per/s und mehr). Durch die Einführung der Schwingungsröhre hat die Hochfrequenztechnik eine vollständige Umwälzung erfahren.

In geeigneter Schaltung wirkt die Röhre mit Hilfsgitter zugleich als Gleichrichter und Verstärker und kann als Wellenempfänger (Detektor) benutzt werden (Audionschaltung nach de Forest).

Literatur: Barkhausen, H.: Elektronenröhren. Leipzig 1923. — Moeller: Die Elektronenröhren und ihre technischen Anwendungen. 2. Aufl., 1922 — Schottky, W.: Über Hochvakuumverstärker, Arch. f. Elektr. Bd. 8, S. 1, 299. — Rukop, H.: Die Hochvakuum-Eingitterröhre, Jahrb. d. drahtl. Tel. Bd. 14, S. 110. — Meißner, A.: Über Röhrensender, ETZ 1919, Heft 7 und 8. — Arnold, H. D.: Röhren mit Oxydkathoden Phys. Review Bd. 16, S. 70, 1920. — Hull: Jahrb. f. drahtl. Tel. u. Tel. Bd. 14, S. 47 u. 157, 1919 (Dynatron); Journ. Am. Inst. of El. Eng. Bd. 40, S. 715, 1920 (Magnetron). — Pohlmann u. Gehrts: El. Nachr. Techn. Bd. 2, S. 65, 1924 und Gehrts: ebenda S. 189 (Herstellung der Röhren. Eigenschaften und Kennlinien gängiger Typen, sowie Verzeichnis der Fach- und Patentliteratur). — Kiebitz, F.: El. Nachr. Techn. Bd. 3, S. 284, 1926.

(99) Die Glimmentladung (Sprühen, Korona). Sie tritt in Luft von gewöhnlichem Druck immer dann auf, wenn das elektrische Feld sehr ungleichförmig ist und an gewissen Stellen große Werte erreicht, also namentlich an scharfen Kanten und Spitzen von Leitern und an dünnen Drähten. Die Feldstärke, bei der das Glimmen von Hochspannungsleitungen beginnt, ergibt sich nach Untersuchungen von Ryan, Watson, Whitehead, Peek, Petersen u. a. zu

$$\mathcal{E}_0 = 29,7 \left(1 + \frac{0,47}{\sqrt{d}} \right)$$

d = Drahtdurchmesser in cm. \mathcal{E}_0 ist die Feldstärke (bei Wechselstrom der Höchstwert der Feldstärke) an der Drahtoberfläche in kV/cm. Die zugehörige Betriebsspannung (bei Wechselstrom die effektive Betriebsspannung zwischen den Leitern), die sogenannte Anfangsspannung ist

$$E_0 = A \mathcal{E}_0 d \ln \frac{2a}{d}$$

- $A = 1$ für Gleichstrom,
 $= 0,707$ für sinusförmigen Wechselstrom,
 $= 0,611$ für sinusförmigen Dreiphasenstrom,
 $a =$ Abstand der Drähte in cm.

Die vorstehende Formel gilt für saubere Drähte mit glatter Oberfläche. Durch kleine Unregelmäßigkeiten der Oberfläche, Kratzer, Beulen, Hähchen, ferner auch durch Nässe, Regen, Nebel, Schnee und Eisbildung wird die Anfangsspannung herabgesetzt. Auch bei Drahtseilen und Litzen ist die Anfangsspannung niedriger als beim massiven Draht. Man kann diese Einflüsse zum Teil durch Hinzufügung eines „Unregelmäßigkeitsfaktors“ m_0 auf der rechten Seite der vorstehenden Formel berücksichtigen, wobei für polierte Drähte $m_0=1$, für gewöhnliche Drähte $m_0=0,98$ bis $0,95$, für siebendrähtige Seile $m_0=0,87$ bis $0,83$ zu setzen ist.

(100) Glimmverluste. Durch das Glimmen der Leitungen entstehen Energieverluste, die beim Einsetzen des Glimmens gering sind, aber mit zunehmender Spannung rasch anwachsen. P e e k gibt die folgende Formel zur Berechnung der Glimmverluste an Leitungen für hochgespannten Wechsel- oder Drehstrom:

$$N = 344 \frac{1}{\delta} f \sqrt{\frac{d}{2a} \left[\frac{E - \delta E_0}{2} \right]^2} 10^{-5}$$

N in kW für 1 km einfacher Leitungslänge. E ist die effektive Spannung zwischen den Leitern in kV; bei Drehstrom ist für $(E - \delta E_0)/2$ zu setzen $(E - \delta E_0)/\sqrt{3}$. f ist die Frequenz, d der Drahtdurchmesser in cm, a der Drahtabstand in cm, $\delta = \frac{3,92 b}{273 + t}$, worin b der Barometerstand in cm, t die Temperatur ist.

Nach Versuchen von Weidig und Jaensch (ETZ 1913, S. 637) hat die Form der Spannungskurve, vor allem in der Nähe des Scheitelwertes, großen Einfluß auf die Höhe der Verluste. Ferner ergab sich, daß die Verluste zwar linear, aber nicht proportional mit der Frequenz wachsen. Die gemessenen Verluste weichen namentlich bei Spannungen, die wenig über der Anfangsspannung liegen, wesentlich von den nach der P e e k schen Formel berechneten ab. Diese Formel erlaubt daher nur eine rohe Vorausberechnung der Glimmverluste.

(101) Die Glimmentladung in verdünnten Gasen. In verdünnten Gasen von nicht allzu niedrigem Druck geht der Strom gewöhnlich in Form der Glimmentladung über. Dabei gerät das Gas in ein mildes Leuchten, dessen Farbe von der Gasart abhängt. Diese Erscheinung wird beim Moorelicht und in der Glimmlampe von Pintsch (mit Neonfüllung) technisch angewandt. Unter geeigneten Bedingungen bedeckt sich die Kathode mit einer Lichthaut, deren Ausdehnung der Stromstärke proportional ist. Hiervon wird beim Glimmlicht-Oszillograph nach Gehrcke Gebrauch gemacht.

Eine Glimmlichtröhre vermag unter bestimmten Bedingungen in einem ihr parallel geschalteten Schwingungskreise dauernde elektrische Schwingungen zu erregen (Gehrcke, Reichenheim u. Wertheimer, DRP. 270610, 273534 u. 295761. Literatur über die Glimmentladung in den Artikeln von Gehrcke und Seeliger in Marx' Handbuch der Radiologie, Bd. 3.)

(102) Der Lichtbogen. Tritt in der Gasstrecke auf dem ganzen Weg zwischen den Elektroden eine so starke Ionisierung auf, daß die Kathode durch den Aufprall der positiven Ionen bis zur Weißglut erhitzt wird, so nimmt die Entladung die Form des Lichtbogens oder Funkens an. In Luft von gewöhnlichem Druck geschieht das, wenn das Feld zwischen den Elektroden einigermaßen gleichförmig ist, und wenn der innere Widerstand der Stromquelle nicht allzu hoch ist, sogleich beim Einsetzen der Ionisierung durch Stoß, indem sich die Ionenlawine über die ganze Entladungsstrecke ausbreitet; die Anfangsspannung ist alsdann identisch

mit der Funkenspannung (Überschlagsspannung). Auch die Glimmentladung geht bei hinreichender Spannungssteigerung in den Lichtbogen über.

Für den Lichtbogen versagt ebenso wie für die übrigen Formen der Strömung in Gasen das Ohmsche Gesetz vollständig.

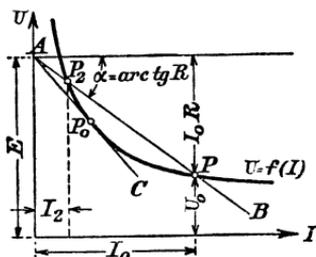


Abb. 27. Fallende Charakteristik des Lichtbogens; zeichnerische Ermittlung des Arbeitspunktes.

Man ist darauf angewiesen, die Strom-Spannungs-Charakteristik $[U = f(I)]$ für die betreffende Entladungsform experimentell festzustellen. Die Charakteristik des Gleichstromlichtbogens ist nach Ayrton („The electric arc“) von der Form:

$$U = a + \frac{b}{I}$$

Den Strom I_0 , den ein Lichtbogen mit einem Vorschaltwiderstand R einer Spannungsquelle E entnimmt, bestimmt man bei gegebener Charakteristik graphisch (Abb. 27). Man trägt auf der Spannungsachse die Strecke E ab und zieht in ihrem Endpunkt A die

Widerstandslinie AB mit dem Neigungswinkel $\alpha = \text{arc tg } R$. Sie schneidet die Charakteristik im Punkte P , der den Strom I_0 bestimmt. Die Richtigkeit der Konstruktion ergibt sich aus dem Ohmschen Gesetze (angewandt auf den Stromkreis außerhalb der Lichtbogenstrecke):

$$E = U_0 + R I_0$$

Es gibt noch einen zweiten Schnittpunkt P_2 , der einen kleineren Strom I_2 ergeben würde. In diesem Punkte ist aber der Zustand des Stromkreises nicht stabil. Denn wenn es auch gelänge, den Strom I_2 in dem gegebenen Stromkreise auf irgendeine Weise einmal herzustellen, so würde doch, wie sich zeigen läßt, die geringste zufällige Abnahme des Stromes I_2 sich bis zum Erlöschen des Bogens steigern; und umgekehrt müßte nach der geringsten zufälligen Zunahme der Strom bis auf den Wert I_0 anwachsen. (Kaufmann, W.: Ann. d. Phys. (4) Bd. 2, S. 158, 1900.) Ein Punkt, in dem die Widerstandslinie die Charakteristik von oben schneidet, bestimmt einen stabilen Zustand.

Wenn man R steigert, so verläuft die Widerstandslinie immer steiler; in der Grenzlage AC erlischt der Bogen.

Der Stabilität wegen kann ein Lichtbogen nur mit Vorschaltwiderstand brennen; auch der Nernstbrenner muß einen solchen erhalten, damit er bei einer zufälligen Spannungssteigerung nicht durchbrennt. (Simon, H. Th.: ETZ 1905, S. 819, Abb. 20.)

Für schnell veränderliche Zustände (Wechselstromvorgänge) treten an Stelle der statischen sogenannte dynamische Charakteristiken, die sich für den Lichtbogen in vielen Fällen nach der Theorie von H. Th. Simon¹⁾ vorausberechnen lassen.

In einem ihm parallel geschalteten Schwingungskreise vermag der Lichtbogen dauernde elektrische Schwingungen zu erregen (Duddell, Poulsen, Simon, Rein).

Eine eingehende Bearbeitung der Lichtbogenscheinungen findet man bei Hagenbach in Marx' Handbuch der Radiologie, Bd. 4.

(102a) Der Funken ist eine kurzdauernde selbständige elektrische Strömung (96), die im allgemeinen in der Form der Glimmentladung entsteht und über verschiedene Zwischenformen (Büschelentladungen) rasch in die lichtbogenartige

¹⁾ Phys. Zeitschr. Bd. 6, S. 297, 1905; ETZ 1905, S. 818, 839. Siehe auch Wagner, K. W.: Der Lichtbogen als Wechselstromerzeuger. Leipzig 1910 (S. Hirzel).

Endform übergeht. Für den Funkenwiderstand einfacher (nicht oszillierender) Entladungen hat M. Toepler ein einfaches Gesetz gefunden

$$R = kF/Q \text{ Ohm}$$

F = Funkenlänge in cm, Q = jeweils durch den Funken geflossene Elektrizitätsmenge in Coulomb; k beträgt nach Toepler $4,8 \cdot 10^{-4}$, nach O. Mayr $1 \dots 2 \cdot 10^{-4}$. Der Funkenwiderstand nimmt demgemäß von dem Anfangswert ∞ bis auf einen Mindestwert ab, der sich aus der entladenen Gesamtmenge Q_0 nach vorstehender Gleichung ergibt (Toepler, M.: Arch. f. Elektrot. Bd. 14, S. 305; 1925; Mayr, O.: ebenda, Bd. 17, S. 52, 1926).

Der Funkenwiderstand bei oszillierender Entladung ergibt sich nach D. Roschansky (Phys. Zeitschr. Bd. 9, S. 627—641; 1908) aus $R = U_0/I$, wo U_0 die zu dem jeweils durch die Funkenstrecke fließenden Strom I gehörige Lichtbogenspannung der Funkenstrecke ist (102). U_0 ist bei den gewöhnlich vorkommenden Stromstärken der Funkenentladungen für Schwingungen bis zur Frequenz $1,5 \cdot 10^5$ Hertz während der ganzen Halbperiode praktisch konstant, nämlich etwa gleich der Mindestspannung a des Lichtbogens (102); bei höheren Frequenzen werden die Verhältnisse durch die Lichtbogenhysterese verwickelter, lassen sich aber, wie Roschansky gezeigt hat, nach der Simonschen Theorie mit guter Annäherung berechnen. Weiteres hierzu, sowie über die Einfluß des Elektrodenmaterials bei Roschansky, D.: Ann. d. Phys. (IV), Bd. 36, S. 281; 1911.

(102b) Der Blitz in seiner gewöhnlichen Form des Linienblitzes ist eine Funkenentladung atmosphärischer Elektrizität. Nach M. Toepler hat man zu unterscheiden zwischen dem eigentlichen Funkenkanal und den beiden Endbüscheln, von denen das positive etwa 7,5 m lang, das negative etwa 3,75 m lang ist und jedes etwa $3,5 \dots 4$ Megavolt aufnimmt. Das Spannungsgefälle im Funkenkanal ist viel geringer und nach einer von Toepler für Gleitfunken angegebenen Formel angenähert zu berechnen. Toepler findet folgende Gesamtspannungen in Megavolt

Blitzlänge	1 km	2 km	4 km	8 km
Blitz unverzweigt	30,4	38,3	48,3	60,8
Blitz verzweigt	21,4	25,5	30,2	36,0

Die Geschwindigkeit, mit der der Blitzkopf in den Raum hinein vorwächst, beträgt im Mittel etwa 10^7 cm/s, doch geht die Blitzbildung nicht gleichförmig, sondern vielmehr ruckweise vor sich, in Stufen von etwa 100—200 m, in den sogenannten Perlschnurblitzen in regelmäßigen Stufen von etwa 10 m Länge.

Aus der von Emde durchgeführten Berechnung des elektromagnetischen Feldes einer idealisierten Blitzentladung ergibt sich, daß die Entladung entweder nur mit verhältnismäßig niedriger Frequenz (einige tausend Hertz) oder aperiodisch vor sich gehen kann. Bisher sind nur aperiodische Blitzentladungen beobachtet worden; beide Stromrichtungen kommen etwa gleich oft vor; vielleicht ist auch die negative Richtung (Erde \rightarrow Wolke) etwas häufiger. Die folgende Tafel gibt einige für Linienblitze beobachtete Daten.

	Mittelwert	Höchstwerte
Zahl der Blitze	—	1 je sec
Länge in km	2 bis 3	0 bis 49
Dicke	≤ 40 cm	0 bis 10 m
Entladene Menge in Coulomb .	10 bis 20	bis 270
Stromstärke in Ampere	6000 bis 100 000	
Zeitdauer in Sekunden	10^{-3} bis 10^{-2}	10^{-1}

Die Toeplersche Widerstandsformel (102a) ergibt für eine entladene Menge von 10 Coulomb einen Endwiderstand von 4,8 Ohm für 1 km Funkenkanal.

Literatur: Emde, F.: ETZ 1910, S. 675. — Kähler, K.: „Elektrizität der Gewitter“, Berlin 1924. — Matthias, A.: ETZ 1925, Heft 24, S. 873. — Toepler, M.: Mitteilungen der Hermsdorf-Schomburg-Isolatoren G. m. b. H., Heft 25, S. 743, 1926 (dort auch die älteren Quellen).

Das magnetische Feld elektrischer Ströme.

(103) Grundlegende Beziehungen. Magnetische Umlaufspannung. Im Felde permanenter Magnete verschwindet das Linienintegral der magnetischen Feldstärke, die magnetische Spannung, längs jeder geschlossenen Kurve:

$$\oint \mathfrak{H} ds = 0, \text{ oder } \text{rot } \mathfrak{H} = 0$$

\mathfrak{H} kann daher als Gefälle eines einwertigen Potentials ψ dargestellt werden: $\mathfrak{H} = -\text{grad } \psi$.

Ein magnetisches Feld ist auch mit jeder elektrischen Strömung verbunden. Wenn der Strom in leitend geschlossenen Bahnen fließt (Gleichstrom, langsamer — quasistationärer — Wechselstrom), so befinden sich die Wirbel des magnetischen Feldes nur innerhalb der Stromleiter.

Es gilt

$$\text{rot } \mathfrak{H} = 4\pi c$$

c = Stromdichte. Daraus folgt, daß längs jedes geschlossenen Weges l die magnetische Umlaufspannung gleich dem 4π -fachen Stromfluß durch irgendeine von dem Wege berandete Fläche F ist:

$$\oint_l \mathfrak{H} ds = 4\pi \int_F c_n df$$

df ist ein Flächenelement von F , c_n die zu df normale Komponente der Stromdichte. Dabei muß die Randlinie l im Uhrzeigersinne umlaufen werden, wenn man in Richtung der Normalen n blickt (oder: l und n verhalten sich wie Drehungs- und Fortschreitungsinn einer Rechtsschraube)¹⁾. Für alle Umläufe, bei denen kein durchströmter Leiter durchschnitten oder umkreist wird, wird hiernach die magnetische Spannung Null. In stromlosen Räumen kann man also wie im Felde permanenter Magnete (36) $\mathfrak{H} = -\text{grad } \psi$ setzen. Jedoch ist nun das Potential nur dann noch einwertig, wenn in dem stromlosen Raum Wege, die mit dem Stromleiter verschlungen sind, unmöglich sind oder durch passend angebrachte Sperrflächen unmöglich gemacht werden. An diesen Sperrflächen erleidet das Potential einen Sprung.

(104) Das Vektorpotential. In Räumen, in denen die Permeabilität μ räumlich konstant ist, kann \mathfrak{H} von einem Vektorpotential \mathfrak{A} abgeleitet werden:

$$\mathfrak{H} = \text{rot } \mathfrak{A} \qquad \mathfrak{A} = \int \frac{c dv}{r}$$

c = Stromdichte im Raumteil dv , r dessen Abstand von dem Punkt, in dem das Vektorpotential gesucht ist.

(105) Lineare Leiter. Ist I der Strom, ds ein Linienelement des Leiters, so wird ($\text{grad } \mu = 0$)

$$\mathfrak{A} = I \int \frac{ds}{r} \qquad \mathfrak{H} = \text{rot } \mathfrak{A} = I \int \frac{[ds \ r]}{r^3}$$

(Biot-Savarts Gesetz). Man drückt das oft so aus: Jedes Stromelement $I ds$

¹⁾ Diese Richtungsbestimmung entspricht den Ampereschen Regeln der älteren Elektrodynamik.

liefert zur Feldstärke einen Beitrag $|\mathfrak{H}| = \frac{I \, ds \sin(ds, r)}{r^2}$; doch hat dieser Satz nur für geschlossene Strombahnen und konstantes μ einen Sinn. Dagegen ist die Grundgleichung

$$\oint \mathfrak{H} \, ds = 4\pi \Sigma I$$

auch für veränderliches μ richtig. ΣI ist der mit dem Integrationsweg für \mathfrak{H} verkettete Gesamtstrom (die Durchflutung) in absolutem Maß (d. h. in Dekaampere). $4\pi \Sigma I$ nennt man auch die auf den magnetischen Kreis wirkende magnetomotorische Kraft (MMK).

(106) **Beispiele.** 1. Geschlossenes Ringsolenoid mit w gleichmäßig eng gewickelten Windungen. Ein merkliches Feld ist nur im Ringinnern vorhanden. Die Kraftlinien verlaufen in konzentrischen Kreisen um die Ringachse. Für den Kreis vom Radius r wird

$$\oint \mathfrak{H} \, ds = 2\pi r \mathfrak{H} = \mathfrak{H} l = 4\pi w I, \quad I \text{ in CGS}$$

$$\text{daraus } \mathfrak{H} = 0,4\pi w I/l, \quad I \text{ in Ampere}$$

2. Geradliniges Solenoid, Länge l , Durchmesser $2r$. Das Feld in einem Punkt der Achse innerhalb der Spule (Abstand von der Mittelebene $x < 1/2 l$) ist

$$\mathfrak{H} = 0,2\pi w \frac{I}{l} \left[\frac{1/2 l - x}{\sqrt{r^2 + (1/2 l - x)^2}} + \frac{1/2 l + x}{\sqrt{r^2 + (1/2 l + x)^2}} \right]$$

I in Ampere. Sofern $l \gg r$, ist das Feld im Innern praktisch homogen von der Stärke¹⁾

$$\mathfrak{H} = 0,4\pi w I/l, \quad I \text{ in Ampere}$$

(Ein streng homogenes Feld entsteht im Innern eines gleichmäßig bewickelten Ellipsoids.)

3. Kreisstrom (Tangentenbussole) vom Radius r ; die Feldstärke in einem Punkt der Achse mit dem Abstand x von der Kreisebene wird

$$\mathfrak{H} = \frac{\pi r^2 w I}{5 \sqrt{(x^2 + r^2)^3}}, \quad I \text{ in Ampere}$$

4. Langer gerader Draht. In der Nähe des Drahtes sind die Kraftlinien Kreise um die Drahtachse; im Abstand r von der Achse wird

$$\mathfrak{H} = 2I/r, \quad I \text{ in CGS, } = I/5r, \quad I \text{ in Ampere}$$

Das gilt für Punkte außerhalb des stromerfüllten Drahtes; im Innern ist, wenn der Strom gleichmäßig auf den Querschnitt verteilt ist,

$$\mathfrak{H} = \frac{2I r}{a^2}, \quad I \text{ in CGS, } = \frac{I r}{5a^2}, \quad I \text{ in Ampere, } a = \text{Drahtradius in cm.}$$

(107) **Angenäherte Berechnung magnetischer Kreise.** In Dynamomaschinen, Transformatoren und anderen Apparaten mit einem nahezu geschlossenen Eisenweg kann man, abgesehen von der Streuung, den Verlauf der Induktionslinien (\mathfrak{B}) und bei gegebenem Induktionsfluß $\Phi = \int \mathfrak{B}_n \, df$ auch die Stärke der Induktion \mathfrak{B} in jedem Querschnitt q annähernd bestimmen: $\mathfrak{B} = \Phi/q$. Hieraus folgt die Feldstärke $\mathfrak{H} = \Phi/\mu q$. Setzt sich der magnetische Kreis aus angenähert zylindrischen Teilen von den Längen l_1, l_2, \dots und den Querschnitten q_1, q_2, \dots zusammen, so wird die magnetische Umlaufspannung

1) Genaue Formeln bei Debye, P.: Bd. V, Art. 17, § 22 (S. 437) der Enzyklopädie der Math. Wiss. Leipzig 1910. — Messungen hat A. Salb ausgeführt (Z. f. techn. Phys. 1923, S. 369).

$$\oint \mathfrak{H} \, ds = \sum_n \mathfrak{H}_n l_n = \Phi \sum_n \frac{l_n}{\mu_n q_n}$$

I. W.: Die magnetische Umlaufspannung und mithin auch die magnetomotorische Kraft ist gleich dem Induktionsfluß Φ (Magnetstrom), multipliziert mit der Summe der magnetischen Widerstände $l_n/\mu_n q_n$ der einzelnen Teile des Kreises (sogenanntes Ohmsches Gesetz für den magnetischen Kreis). Auf jeden Teil des Kreises wirkt die magnetische Spannung $\mathfrak{H}_n = \Phi_n l_n / \mu_n q_n$. Die MMK ergibt nach (105) die Durchflutung $\mathcal{L} = \sum I$, die mit dem Kreis verkettet sein muß, damit das berechnete magnetische Feld zustande kommt. Vgl. (307, 310), Starkstromausgabe.

(108) Die magnetische Energie. Der allgemeine Ausdruck für die in einem elektromagnetischen Felde enthaltene magnetische Energie

$$W_m = \frac{1}{8\pi} \int \mathfrak{H} \mathfrak{H} \, dV = \frac{1}{8\pi} \int \mu \mathfrak{H}^2 \, dV = \frac{1}{2} \int \mathfrak{H} c \, dV$$

geht für das Feld linearer Stromschleifen ($I_1, I_2, I_3 \dots$) über in

$$W_m = \frac{1}{2} L_1 I_1^2 + \frac{1}{2} L_2 I_2^2 + \frac{1}{2} L_3 I_3^2 + \dots \\ + M_{12} I_1 I_2 + M_{13} I_1 I_3 + M_{23} I_2 I_3 + \dots,$$

L_1, L_2, L_3, \dots heißen die Selbstinduktivitäten der Schleifen 1, 2, 3, ...; M_{12} ist die Gegeninduktivität der Schleifen 1 und 2, M_{13} diejenige der Schleifen 1 und 3 und so fort.

Die magnetische Energie zweier miteinander verketteter linearer Stromschleifen

$$W_m = \frac{1}{2} L_1 I_1^2 + M I_1 I_2 + \frac{1}{2} L_2 I_2^2$$

läßt sich auch in der Form schreiben

$$W_m = \frac{1}{2} L_1 I_{1\mu}^2 + \frac{1}{2} L_2 \sigma I_2^2. \dots \dots \dots (1)$$

Darin bedeutet

$$I_{1\mu} = I_1 + \frac{M}{L_1} I_2 \dots \dots \dots (2)$$

den auf die Schleife 1 bezogenen „Magnetisierungsstrom“,

$$\sigma = 1 - M/L_1 L_2$$

die „Streu ziffer“. $L_1 I_{1\mu} = L_1 I_1 + M I_2$ ist der auf die Schleife 1 bezogene Hauptfluß, $L_2 \sigma I_2$ ist der zugehörige Streufluß. Der erste Summand auf der rechten Seite von Gl. (1) ist die Energie des magnetischen Hauptfeldes, der zweite Summand ist die Energie des magnetischen Streufeldes.

Bei gewöhnlichen Transformatoren und Induktionsmotoren ist die Streuung σ klein; der Magnetisierungsstrom ist viel kleiner als die Belastungsströme I_1 und $I_2 M/L_1$. Dann ist also nach Gl. (2) angenähert $I_{1\mu} \approx I_1 - M I_2/L_1$ und die Energie des Streufeldes $\frac{1}{2} L_2 \sigma I_2^2 \approx \frac{1}{2} L_1 \sigma I_1^2$.

(109) Selbstinduktivitäten¹⁾.

1. Einfacher Drahtkreis vom Radius R und dem Drahtradius r . Sehr angenähert ist (Rayleigh und Niven: Rayleighs Collected Papers, Bd. 2, S. 15):

$$L \approx 4\pi R \left[\left\{ 1 + \frac{r^2}{8R^2} \right\} \log \text{nat} \frac{8R}{r} - \frac{7}{4} + \frac{r^2}{24R^2} \right]$$

¹⁾ Siehe auch Debye, P.: Bd. V, Art. 17, § 32, S. 464 der Enzyklopädie der Math. Wiss., Leipzig 1910. — Orlich, E.: Kapazität und Induktivität, S. 63—92. Braunschweig 1909. — Glage, G.: Jahrb. der drahtl. Telegr. und Telefonie Bd. 2, S. 501, 593. — Rosa, E. B. und Grover, F. W.: Bull. Bureau of Standards, Vol. 8, Nr. 1, Washington 1911. (Kritische Zusammenstellung von Formeln und Zahlentafeln.)

2. Kurze einlagige Spule von der Länge l (einschließlich der Isolation der ersten und der letzten Windung) und dem Radius R , die w Windungen hat. Nach R a y l e i g h und N i v e n (Proc. Roy. Soc. Bd. 32, S. 104, 1881) ist sehr angenähert

$$L \approx 4\pi R w^2 \left\{ \log \operatorname{nat} \frac{8R}{l} - \frac{1}{2} + \frac{l^2}{32R^2} \left(\log \operatorname{nat} \frac{8R}{l} + \frac{1}{4} \right) \right\}$$

Genauere Formeln bei G l a g e: Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 2, S. 503, 1909.

3. Lange Spule von der Länge l und dem Radius R , welche eine Lage von w Windungen hat (W e b s t e r u. H a v e l o c k):

$$L = 4\pi^2 w^2 \frac{R^2}{l} \left(1 - \frac{8R}{3\pi l} + \frac{1}{2} \frac{R^2}{l^2} - \frac{1}{4} \frac{R^4}{l^4} + \frac{5}{16} \frac{R^6}{l^6} - \frac{35}{64} \frac{R^8}{l^8} \dots \right)$$

Den Wert K des Klammerausdrucks hat N a g a o k a für die Werte von $2R/l = 0,01$ bis 10 berechnet. Die ausführliche Tafel ist in dem in der Fußnote genannten Aufsatz von R o s a u. G r o v e r auf S. 224 ff. abgedruckt; wir geben hier nur einen Auszug, und zwar gleich die Werte von $k = 4\pi^2 R K/l$, so daß die Formel in der Gestalt erscheint

$$L = k R w^2$$

$\frac{2R}{l}$	k	$\frac{2R}{l}$	k	$\frac{2R}{l}$	k	$\frac{2R}{l}$	k
0,05	0,9663	0,55	8,719	1,10	14,49	2,60	23,74
0,10	1,893	0,60	9,339	1,20	15,34	2,80	24,60
0,15	2,781	0,65	9,937	1,30	16,14	3,00	25,42
0,20	3,632	0,70	10,514	1,40	16,90	3,20	26,18
0,25	4,449	0,75	11,070	1,50	17,62	3,40	26,90
0,30	5,234	0,80	11,608	1,60	18,30	3,60	27,59
0,35	5,987	0,85	12,128	1,80	19,58	3,80	28,24
0,40	6,710	0,90	12,631	2,00	20,75	4,00	28,85
0,45	7,406	0,95	13,117	2,20	21,82	4,50	30,28
0,50	8,075	1,00	13,589	2,40	22,81	5,00	31,57

Für sehr genaue Berechnungen ist an den Formeln unter 2 und 3 wegen des nicht vom Strom erfüllten Raumes zwischen benachbarten Drähten eine Korrektur anzubringen, die in den Aufsätzen von R o s a u. G r o v e r (S. 122, 197—199) und von G l a g e (S. 506) angegeben ist.

Die Formeln unter 2 und 3 gelten angenähert auch für mehrlagige Spulen, wenn unter w die gesamte Windungszahl, unter R der mittlere Spulenradius verstanden wird. Für genaue Berechnungen muß man eine Korrektur wegen der endlichen (radialen) Dicke der Wicklung anbringen, die bei R o s a u. G r o v e r auf S. 138 und 200, bei G l a g e auf S. 510 angegeben ist.

4. Ringspule, Ringradius a , Windungsradius r , Windungszahl w

$$L = 2\pi w^2 (a - \sqrt{a^2 - r^2})$$

5. Kurze flache Spule, Wicklungsquerschnitt ein Rechteck von den Seitenlängen b und c , mittlerer Spulenradius R , äußerer und innerer $R + \frac{1}{2}c$ und $R - \frac{1}{2}c$, Windungszahl w (S t e f a n: Ann. d. Phys. (3), Bd. 22, S. 107, 1884; W e i n s t e i n: Ann. d. Phys. (3), Bd. 21, S. 329, 1884; H e m m e t e r: Arch. f. Elektrot. Bd. 11, S. 155, 268, 1922):

$$L = 4\pi R w^2 \left[\left(1 + \frac{3b^2 + c^2}{96R^2} \right) \log \operatorname{nat} \frac{8R}{\sqrt{b^2 + c^2}} - y_1 + \frac{b^2}{16R^2} y_2 \right] \text{ für } b \cong c$$

Für $b \leq c$ ist das letzte Glied in der Klammer zu ersetzen durch $c^2 y \frac{1}{2} / 16R^2$. Die

Werte von y_1 , y_2 und y_2' sind der Tabelle zu entnehmen; darin bedeutet x diejenige der Zahlen b/c und c/b , die ≤ 1 ist

x	y_1	y_2	y_2'	x	y_1	y_2	y_2'
0	0,500	0,125	0,597	0,6	0,818	0,384	0,705
0,1	0,592	0,132	0,602	0,7	0,833	0,474	0,722
0,2	0,665	0,155	0,615	0,8	0,842	0,576	0,760
0,3	0,722	0,192	0,631	0,9	0,847	0,690	0,791
0,4	0,765	0,242	0,654	1,0	0,848	0,816	0,816
0,5	0,796	0,307	0,677				

Für $b=c$ kann man mit Weinstein schreiben

$$L = 4\pi R w^2 \left[\left(1 + \frac{b^2}{24R^2} \right) \log \text{nat} \frac{8R}{b} - 1,195 + 0,03657 \frac{b^2}{R^2} \right]$$

Ein Minimum des Widerstandes erhält man für $R=1,85b$; führt man diesen Wert ein, so folgt, wenn auf eine Lage von 1 cm Länge K Windungen gehen

$$L = 19,4 R w^2 = \frac{35,9}{K} w^{5/2}$$

Diese Formeln gelten für einen Draht von Quadratquerschnitt. Für Drähte mit Kreisquerschnitt ist zu dem L als Korrektionsglied zu addieren:

$$4\pi R w \left(\log \text{nat} \frac{d}{r} + 0,155 \right)$$

d = Drahtabstand, r = Drahtradius. Die Konstante 0,155 hängt, genau genommen, etwas von der Windungszahl ab; sie steigt von 0,144 bei 2 Windungen auf 0,156 bei unendlich vielen Windungen (Rosa u. Grover: S. 140).

6. Flachspule (Kreisring), mit w Windungen, äußerer Radius R , innerer Radius r , Höhe vernachlässigbar (Spielrein, J.: Arch. Elektr. Bd. 3, S. 187, 1915)

$$L = k R w^2$$

k ist der folgenden Tafel zu entnehmen:

$\frac{r}{R}$	k	$\frac{r}{R}$	k	$\frac{r}{R}$	k
0	6,970	0,45	17,23	0,88	42,99
0,05	7,716	0,50	18,97	0,90	45,74
0,10	8,556	0,55	20,89	0,91	47,31
0,15	9,488	0,60	23,01	0,92	49,04
0,20	10,51	0,65	25,39	0,93	50,97
0,25	11,63	0,70	28,09	0,94	53,18
0,30	12,86	0,75	31,21	0,95	55,75
0,35	14,19	0,80	34,92	0,99	77,65
0,40	15,65	0,85	39,53	1,00	∞

7. Zur Berechnung der Induktivität zylindrischer Spulen mit rechteckigem Wicklungsquerschnitt, mit etwa $\pm 3\%$ Genauigkeit sind die von Korndörfer (ETZ 1917, S. 521) angegebenen Formeln $L=10,5w^2D(D/U)^k$ sehr bequem. D = mittlerer Spulendurchmesser, U = Umfang des Wicklungsquerschnitts. $k=3/4$, wenn $0 < D/U < 1$; $k=1/2$, wenn $1 < D/U < 3$.

8. Formeln und Zahlentafeln zur Berechnung der Selbstinduktivität von Zylinderspulen und von Flachspulen mit rechteckigen Windungen hat A. Esau angegeben (Jahrb. d. drahtl. Tel. Bd. 14, S. 271 und 386, 1919).

9. Rechteckige Spule mit rechteckigem Wicklungsquerschnitt; a und b Seiten des Rechtecks, α und β Höhe und Breite des Wicklungsquerschnitts. Nach S u m e c (ETZ 1906, S. 1175) ist angenähert

$$L \approx 9,2 w^2 \left\{ a \log \text{vulg} \frac{b}{(\alpha + \beta)_a} + b \log \text{vulg} \frac{a}{(\alpha + \beta)_b} + 3(a + b) \right\}$$

Voraussetzung: Der Wicklungsraum wird vom Stromleiter vollkommen erfüllt.

10. Spulen hoher Selbstinduktivität werden durch Verwendung von Eisenkernen erhalten; bei ihnen hängt L (wegen der Veränderlichkeit von μ) von der Stromstärke ab.

11. Einfachleitung, Rückleitung durch die Erde; Drahradius r , Länge l

$$L = 2l [\log \text{nat} 2l/r - \alpha]$$

$\alpha = 3/4$ bis $7/4$ je nach der Verteilung der Rückströme im Erdboden (nach B r e i s i g, F.: Theoret. Telegraphie, § 120, S. 168; Braunschweig 1910); die Formel ist nur für ganz angsame Stromänderungen brauchbar; für Wechselstrom siehe (121 a).

12. Doppelleitung; Länge l .

a) Zwei Drähte vom Radius r_1 bzw. r_2 im Abstand d

$$L = l(\alpha + 4 \log \text{nat} [d/\sqrt{r_1 r_2}])$$

$\alpha = \mu$ (in Luft = 1), wenn der Strom den Drahtquerschnitt gleichmäßig erfüllt (niedere Frequenz).

$\alpha = 0$, wenn der Strom merklich auf eine dünne Oberflächenschicht beschränkt ist (hohe Frequenz).

b) Leiter vom beliebigen Querschnitt F_1 bzw. F_2 .

$$L = 2l \log \text{nat} g_{12}^2 / g_{11} g_{22}$$

g_{12} = mittlerer geometr. Abstand¹⁾ der Fläche F_1 von F_2 ;
 g_{11} = „ „ „ „ „ F_1 von sich selbst;
 g_{22} = „ „ „ „ „ F_2 von sich selbst.

$$\log \text{nat} g_{12} = \frac{1}{F_1 F_2} \int_{F_1} \int_{F_2} dF_1 dF_2 \log \text{nat} Z$$

Z = Abstand der Flächenelemente dF_1 und dF_2 . (Näheres bei O r l i c h, E.: ETZ 1908, S. 310.)

In sämtlichen Formeln sind die Längen in cm einzusetzen; L wird in absolutem Maß (cm) erhalten; 1 Henry = 10^9 cm.

c) Zur angenäherten Berechnung der Induktivität oberirdischer Doppelleitungen kann man gemäß (146) die Formel

$$L = 1/Cc^2$$

verwenden. Darin ist $c = 3 \cdot 10^5$ km/s die Lichtgeschwindigkeit, C die Kapazität, die der Tabelle in (54) zu entnehmen ist; man erhält L in H/km, wenn C in F/km eingesetzt wird.

Die Induktivität der Kabel beträgt etwa

bei Starkstromkabeln	0,4 mH/km
bei vieladrigen Fernsprechkabeln	0,7 mH/km
bei Telegraphenkabeln mit Rückleitung durch die Erde	2,5 mH/km
bei Fernsprechkabeln mit Eisendraht oder -bandbespinnung nach K r a r u p	8 bis 20 mH/km

¹⁾ M a x w e l l: Elektrizität und Magnetismus Bd. 2, Art. 691, 692, deutsche Ausgabe 1883.

Formeln zur Berechnung des von der Eisenschicht herrührenden Zuwachses der Induktivität und des Wirkwiderstandes in (123).

(110) Gegeninduktivitäten.

1. Zwei gleich lange einfache Drahtlagen, die mit den Windungszahlen K_1 und K_2 für 1 cm auf denselben Zylinder gewickelt sind, und die die Fläche S umschließen:

$$M = 4\pi K_1 K_2 l S$$

2. Zwei Kreisdrähte von den Radien R und r in parallelen Ebenen, deren Abstand x zugleich der Mittelpunktsabstand der beiden Kreise ist. Sehr angenähert ist¹⁾

$$M = 4\pi \sqrt{Rr} \left[A \log \text{nat} \frac{8}{\sqrt{p}} - B \right]$$

wobei

$$p = \frac{x^2 + (R-r)^2}{Rr}$$

$$A = 1 + \frac{3}{16} p - \frac{15}{1024} p^2 + \dots \quad B = 2 + \frac{1}{16} p - \frac{31}{2048} p^2 + \dots$$

ist (Havelock: Phil. Mag. Bd. 15, S. 332, 1908).

3. Schleifen aus parallelen geraden Drähten von der Länge l . Besteht die eine Schleife aus den Drähten 1 und 2, die andere aus den Drähten 3 und 4, von denen 1 und 3 als Hinleitung dienen, und bezeichnen r_{12} , r_{13} usw. die entsprechenden Drahtachsenabstände, so ist

$$M = 2l \log \text{nat} (r_{23} r_{14} / r_{13} r_{24})$$

4. Schleifen mit gemeinsamer Rückleitung (Drehstromleitung). Bezeichnet man die Drähte wie im vorigen Beispiel, und fallen 2 und 4 zusammen, so gilt

$$M = 2l \left(\log \text{nat} \frac{r_{12} r_{23}}{r_{13} r} + \frac{1}{4} \right)$$

r = Drahtradius der gemeinsamen Rückleitung.

5. Zwei Einfachleitungen mit Erde als Rückleitung (z. B. Einphasenbahn — Telegraphenleitung, oder verschiedene Adern eines Telegraphenkabels) siehe (115)

Längen in cm; M in cm; 1 Henry = 10^9 cm.

(111) Rasch veränderliche Felder. Verschiebungsstrom. Dort, wo Stromlinien einmünden, nehmen die Ladungen entsprechend zu: — $\text{div } \mathfrak{c} = \partial \eta / \partial t$. Weil nun von jeder Ladungseinheit eine Verschiebungslinie ausgeht ($\eta = \text{div } \mathfrak{D}$; also — $\text{div } \mathfrak{c} = \text{div } \partial \mathfrak{D} / \partial t$), so entspricht jeder einmündenden Stromlinie ein Wachstum des Verschiebungsflusses um eine Linie in der Sekunde. Die Zunahme des Verschiebungsflusses in der Sekunde wird Verschiebungsstrom genannt. Zu jeder irgendwo einmündenden Stromlinie gehört also eine von ebendort ausgehende Verschiebungsstromlinie. Durch die Zusammensetzung des Leitungsstroms \mathfrak{c} und des Verschiebungsstromes $\partial \mathfrak{D} / \partial t$ entsteht somit ein wahrer Strom \mathfrak{C}

$$\mathfrak{C} = \mathfrak{c} + \frac{\partial \mathfrak{D}}{\partial t}$$

dessen Linien nirgends Anfangs- und Endpunkte haben ($\text{div } \mathfrak{C} = 0$). Nach Maxwell erzeugt ein Verschiebungsstrom genau dasselbe Magnetfeld wie ein ebenso

¹⁾ Die genaue Formel nebst Tafeln zur Berechnung findet man in den „Funktions-tafeln“ von E. Jahnke und F. Emde, S. 76, Leipzig 1909. Siehe auch Rosa und Grover: Bull. of the Bur. of Standards, Washington 1911, Bd. 8, S. 6.

verteilter Leitungsstrom, und es gilt ganz allgemein (in allen Körpern und für beliebige rasche Änderungen)

$$\text{rot } \mathfrak{H} = 4\pi \mathfrak{C} = 4\pi (\mathfrak{c} + \partial \mathfrak{D} / \partial t)$$

Für Gleichstrom geht dies in die frühere Gleichung $\text{rot } \mathfrak{H} = 4\pi \mathfrak{c}$ (103) über; auch bei langsamem — quasistationärem — Wechselstrom kann man die magnetischen Wirkungen des Verschiebungsstromes im allgemeinen vernachlässigen; im Innern von Metallen ist der Verschiebungsstrom unmeßbar klein.

Elektromagnetische Induktion.

(112) **Das Grundgesetz von Faraday-Maxwell.** Denkt man sich eine beliebige Fläche F mit der Randlinie l , so ist das Linienintegral der elektrischen Feldstärke — die induzierte EMK E_i — längs l gleich der Abnahme, die der über die Fläche F

berechnete Induktionsfluß $\Phi = \int_F \mathfrak{B}_n \, df$ in der Sekunde erfährt:

$$E_i = \oint_l \mathfrak{C} \, ds = - \frac{d}{dt} \int_F \mathfrak{B}_n \, df = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Dabei soll durch die Flächennormale n und den Umlaufssinn von l der Fortschreitungs- und Drehsinn einer Rechtsschraube bestimmt werden. Außerdem soll bei bewegten Körpern die Randlinie l an die Körperelemente gebunden sein.

Der Induktionsfluß durch eine Fläche kann sich ändern: 1. dadurch, daß das Feld zeitlich schwankt (Transformator); 2. dadurch, daß sich bei konstantem Feld die Fläche ändert (durch Bewegung der Körper). Diese zweite Flußänderung wird stets dadurch richtig erhalten, daß man die von der Randlinie¹⁾ in der Sekunde geschnittene Kraftlinienzahl (besser: den von ihr in 1 s überstrichenen Induktionsfluß) berechnet²⁾. (Rotierende glatte Dynamoanker, Unipolarmaschinen). In der Differentialform des Induktionsgesetzes

$$\text{rot } \mathfrak{C} = - \frac{\partial \mathfrak{B}}{\partial t} - \text{rot } [\mathfrak{B} \mathfrak{v}]$$

(\mathfrak{v} = Geschwindigkeit, $\partial/\partial t$ = Änderung am festen Raumpunkt)

kommt diese Zerlegung der Flußschwankung auch äußerlich zum Ausdruck.

(113) **Beispiele.** 1. **Transformator.** Als Randlinie l sei die Achse des Wicklungsdrahtes gewählt; die Enden der Wicklung mögen irgendwie verbunden sein, jedoch so, daß der Verbindungsdraht allein kein nennenswertes Magnetfeld umschließt. Dann besteht die vom Fluß durchsetzte Fläche im wesentlichen aus der von den w Transformatorwindungen berandeten Fläche, die gleich wq ist (q = Kernquerschnitt), daher

$$E_i = \oint \mathfrak{C} \, ds = - wq \frac{\partial \mathfrak{B}}{\partial t},$$

\mathfrak{B} = Induktion im Transformator Kern. $q\mathfrak{B}$ heißt in diesem Falle der Windungsfluß, $wq\mathfrak{B}$ der Spulenfluß. Ein Modell zur Veranschaulichung der von den w Windungen berandeten Fläche hat F. E m d e angegeben (Elektr. u. Maschb., Wien 1912, Heft 47).

2. **Prinzip des Wechselstromdynamoankers.** Ein Drahtrechteck (Seiten a, b) dreht sich in einem homogenen Magnetfeld \mathfrak{B} um seine zu

1) Weil die Induktionslinien nirgends enden, $\text{div } \mathfrak{B} = 0$, so kann sich hier der Fluß bei festgehaltener Randlinie nicht ändern, wieviel man auch die Fläche sonst deformieren mag.

2) Diese Berechnungsart der EMK gilt also für einen speziellen Fall, ist aber kein allgemeines Gesetz. Vgl. F. E m d e, F.: Elektrot. und Maschinenbau (Wien) 1908, Heft 46 ff.; 1909, Heft 34.

den Kraftlinien senkrechte Mittelachse (parallel a) mit der Winkelgeschwindigkeit ω . Dann ist der Fluß durch das Rechteck $\Phi = \mathfrak{B} a b \cos \omega t$, daher

$$E_i = -\dot{\Phi} = \omega \mathfrak{B} a b \sin \omega t$$

Oder: Nur die zur Drehachse parallelen Seiten a schneiden Induktionslinien. Ihre Geschwindigkeiten $|\mathbf{v}| = \frac{1}{2} \omega b$ bilden mit den Induktionslinien einen Winkel $180^\circ - \omega t$. Daher ist

$$E_i = \oint \mathfrak{E} \, ds = - \int [\mathfrak{B} \mathbf{v}] \, ds = \mathfrak{B} \frac{\omega b}{2} 2a \cdot \sin \omega t = \omega \mathfrak{B} a b \sin \omega t, \text{ wie vorher.}$$

3. Unipolare Induktion. Versuch: Ein Magnetstab M (Abb. 28) drehe sich mit der Winkelgeschwindigkeit ω um seine Achse AB . Der Punkt B der leitend gedachten Achse sei durch ein Galvanometer G mit einer Schleifbürste C auf dem Umfang des Stabs verbunden. G zeigt dann einen Gleichstrom an.

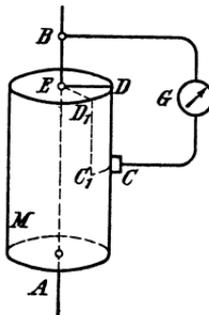


Abb. 28. Unipolare Induktion.

Erklärung: Man wähle als Randlinie $EBGCDE$. Da die Randlinie an die Körperelemente gebunden ist, so wird das Stück EDC bei der Drehung mitgenommen und gelangt nach einer gewissen Zeit nach ED_1C_1 . Es überstreicht also einen gewissen Induktionsfluß, weil das Feld am festen Raumpunkt von der Drehung des Magnets nicht abhängt. Oder auch: Zur Fläche $EBGCDE$ tritt durch die Drehung der Sektor EDD_1 und das Mantelstück DD_1C_1C hinzu. Der gesamte Induktionsfluß hat sich also um den diesen Teilen angehörenden Betrag vermehrt. Man kann sich vorstellen, daß die von $EBGC_1D_1E$ berandete Fläche bei der Drehung unbegrenzt wächst, indem sie sich wie eine Haut auf den Magnet aufwickelt. Ist Φ der Fluß durch

den Querschnitt des Magnets bei C , so wird $E_i = \omega \Phi / 2\pi$. Tiefere Einsicht in die hier vorliegenden Verhältnisse liefert die Erkenntnis der Verteilung der elektrischen Wirbel. Aus der Grundgleichung $-\text{rot } \mathfrak{E} = \dot{\mathfrak{B}} / \partial t + \text{rot } [\mathfrak{B} \mathbf{v}]$ folgt, daß hier nur „Flächenwirbel“ (Sprünge der Tangentialkomponenten von \mathfrak{E}) auftreten, und zwar in der Grenzfläche Magnet-Luft (8). Flächenwirbel von \mathfrak{E} erscheinen in jeder Gleitfläche zweier Körper, die von \mathfrak{B} -Linien durchsetzt wird. (Vgl. Szarvassi, A.: Ann. d. Phys. (4) Bd. 23, S. 73, 1907.)

4. Glatte Ring- und Trommelanker.

$$E_i = p z \Phi \frac{n}{60} 10^{-8} \text{ Volt}$$

Φ = von einem Pol zum Anker übertretender Induktionsfluß; z = Zahl der wirklichen Ankerdrähte, n = Umdrehungszahl in der Minute. Bei reiner Parallelschaltung der Ankerzweige ist $p = 1$; bei reiner Reihenschaltung ist p gleich der Polpaarzahl.

5. In Nutenankern pflegt man die EMK nach den für glatte Anker gültigen Formeln zu berechnen. Diese gelten aber hier nur angenähert; denn der physikalische Vorgang ist ein wesentlich anderer, was schon daraus hervorgeht, daß die Ankerdrähte sich stets in dem sehr schwachen Nutenfelde bewegen. Die Verhältnisse in Nutenankern sind von R. Rüdtenberg klargestellt worden (Elektrot. u. Maschinenbau 1907, Heft 31, 32).

(114) **Lineare Leiter.** Wird das veränderliche magnetische Feld von merklich linearen¹⁾ (und quasistationären) Strömen I_1, I_2, \dots erzeugt, so ergibt das Induktionsgesetz, wenn man die einzelnen Stromkreise nacheinander als Randlinien wählt:

¹⁾ Streng lineare Leiter gibt es nicht; für solche Leiter würden auch die Induktivitäten ihren Sinn verlieren.

$$E_1 = I_1 R_1 + L_1 \frac{dI_1}{dt} + M_{12} \frac{dI_2}{dt} + M_{13} \frac{dI_3}{dt} + \dots$$

$$E_2 = I_2 R_2 + L_2 \frac{dI_2}{dt} + M_{12} \frac{dI_1}{dt} + M_{23} \frac{dI_3}{dt} + \dots$$

und so fort. Darin sind die E_1, E_2, \dots die eingepprägten (oder äußeren) EMKe, die R_1, R_2, \dots die Widerstände, die L_1, L_2, \dots die Selbstinduktivitäten der entsprechend bezeichneten Kreise. Die $M_{\alpha\beta} = M_{\beta\alpha}$ sind die Gegeninduktivitäten. Die Größen $-L_\alpha dI_\alpha/dt$ heißen die selbstinduzierten EMKe; $-M_{\alpha\beta} dI_\beta/dt$ ist die vom Strom I_β im Kreis α induzierte EMK (gegenseitige Induktion). Diese Gleichungen können auch auf ein zusammenhängendes Leiternetz angewandt werden, wenn man sich dieses in lauter einfache Schleifen aufgelöst denkt; vgl. C o h n. Das elektromagn. Feld, 2. Aufl. 1927, S. 163.

(115) Gegeninduktion zwischen Starkstromanlagen und Fernmeldeleitungen (1329...1347). Starkstromanlagen sind mit benachbarten gleichlaufenden Fernmeldeleitungen magnetisch gekoppelt (Transformatorwirkung). Diese Kopplung ist praktisch von besonderer Bedeutung, wenn es sich beiderseits um Einzelleitungen mit Rückleitung durch die Erde handelt. Solche Verhältnisse liegen bei Einphasenbahnen betriebsmäßig und bei Drehstromanlagen im Falle des Doppelerdschlusses vor. Die induzierte EMK ergibt sich aus $E = I \omega M$; darin ist I der Strom in der Starkstromleitung, ω die Kreisfrequenz. Für die Gegeninduktivität M (in Henry/km) ergibt sich nach F. P o l l a c z e k (Elektr. Nachr.-Technik Bd. 3, S. 339; 1926) ein komplexer Wert

$$10^4 M = 2 \log \text{nat} \frac{2}{\gamma k a} + 1 - \frac{i\pi}{2} + \frac{2\sqrt{2}}{3} k (d_1 + d_2) (1 + i).$$

Darin ist a der Abstand der beiden Leiter, d_1 und d_2 sind ihre Höhen über dem Boden in cm; $\gamma = 1,7811$; $k = \sqrt{4\pi\omega/\rho}$; ρ der spezifische Widerstand des Bodens in absoluten elektromagnetischen Einheiten ($\rho = 10^{13}$ bis 10^{15} , je nach der Feuchte). Die Formel gilt, solange $ka < 0,4$ mit hinreichender Näherung; d. h. für die Frequenz 50 Hertz bis zum Abstand $a = 200$ m. Die imaginäre Komponente von M bedeutet, daß die induzierte EMK hinter dem induzierenden Strom I um mehr als 90° nacheilt (Wirkung der Erdströme). Da M auch in größeren Abständen nur sehr langsam abnimmt, können sich die Induktionsstörungen noch in Fernmeldeleitungen nachteilig bemerkbar machen, die einen Abstand von 1 km und mehr haben (s. Abb. 29).

Bei Wechselstrombahnen ($16 \frac{2}{3}$ Hertz) sind für 100 Akm in Fernmeldeleitungen am Bahnkörper ohne Schienenbinder 6 bis 10 V, mit Schienenbindern 4 bis 5 V gemessen worden.

Die ausgleichende Wirkung des induzierten Schienenstromes spielt dabei eine wesentliche Rolle. Bei fehlenden Bindern ist der Schienenstrom namentlich vom Schienenstoßwiderstand abhängig (nasses Wetter günstig). Unterirdische Führung

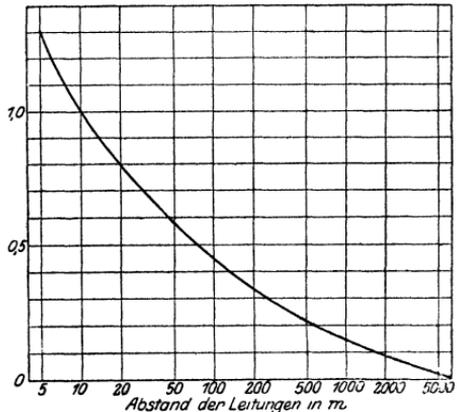


Abb. 29. Gegeninduktivität von Einfachleitungen in mH/km aus Messungen an Ein- und Dreiphasenleitungen verschiedener Länge und Berechnungen nach P o l l a c z e k (für Frequenzen um 25 Hertz).

der Einzelleitungen ist der oberirdischen Führung hinsichtlich magnetischer Beeinflussung nur dann überlegen, wenn der Kabelmantel gut leitend durchverbunden ist, so daß starker induzierter Kabelmantelstrom fließen kann, der schützende Wirkung besitzt. Bei überschläglichen Rechnungen kann im allgemeinen der Fahrstrom I für den Betrieb etwa mit 200 A, im Kurzschlußfall mit etwa 1000 A eingesetzt werden.

Bei Drehstromanlagen (50 Hertz) ergeben sich für den Fall des Doppelerdschlusses entsprechend der Frequenz höhere Werte, so in eindrähtigen Fernmeldeleitungen im Abstand einer Straßenbreite 25 bis 30 V für 100 Akm. Hierbei ist I etwa dreifacher Vollaststrom; die erste Spitze kann beträchtlich höher sein.

Die durch Kurzschlüsse an Einphasen- und Doppelerdschlüssen an Drehstromanlagen hervorgerufene „Gefährdung“ benachbarter Fernmeldeleitungen besteht namentlich in dem Auftreten von Knallgeräuschen (Fernsprech-Betriebsunfällen), die schon bei 200 V induzierter Spannung einsetzen können und schwere Nervenstörungen verursachen. Völlig zuverlässiger Schutz dagegen ist auf der Seite der Fernmeldeleitung noch nicht vorhanden (Fritter, Edelgas-Quersicherung, s. Schröter, F.: Zeitschr. f. techn. Physik, Bd. 4, S. 208, 1923). Wegen Schutzmaßnahmen durch zweckmäßige bauliche Anordnung der Drehstromanlagen s. ETZ 1923 S. 468 „Leitsätze zum Schutze von Fernmeldeleitungen gegen die Beeinflussung durch Drehstromleitungen.“

Bei betriebsmäßigem Zustand können Ein- und Dreiphasenanlagen in benachbarten Fernsprechleitungen „Störungen“ des Sprechverkehrs durch die Oberschwingungen der Stromerzeuger und Verbraucher hervorrufen, die sich sowohl infolge der vielfach unvermeidlichen Unsymmetrien der Fernsprechleitungen als auch der Drehstromanlagen (Verdrillen) geltend machen. Daher ist anzustreben, Generatoren und Motoren möglichst überschwingungsfrei (Nuten), Transformatoren mit geringem Leerlaufstrom zu bauen (vgl. hierzu auch Osborne, H. S.: Proc. of the Amer. Inst. of El. Eng. 1919, S. 1). Wegen baulicher Schutzmaßnahmen gegen Störungen s. ebenfalls die genannten Leitsätze.

Verkabeln beeinflusster Fernmeldeleitungen unter gleichzeitigem Doppeln ist hinsichtlich der Gefährdung nur ein bedingter Schutz, weil jeder Einzeldraht über seine Kapazität Erdverbindung hat. Um Knallgeräusche zu vermeiden, betreibt man solche Leitungen zweckmäßig ohne Spannungssicherungen nach Erde. Durch geeignete Unterteilung der Fernsprechleitungen durch Übertrager kann man die Berührungsspannung vermindern. Störungen sind nur bei vollkommener Symmetrie der Kabeldoppelleitung und ihrer Betriebsschaltung zu verhüten.

(116) Lenzsches Gesetz. Aus dem Induktionsgesetz ergibt sich, daß die induzierten Ströme stets so gerichtet sind, als wollten sie durch ihr eigenes magnetisches Feld die Feldänderung verhindern (elektromagnetische Trägheit).

(117) Wirbelströme. Wenn sich das magnetische Feld im Innern eines Leiters ändert, so werden in dem Leiter EMKe induziert, die eine Strömung im Leiter hervorrufen. Da sie sich im Leiter selbst schließt, so hat man sie Wirbelströmung genannt. Sie wirkt nach dem Lenzschen Gesetz entmagnetisierend; auch ist sie mit einer Entwicklung Joulescher Wärme verbunden (Energieverlust). In den Wirbelstrombremsen macht man von diesem Energieumsatz Gebrauch¹⁾. Zur Verminderung der Wirbelstromverluste baut man Eisenteile, die einen veränderlichen Induktionsfluß führen sollen, aus dünnen Blechen oder Drähten auf²⁾.

¹⁾ Siehe Rüdtenberg, R.: Energie der Wirbelströme. Stuttgart 1906.

²⁾ Näherungsformeln für Wirbelströme in massivem Eisen bei Rosenbergl, E. EIZ. 1923, S. 513.

(118) **Wirbelströme in Blechen** von der Dicke d (cm), dem spezifischen Widerstand ρ , der Permeabilität μ bei der Frequenz $f = \omega/2\pi$ und der maximalen Induktion \mathfrak{B} . Der Joulesche Energieverlust im cm^3 für die Sekunde ist (Thomson, J. J.: The Electrician, Bd. 28, S. 594, 599, 1892)

$$Q = \frac{\mathfrak{B}^2 d^2 \omega^2}{24 \rho} \cdot \frac{6}{\alpha^3} \frac{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha}{\cos \alpha + \alpha \sin \alpha} \quad \text{mit } \alpha = d \sqrt{2\pi \mu \omega / \rho}$$

Der Faktor

$$\frac{6}{\alpha^3} \frac{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha}{\cos \alpha + \alpha \sin \alpha} = 1 - 1,596 \left(\frac{\omega \mu d^2}{\rho} \right)^2 - \dots$$

kann für niedere Frequenzen (α klein) durch 1 ersetzt werden. Dann wird (Feldmann, C. P.: Wechselstromtransformatoren, S. 155, 1894)

$$Q = \mathfrak{B}^2 d^2 \omega^2 / 24 \rho = \beta \mathfrak{B}^2 d^2 f^2$$

Für gewöhnliches Eisenblech erhält man, d in mm eingesetzt,

$$Q = 1,6 \mathfrak{B}^2 d^2 f^2 10^{-13} \text{ Watt/cm}^3$$

Eine weitere Folge der Wirbelströme ist eine mit ω und d zunehmende Abschirmung des Feldes aus dem Blechinnern. Schon bei $f = 50$, $d = 1/2$ mm, $\mu = 1000$ sinkt \mathfrak{B} in Richtung der Blechdicke vom Rande bis zur Mitte um 7,85% (doppelseitige Hautwirkung).

Bei hoher Frequenz (großes α) wird

$$Q = \frac{\mathfrak{B}^2}{8\pi d} \sqrt{\frac{f \rho}{\mu^3}}$$

Die vorstehenden Beziehungen sind unter der Annahme unendlicher Blechbreite hergeleitet; Feldverteilung und Wirbelströme in einem Blechstreifen von endlicher Breite sind von P. Debye (Zeitschr. f. Math. u. Phys., Bd. 54, S. 418, 1906) berechnet worden.

(119) Wirbelströme in Ankerstäben¹⁾ (Abb. 30).

a) Wechselstrommaschinen. Der Joulesche Wärmeeffekt in einem Stab vom Gleichstromwiderstande R_0 ist

$$Q = R_0 [I_0^2 \varphi(x) + I_1 (I_1 + I_0) \psi(x)]$$

I_0 = Strom in dem betreffenden Stabe, I_1 = Gesamtstrom aller darunter liegenden Stäbe.

$$x = d \sqrt{2\pi \mu \omega / \rho} \sqrt{b'/b}$$

ρ = spez. Widerstand in absoluten elektromagnetischen Einheiten. Führt man statt dessen die spezifische Leitfähigkeit κ in Siemens, bezogen auf einen Stab von 1 m Länge und 1 mm² Querschnitt ein, so erhält man (mit $\mu = 1$)

$$x = d \sqrt{\frac{f}{50}} \cdot \sqrt{\frac{b'}{b}} \cdot \sqrt{\frac{\kappa}{50}} = \alpha d$$

Für handwarmes Kupfer ist $\kappa = 50$, und für die Frequenz $f = 50$ hiermit $\alpha \approx 1$.

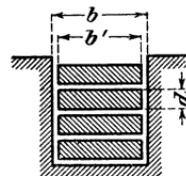


Abb. 30. Wirbelströme in Ankerstäben.

¹⁾ Field, A. B.: Proc. Am. Inst. of El. Eng. Bd. 24, S. 659; 1905. — Emden, F.: Elektrot. und Maschinenbau 1908, Heft 33, 34. — Rogowski, W.: Arch. f. Elektrot. Bd. 2, S. 81, 1913; Bd. 4, S. 293, 1916. — Richter, R.: Arch. f. Elektrot. Bd. 2, S. 518, 1914; Bd. 3, S. 175, 1915; Bd. 4, S. 1, 1915; Bd. 5, S. 1, 1916; Bd. 5, S. 335, 1917. — Hillebrand, W.: Arch. f. Elektrot. Bd. 3, S. 111, 1915. — Rikli, H.: E. u. M., Wien 1917, S. 249. — Fleischmann, L.: Arch. f. Elektrot. Bd. 8, S. 203, 1919.

Für die Funktionen φ und ψ gelten die Ausdrücke:

	x beliebig	x klein	x groß
$\varphi(x) =$	$x \frac{\sin 2x + \sin 2x}{\cos 2x - \cos 2x}$	$1 + \frac{x^4}{11,25}$	x
$\psi(x) =$	$2x \frac{\sin x - \sin x}{\cos x + \cos x}$	$\frac{x^4}{3}$	$2x$

Die Wirbelstromverluste treten in dem in der Nut eingebetteten und vom Nutenstreifenfeld durchsetzten Teil des Stabes ein. Bezeichnet l_n die Länge des Stabteils in der Nut, l_e die Länge des Stabteils außerhalb der Nut (in den Stirnverbindungen), λ das Verhältnis l_e/l_n , so ist das Verhältnis des Wechselstromwiderstandes r zum Gleichstromwiderstand r_0 des p -ten Stabes (p vom Nutengrund aus gezählt, alle Stäbe vom gleichen Strom durchflossen)

$$K_p = \frac{r}{r_0} = \frac{k_p + \lambda}{1 + \lambda}$$

mit

$$k_p = \varphi(x) + (p^2 - p)\psi(x)$$

Daraus folgt der Gesamtwiderstand aller Stäbe in einer Nut, wenn z die Zahl der übereinanderliegenden Stäbe ist, und wenn jeder Stab denselben Gesamtstrom führt, ausgedrückt in Teilen des Gleichstromwiderstandes, zu

$$K_z = \frac{R}{R_0} = \frac{k_z + \lambda}{1 + \lambda}$$

mit

$$k_z = \varphi(x) + \frac{z^2 - 1}{3} \psi(x)$$

Die Folge der Wirbelströme ist eine Zusammendrängung der Stromlinien an der oberen (äußeren) Kante des Stabquerschnittes (einseitige Hautwirkung¹⁾).

Wird bei gegebener Stabzahl die Stabhöhe d vergrößert, so sinkt der Widerstand bis auf ein Minimum, um dann wieder anzusteigen. Das Widerstandsminimum tritt bei der sog. kritischen Stabhöhe

$$d_0 = \frac{1,3}{\alpha \sqrt{z}} \sqrt{1 + \lambda}$$

ein und beträgt das 1,33fache des Gleichstromwiderstandes.

Wird bei gegebener Nuttiefe $D = zd$ die Stabzahl z erhöht, und wird wieder dafür gesorgt, daß jeder Stab den gleichen Strom führt, so kann das Widerstandsverhältnis zunächst wachsen, um erst bei weiterer Unterteilung des Leiters zu sinken. Die ungünstigste Stabzahl beträgt $z_u = 0,55 \alpha D$; man erhöht die Zahl der Stäbe zweckmäßig auf $z_k = 0,58 \alpha^2 D^2$, wobei das Widerstandsverhältnis gleich 1,33 wird.

Die Gleichheit der Ströme in den einzelnen Stäben ist bei Hintereinanderschaltung der Stäbe von selbst gegeben; bei der Parallelschaltung erreicht man sie durch Verschränkung der Stäbe (nach Hillebrand) oder durch magnetische Hilfskreise (nach Richter).

b) Gleichstrommaschinen. In jedem Ankerstabe fließt ein Wechselstrom, der bei richtiger Stromwendung nahezu trapezförmig verläuft. Die Wirbelstromverluste sind bei dieser Stromform größer als bei sinusförmigem Wech-

¹⁾ W. Steidinger (Arch. f. Elektrot. Bd. 12, S. 149, 1923) hat auch die Stromverdrängung an den radialen Seitenflächen des Stabes berechnet; ihr Einfluß ist aber unter den gewöhnlichen Verhältnissen gering.

selbststrom; im übrigen gelten in beiden Fällen ähnliche Beziehungen. Näheres bei Dreyfus, L.: E. u. M. (Wien) 1914, S. 281 ff.; Arch. f. Elektrot. Bd. 3, S. 273, 1915.

c) Einankerumformer. Hier liegen die Verhältnisse ähnlich wie unter b); vgl. Dreyfus, L.: Arch. f. Elektrot. Bd. 4, S. 42, 1915.

(120) Wirbelströme in zylindrischen Spulen¹⁾. Infolge der Wirbelströme wird die Stromdichte auf der dem Spulennern zugewandten Seite des Drahtes höher, auf der Außenseite niedriger als die mittlere (einseitige Hautwirkung). Die Widerstandserhöhung ist nach den unter (119) angegebenen Formeln zu berechnen, wobei für b die Ganghöhe g einzusetzen ist. Ferner ist $\lambda=0$ und $b'=d$. Bei runden Drähten vom Radius r hat man $d=1,78 r$ zu setzen.

Zur Verminderung der Widerstandserhöhung wickelt man die Spule aus Litzendraht. Die Litze muß so hergestellt sein, daß jeder Einzeldraht gleich oft an jeder Stelle des Litzquerschnitts liegt (z. B. durch mehrfache Verdrillung nach Dolezalek). Für eine Spule aus Litze mit rundem Querschnitt, die aus x Einzeldrähten vom Radius r besteht, ergibt sich das Widerstandsverhältnis mit

$$x = 1,78 \alpha r \quad \alpha = \frac{1}{50} \sqrt{f x \sqrt{x} \frac{1,78 r}{g}}$$

zu

$$k = \frac{R}{R_0} = \varphi(x) + \frac{w^2 x - 1}{3} \psi(x)$$

Die Funktionen φ und ψ haben die unter (119) angegebene Bedeutung; w ist die Zahl der Wicklungslagen.

Aus Untersuchungen Lindemanns sowie aus den vorstehenden Formeln ergibt sich, daß bei der Unterteilung des Drahtes zur Litze unter Umständen der Widerstand zuerst wächst und erst bei weiterer Unterteilung abnimmt. Der Grund ist derselbe wie bei den unter (119, a) behandelten Ankerstäben.

(121) Wirbelströme in einem geraden Draht (Radius r in cm). Hier verursachen die Wirbelströme ein Zusammendrängen der Stromlinien am Rand des Querschnitts (allseitige Hautwirkung). Feldverteilung und effektiver Widerstand werden durch eine einzige Größe $x = r \sqrt{f}$ bestimmt. $f = \pi \sqrt{\mu/\rho}$ ($= \pi \sqrt{\frac{\mu 10^{-5}}{\rho_1}}$, wenn ρ_1 in Ohm für 1 m und 1 mm² ausgedrückt ist).

Für Cu mit $\rho_1 = 0,0175$ ist $f = 0,075$

„ Al „ $\rho_1 = 0,035$ „ $f = 0,053$

„ Zn „ $\rho_1 = 0,063$ „ $f = 0,040$.

Der Wirkwiderstand ergibt sich aus der Formel

$$\frac{R}{R_0} = x \sqrt{2} \frac{u_0 v_0' - u_0' v_0}{u_1^2 + v_1^2}$$

Darin bedeutet R_0 den Gleichstromwiderstand; die Größen u und v sind Funktionen von x , die durch die Gleichungen definiert sind:

$$\begin{aligned} J_0(2\sqrt{2} x \sqrt{-i}) &= u_0 + i v_0 \\ d J_0/d(2\sqrt{2} x) &= u_0' + i v_0'. \end{aligned}$$

J_0 ist die Besselsche Funktion erster Art von der 0-ten Ordnung.

Zur angenäherten Berechnung des Wirkwiderstandes sind die folgenden Näherungsformeln bequem:

¹⁾ Sommerfeld, A.: Ann. d. Phys. (4) Bd. 15, S. 687, 1904 — Lindemann, R.: Verh. d. Deutsch. phys. Ges. 1910, S. 572. — Rogowski, W.: Archiv f. Elektrot. Bd. 3, S. 264, 1915; Bd. 4, S. 61, 1915.

$$\begin{aligned} \text{für } x=0 \text{ bis } 0,8 & \quad \frac{R}{R_0} = 1 + \frac{x^4}{3} - \frac{4}{45} x^8 \\ \text{für } x=1,5 \text{ bis } 10 & \quad \frac{R}{R_0} = 0,997x + 0,277 \\ \text{für } x > 2 & \quad \frac{R}{R_0} = x + \frac{1}{4} + \frac{3}{64x} \end{aligned}$$

In dem Bereich $x=0,8$ bis $1,5$ ist keine dieser Formeln anwendbar; der Wirkwiderstand ist der folgenden Tafel zu entnehmen.

x	R/R_0								
0,70	1,07	0,90	1,18	1,10	1,35	1,25	1,50	1,40	1,66
0,75	1,09	0,95	1,22	1,15	1,40	1,30	1,56	1,45	1,72
0,80	1,11	1,00	1,26	1,20	1,45	1,35	1,61	1,50	1,77
0,85	1,14	1,05	1,31						

Zahlentafeln und Formeln der Besselschen Funktionen finden sich in den „Funktionentafeln“ von J a h n k e und E m d e , 1909.

Laufen Hin- und Rückleitung in geringem Abstände einander parallel (z. B. in Kabeln), so tritt eine einseitige Hautwirkung auf, die Stromlinien drängen sich auf den einander zugekehrten Seiten der beiden Querschnitte zusammen (M i e , G.: Ann. d. Phys. (4) Bd. 2, S. 201, 1900).

Nach J. R. C a r s o n (Phil. Mag. Bd. 41, S. 607, 1921) läßt sich der Einfluß des benachbarten Rückleiters auf den Wirkwiderstand durch einen Korrektionsfaktor C berücksichtigen, der wie folgt zu berechnen ist.

Es sei r der Radius der beiden parallelen Leiter, d der Abstand ihrer Achsen, $y = r/d$. Ferner seien x und R die vorher erklärten Größen; also R der Wirkwiderstand eines Leiters mit konzentrischer oder weit entfernter Rückleitung, und CR der Wirkwiderstand eines Leiters der Doppelleitung von geringer Schleifenbreite. $s = (1 - \sqrt{1 - 4y^2})/2y^2$ sei eine Hilfsgröße. Dann ergibt sich nach Carson, daß der Korrektionsfaktor sich mit wachsendem x (d. h. mit zunehmender Frequenz) asymptotisch einen Höchstwert

$$C_m = \frac{1 + y^2 s^2}{1 - y^2 s^2}$$

nähert. Dieser beträgt hiernach

für $y =$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
$C_m =$	1,020	1,050	1,092	1,155	1,25	1,40	1,67

In allen Fällen wächst die Wirbelstromwärme (der effektive Widerstand) zunächst — bei geringer Frequenz — proportional dem Quadrat der Frequenz; dann langsamer; zuletzt nur proportional der Quadratwurzel aus der Frequenz.

Die Stromverdrängung hat neben der Erhöhung des Widerstandes auch eine Verringerung der Induktivität zur Folge (Formeln bei J a h n k e u. E m d e : a.a. O. S. 142 ff.); um diese Wirkung der Wirbelströme zu vermeiden, müssen Normalrollen für Selbstinduktion aus sehr dünnem Draht oder aus feindrähtigen Litzen hergestellt werden.

Für Leitungen aus Eisen sind die vorstehenden Formeln nicht anwendbar, weil die Permeabilität von der Stromstärke abhängt. Eingehende Versuche über die Widerstandserhöhung von Eisenleitungen bei Wechselstrom sind auf Veranlassung des Verbandes Deutscher Elektrotechniker ausgeführt und in seinen „Ausnahmebestimmungen während des Krieges“ (4. Aufl. 1917) ab-

gedruckt worden (s. auch ETZ 1914, S. 1109; 1915, S. 44). Hiernach steigt das Widerstandsverhältnis R/R_0 mit zunehmender Stromdichte bis auf ein Maximum an, das für 3 bis 6 mm dicke Drähte bei 0,5 bis 1 A/mm² erreicht wird, um dann wieder abzunehmen. Der größte Widerstandszuwachs beträgt je nach der Drahtstärke 50 bis 150% und hängt bei Litzendrähten (Seilen) auch von der Art der Verseilung ab. Ferner wurde die Stromverdrängung in Eisen-drähten von G. Hilpert und H. Schleicher (Arch. f. Elektrot. Bd. 7, S. 144, 1918), L. Truxa (ebenda, Bd. 8, 1919, S. 137; Bd. 12, S. 354, 1923) und K. Zickler (Elektrot. u. Masch., Wien 1919, S. 449 und 1920, S. 165) untersucht.

Über die Wirbelströme im Bleimantel von Starkstromkabeln vgl. Allen, Electrician Bd. 89, S. 504, 1922.

(121a) Einfachleitung mit Rückleitung durch die Erde; Erdkabel; Seekabel. Bei Gleichstrom ist der Widerstand der Rückleitung gleich dem Übergangswiderstand der Erdelektroden (68,2); die Induktivität ist nach (109, 11) zu berechnen. Bei Wechselstrom drängen sich die Rückströme mit zunehmender Frequenz mehr und mehr in die Nähe der Hinleitung, was mit einer Widerstandserhöhung und mit einer Abnahme der Induktivität verbunden ist. Nach Berechnungen von F. Pollaczek (Elektrische Nachrichten-Technik Bd. 3, S. 339; 1926) beträgt der Widerstand der Rückleitung

$$R_r = \omega \left[\frac{\pi}{2} - \frac{4\sqrt{2}}{3} kd + k^2 d^2 \left(\frac{5}{4} - \log \text{nat } \gamma kd \right) \right] \cdot 10^{-4} \frac{\text{Ohm}}{\text{km}} \quad (1)$$

Der Beitrag des äußern (d. h. außerhalb der Hinleitung liegenden) Magnetfeldes zur Induktivität ist

$$L_a = \left[2 \log \text{nat } \frac{2}{\gamma ka} + 1 + \frac{8dk}{3\sqrt{2}} \right] \cdot 10^{-4} \frac{\text{Henry}}{\text{km}} \quad (2)$$

Hierin ist a der Radius der Hinleitung, d ihr Abstand vom Erdboden in cm, $\gamma = 1,7811$, $k = \sqrt{4\pi\omega\rho}$; ω ist die Kreisfrequenz, ρ der spezifische Widerstand der Erde (oder des Wassers) in absol. elektromagn. Einheiten ($\rho = 10^{11}$ für Seewasser, 10^{13} für Grundwasser oder nassen Boden, 10^{15} für trockenen Boden).

Die vorstehenden Formeln gelten solange $kd < 0,25$, d. h. für niedere Frequenz.

Für hohe Frequenz, für die $kd > 1,75$ ist, gilt dagegen

$$R_r = \omega \left[\frac{\sqrt{2}}{kd} - \frac{1}{k^2 d^2} + \frac{\sqrt{2}}{4k^3 d^3} \right] \cdot 10^{-4} \frac{\text{Ohm}}{\text{km}} \quad (3)$$

$$L_a = \left[2 \log \text{nat } \frac{2d}{a} + \frac{\sqrt{2}}{kd} - \frac{\sqrt{2}}{4k^3 d^3} \right] \cdot 10^{-4} \frac{\text{Henry}}{\text{km}} \quad (4)$$

Die Formeln (1) und (2) gelten mit $d = 0$ auch für ein unbewehrtes Erdkabel oder Seekabel, sofern man den Radius a des Innenleiters durch den äußeren Radius b der Isolierschicht ersetzt und in der Formel für L_a in der Klammer noch den Beitrag $2 \log \text{nat } \frac{b}{a}$ des Magnetfeldes in der Isolierschicht hinzufügt. Geltungsbereich: $kb < 0,2$.

Den Einfluß der Bewehrungsdrähte auf den Scheinwiderstand von Erd- und Seekabeln haben J. R. Carson und J. J. Gilbert, sowie F. Pollaczek berechnet. Nach letzterem läßt sich der Scheinwiderstand eines bewehrten Kabels nach Abb. 31 mit praktisch vollkommen

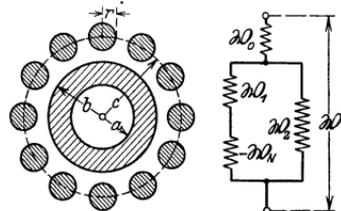


Abb. 31. Scheinwiderstand der Rückleitung eines bewehrten Erd- oder Seekabels.

ausreichender Genauigkeit durch eine Serien-Parallelschaltung der von den verschiedenen Teilen des Querschnitts herrührenden Anteile darstellen:

$$\mathfrak{W} = \mathfrak{W}_0 + \frac{1}{\frac{1}{\mathfrak{W}_1 - \mathfrak{W}_N} + \frac{1}{\mathfrak{W}_2}} \cdot \dots \dots \dots (5)$$

Es bedeutet in

$$\mathfrak{W}_0 = \mathfrak{W}_h + 2i\omega \log \text{nat} \frac{c}{a} \dots \dots \dots (5a)$$

das erste Glied \mathfrak{W}_h den Scheinwiderstand der Hinleitung, das zweite Glied den Beitrag des in dem Hohlzylinder mit den Radien a und c enthaltenen Magnetfeldes zum induktiven Widerstand.

$$\mathfrak{W}_1 = \frac{1}{N} 2i\omega \mu_1 \frac{J_0(k_1 r \sqrt{-i})}{k_1 r \sqrt{i} J_0'(k_1 r \sqrt{-i})} \dots \dots \dots (5b)$$

ist der Scheinwiderstand der N parallelgeschalteten Bewehrungsdrähte mit dem Radius r , der Permeabilität μ_1 und dem spezifischen Widerstand ρ_1 (für Eisen z. B. $\rho_1 = 1 \cdot 10^4$ bis $2 \cdot 10^4$). J_0 bedeutet die Besselsche Funktion erster Art und nullter Ordnung; J_0' ihre erste Ableitung.

$$k_1 = \sqrt{4\pi\omega\mu_1/\rho_1} \cdot \\ - \mathfrak{W}_N = -2i\omega \cdot \frac{1}{N} \log \text{nat} \frac{Nr}{c} \dots \dots \dots (5c)$$

ist ein Abzug, der der gegenseitigen Beeinflussung der N Eisendrähte Rechnung trägt.

$$\mathfrak{W}_2 = 2i\omega \left(\log \text{nat} \frac{2}{\gamma ck} - \frac{i\pi}{4} \right) \dots \dots \dots (5d)$$

ist der Beitrag der Erde, bzw. des Seewassers außerhalb des Radius c zum Scheinwiderstand; γ und k wie bei Gl. (1).

\mathfrak{W} ist in absoluten Einheiten für 1 cm Leitungslänge ausgedrückt; durch Multiplizieren mit 10^{-4} erhält man Ohm/km.

Literatur: Oldenberg, O.: Arch. f. Elektrot. Bd. 9, S. 289; 1920. — Carson, J. R. u. Gilbert, J. J.: Journ. of the Franklin Inst. (Philadelphia) Bd. 192, S. 705; 1921. — Pollaczek, F.: Elektr. Nachr.-Technik, Bd. 3, S. 339; 1926.

(122) Wirkwiderstand im allgemeinen Sinne. Der im vorhergehenden (119 bis 121) verwendete Begriff des effektiven Widerstandes oder Wirkwiderstandes R eines Leiters für Wechselstrom von bestimmter Frequenz ist diejenige Größe, die mit dem Quadrat des Gesamtstromes multipliziert die gesamte Joulesche Stromwärme ergibt. Ein Gleichstrom verteilt sich so über den Querschnitt des Leiters, daß die Stromwärme möglichst klein wird; daher ist R stets größer als der Gleichstromwiderstand R_0 .

Der Begriff des Wirkwiderstandes läßt sich noch weiter ausdehnen. Wenn z. B. Wechselstrom in einer Spule mit Eisenkern fließt, so daß außer in der Wicklung auch in dem Eisenkern elektromagnetische Energie nichtumkehrbar in Wärme verwandelt wird (durch Wirbelströme und Hysterese), so nennt man **Wirkwiderstand der Spule** diejenige Größe R , die mit dem Quadrat des Stromes multipliziert, den gesamten vom Strome unmittelbar oder mittelbar (durch Vermittlung seines Magnetfeldes) hervorgerufenen Wärmeeffekt ergibt. Ganz allgemein kann man den Wirkwiderstand R eines Stromzweiges durch die Gleichung

$$N = RI^2$$

bestimmen; darin ist I die Stromstärke, N die durch den Strom I dem Zweige zugeführte Leistung; dabei ist wesentlich, daß in dem Zweig keine fremde d. i. vom Strom unabhängige EMK wirkt.

(123) **Krarupleiter.** Nach dem Vorschlag von Krarup¹⁾ kann man die Induktivität von Leitungen (z. B. zum Telegraphieren und Fernsprechen) dadurch erhöhen, daß man den Leitungsdraht mit dünnem Draht oder Band aus Eisen oder einer ferromagnetischen Legierung umwickelt. In der magnetischen Hülle entstehen Wirbelströme; außerdem tritt Hysterese auf. Die Wirbelströme bewirken einen mit der Frequenz steigenden Zuwachs ΔR des Wirkwiderstandes, ferner eine Abnahme der Induktivität L . Die Hysterese hat zur Folge, daß Induktivität und Wirkwiderstand mit der Stromstärke im Leiter zunehmen. Bei den hier in Betracht kommenden schwachen Feldern läßt sich der Einfluß der Hysterese mittels eines Ansatzes von Lord Rayleigh nach H. Jordan und U. Meyer berechnen; die Berücksichtigung der Wirbelströme erfolgt nach Formeln, die H. Salinger und U. Meyer entwickelt haben; endlich ist noch die Schraubenstruktur der Krarupbewicklung nach U. Meyer und K. W. Wagner in Betracht zu ziehen.

Aus dem Radius r des Leiters, der Breite b des Eisenbandes und dem Luftspalt s zwischen benachbarten Windungen bestimme man zunächst den Steigungswinkel φ der Krarupwicklung

$$\operatorname{tg} \varphi = 2\pi r / (b + s)$$

Aus φ , Banddicke d und Anfangspermeabilität μ_0 des Bandes ergibt sich die Anfangsinduktivität L_0 bei verschwindender Stromstärke und Frequenz

$$L_0 = \frac{2\mu_0 d \sin^2 \varphi}{\sqrt{r(r+d)}} \cdot 10^{-4} \frac{\text{Henry}}{\text{km}}$$

Alle Längen sind in cm einzusetzen.

Dann berechne man aus den angegebenen Größen und dem spezifischen Widerstand ρ des Bandes (in absol. elektromagn. Einheiten; für Eisen $\rho = 1,2 \cdot 10^4$) die Hilfsgrößen

$$k = d \sqrt{2\pi\mu_0 \sin \varphi / \rho}$$

$$g_0 = \left(1 - 0,63 \frac{d}{b}\right) \frac{k^2}{6 \sin \varphi}, \quad g_1 = \frac{1}{30} k^4,$$

welche den Einfluß der Wirbelströme bestimmen.

Den Einfluß der Hysterese kennzeichnet eine Zahl α , die die Feldabhängigkeit der Permeabilität in schwachen Feldern darstellt

$$\mu = \mu_0 (1 + \alpha \mathfrak{H})$$

und in der Rayleigh-Jordanschen Theorie zugleich die Hysteresisverluste bestimmt. Statt der magnetischen Feldstärke \mathfrak{H} werde der ihr proportionale Strom I im Leiter eingeführt

$$\mathfrak{H} = \frac{0,4I}{2r+d} = hI, \quad I \text{ in Ampere.}$$

Dann wird die Stromabhängigkeit der Induktivität (bei der Frequenz null) durch die Formel

$$L_{0I} = L_0 (1 + \alpha h I)$$

ausgedrückt. Unter Berücksichtigung von Hysterese und Wirbelströmen ergibt sich schließlich für die Kreisfrequenz ω

$$L = L_0 (1 - \omega^2 g_1) \left[1 + \left(1 - \frac{8\omega g_0}{3\pi}\right) \alpha h I \right] \frac{\text{Henry}}{\text{km}}$$

$$\Delta R = g_0 \omega^2 L_0 \left(1 - \frac{17}{14} \omega^2 g_1\right) \left[1 + \left(1 + \frac{2}{3\pi\omega g_0}\right) 2\alpha h I \right] \frac{\text{Ohm}}{\text{km}}$$

¹⁾ ETZ 1902, S. 344; vgl. ferner das Engl. Pat. Nr. 27 265 v. J. 1903 von O. Lodge und A. R. Hardie.

Zu diesen beiden Ausdrücken ist noch ein Füllfaktor hinzuzufügen, der für Drahtbewicklung $b/(b+s)$, für Drahtbewicklung $\pi/4$ beträgt; in dem letzten Falle ist $b = d =$ Drahtdicke zu setzen.

Die Formeln gelten für Einfachleiter; für Doppelleitungen sind L und $\mathcal{A}R$ zu verdoppeln.

Literatur: Lord Rayleigh: Phil. Mag. 1887, S. 225. — Jordan, H.: „Elektr. Nachr.-Technik“ Bd. 1, S. 7; 1924. — Meyer, U.: ebenda, S. 152 u. 169. — Wagner, K. W.: ebenda, S. 157.

Energiebeziehungen im elektromagnetischen Felde; mechanische Kräfte.

(124) **Energiebeziehungen im Felde linearer Ströme**¹⁾. Das Energiegesetz nimmt hier die Form an (wenn man die Änderungen der elektrischen Energie vernachlässigt)

$$\bar{d}A + \Psi dt = -dW_m$$

$\bar{d}A$ = Arbeit, die die mechanischen Kräfte elektromagnetischen Ursprungs bei einer unendlich kleinen Verschiebung und Gestaltsänderung der Stromkreise oder bei der Bewegung der Eisenmassen leisten.

$\Psi dt = \sum_{\alpha} I_{\alpha}^2 R_{\alpha} - E_{\alpha} I_{\alpha}$, die Zunahme der nichtelektromagnetischen Energie [Joulesche Wärme + chemische Energie usw., (63) und (65)].

$-dW_m$ = Abnahme der magnetischen Energie (108) $dW_m = \partial_I W_m + \partial_B W_m$.

$\partial_I W_m$ = Teilzunahme von W_m bei festgehaltener Lage der Stromkreise wegen der Änderung der Ströme.

$\partial_B W_m$ = Teilzunahme von W_m bei konstanten Strömen wegen der Bewegung.

Grundgesetz. Es ist²⁾ $\bar{d}A = +\partial_B W_m$.

Mechanische Arbeit = Teilzunahme der magnetischen Energie wegen der Lagenänderung bei konstant gedachten Strömen (auch wenn sich die Ströme bei der Bewegung tatsächlich ändern).

Beispiel. Für zwei Stromkreise ist

$$\begin{aligned} W_m &= \frac{1}{2} L_1 I_1^2 + M_{12} I_1 I_2 + \frac{1}{2} L_2 I_2^2 \\ \partial_B W_m &= \frac{1}{2} I_1^2 dL_1 + I_1 I_2 dM_{12} + \frac{1}{2} I_2^2 dL_2 \\ \partial_I W_m &= (L_1 I_1 + M_{12} I_2) dI_1 + (L_2 I_2 + M_{12} I_1) dI_2 \end{aligned}$$

(125) **Die mechanischen Kräfte** können oft einfach aus der Arbeit $\bar{d}A$ (124) bei einer virtuellen Verückung der betreffenden Körper ermittelt werden. Manchmal sind sie aber auch bequem unmittelbar zu berechnen.

a) Als Raumkräfte. Ist \mathfrak{B} die Induktion, \mathfrak{H} die magnetische Feldstärke, μ die Permeabilität, c die Stromdichte im Raumteil dV , so wird die Kraft

$$\mathfrak{R} = \int dV \left\{ [c \mathfrak{B}] - \frac{1}{8\pi} \mathfrak{H}^2 \text{grad } \mu \right\}$$

$[c \mathfrak{B}]$ ist die Kraft auf einen homogenen Stromleiter; für einen vom Strom I Ampere durchflossenen und zum Magnetfeld senkrecht stehenden linearen Leiter von l cm Länge wird z. B. $\mathfrak{R} = 0,1 \mathfrak{B} I l$ dyn $\approx \mathfrak{B} I l \cdot 10^{-4}$ g*. \mathfrak{R} steht auf der Strom- und der Feldrichtung senkrecht. Das Glied $\mathfrak{H}^2 \text{grad } \mu / 8\pi$ ist die Kraft auf Eisen; sie sucht es so zu stellen, daß der Induktionsfluß möglichst groß wird.

Wenn μ von \mathfrak{H} abhängt, so lautet dieses Glied¹⁾ $-\frac{1}{4\pi} \int_0^{\mathfrak{H}} (\mathfrak{H} d\mathfrak{H}) \text{grad } \mu$.

b) Als Flächenkräfte, ebenso wie in (57, b). Der Betrag von \mathfrak{Z} (s. 57, b) ist hier $\mu \mathfrak{H}^2 / 8\pi$; der Winkel zwischen der Flächennormalen und \mathfrak{Z} wird durch \mathfrak{Z}

¹⁾ Über die Anwendung dieser Beziehungen bei der Berechnung der Elektromagnete siehe E m d e, F.: Elektrot. und Maschinenbau, 1906, S. 945; ETZ 1908, S. 817.

²⁾ Streng genommen nur, wenn μ konstant ist, d. h. im eisenfreien Felde; vgl. C o h n, E.: Das elektromagn. Feld, 1. Aufl. (Leipzig 1900), S. 524 bis 526.

halbiert. Wendet man diese Darstellung auf ein Stück weiches Eisen an, so ergibt sich, daß jedes Oberflächenelement df einen senkrecht nach außen gerichteten Zug von der Stärke

$$df \left\{ \frac{\mathfrak{B}_n^2}{8\pi} \frac{\mu-1}{\mu} + \frac{\mathfrak{S}_t^2}{8\pi} (\mu-1) \right\} = df \frac{\mu-1}{8\pi} \mathfrak{S}_{\text{Eisen}} \mathfrak{S}_{\text{Luft}} = - \frac{df}{8\pi} \mathfrak{S}_{\text{Eisen}} \mathfrak{S}_{\text{Luft}} \cdot \text{Grad } \mu$$

erfährt²⁾. \mathfrak{B}_n = Normalkomponente der Induktion. \mathfrak{S}_t = Tangentialkomponente der Feldstärke an der Oberfläche. Die häufig gebrauchte Näherungsformel $df \cdot \mathfrak{B}^2/8\pi$ ist also nur richtig, wenn μ groß ist und \mathfrak{S} auf der Oberfläche genau senkrecht steht; schon eine verhältnismäßig kleine Komponente \mathfrak{S}_t verursacht bei großem μ einen erheblichen Fehler der Näherungsformel³⁾.

Sonderfall: Zur Berechnung der Kräfte, die stromdurchflossene Leiter in der Nähe von Eisenkörpern erfahren (z. B. Ankerstäbe in Nuten, Wicklungsköpfe von Dynamomaschinen, Transformatorwicklungen u. dgl.) hat B. Hague in „World Power“ (London, Bd. 5, S. 124, 205; 1926) ein einfaches Berechnungsverfahren angegeben, das auf dem Grundsatz der Spiegelung beruht.

(126) Der Energiestrom. Ist (56, 108)

$$W = \frac{1}{8\pi c^2} \int_V dV \varepsilon \mathfrak{E}^2 + \frac{1}{8\pi} \int_V dV \mu \mathfrak{S}^2$$

die gesamte in einem Raum V enthaltene elektromagnetische Energie, $Q = \int \rho c^2 dV$ die daselbst in der Sekunde entwickelte Joulesche Wärme (63), so ist die Abnahme der elektromagnetischen Energie $-\partial W/\partial t$ gleich der erzeugten Jouleschen Wärme, vermehrt um den durch die Oberfläche F des Raumes V austretenden elektromagnetischen Energiestrom $\int_F df \mathfrak{E}_n$:

$$-\frac{\partial W}{\partial t} = Q + \int_F df \mathfrak{E}_n$$

Es findet nämlich im elektromagnetischen Felde eine Energieströmung von der Dichte

$$\mathfrak{E} = \frac{[\mathfrak{E}, \mathfrak{S}]}{4\pi}$$

statt. Ihr Betrag ist gleich dem $\frac{1}{4\pi}$ fachen Inhalt des aus \mathfrak{E} und \mathfrak{S} konstruierten

Parallelogramms; ihre Richtung steht auf der elektrischen und magnetischen Feldstärke senkrecht. Wendet man diesen Satz z. B. auf eine elektrische Kraftübertragung an, so findet man, daß der Energiestrom im wesentlichen in dem Luftraum zwischen Hin- und Rückleitung (beim Kabel im Dielektrikum), und zwar parallel zu den Drahtachsen verläuft; nur ein geringer Teil des Energiestroms biegt seitlich ab und wandert in die Drähte hinein, um den Energieverlust durch Joulesche Wärme zu decken. Bei Dynamomaschinen beginnt der elektromagnetische Energiestrom auf der Ankeroberfläche und fließt dann zwischen den Drähten über den Kollektor nach dem Netze; vgl. E m d e: Elektrot. u. Maschb. (Wien) 1909, Heft 40.

(127) Elektromagnetische Wellen. Wenn sich in einem begrenzten Gebiete V die elektrische Feldstärke \mathfrak{E} oder die magnetische Feldstärke \mathfrak{S} ändert, so wird auch

¹⁾ C o h n, E.: Das elektromagnetische Feld (Leipzig 1900), S. 517; derselbe, ZS. f. Phys. 1923, Bd. 13, S. 48.

²⁾ E m d e, F.: Elektrot. und Maschinenbau (Wien) 1906, S. 976, Fußnote; ebenda, 1910, S. 35; 1916, Heft 12 u. 13; Elektr. Kraftb. u. Bahnen, 1910, Heft 27. — K a u f m a n n, W.: Muller-Pouillet's Lehrbuch d. Phys., 10. Aufl., Bd. 4, Abt. 1, S. 87. Braunschweig 1908.

³⁾ Vgl. hierzu die Dissertationen von E u l e r, K.: Untersuchung eines Zugmagneten fur Gleichstrom, Berlin 1911, und die Besprechung hierüber in der ETZ 1911, S. 1269, und von K a l i s c h, P.: Beiträge zur Berechnung der Zugkraft von Elektromagneten, Breslau 1913, auch Archiv f. Elektrot. 1913, Bd. 1, S. 394, 458, 476. Ferner: E m d e, F.: Auszüge aus J. C. M a x w e l l s Elektrizität u. Magnetismus, Braunschweig 1915, S. 121 ff.

die Umgebung dieses Störungsgebietes nach und nach in Mitleidenschaft gezogen. t Sek. nach einer Feldänderung in V hat sich ein elektromagnetisches Feld außerhalb von V in einem Raum V_1 ausgebildet. Ist der Raum um V homogen und isotrop, so enthält V_1 alle Punkte, deren Entfernung von irgendeinem Punkte in V den Wert

$$s = vt \text{ cm} \left(v = 3 \cdot 10^{10} / \sqrt{\epsilon \mu} \frac{\text{cm}}{\text{s}} \right)$$

nicht überschreitet¹⁾. Die Grenze des Raumes V_1 ist die Fläche, die sämtliche Kugeln vom Radius s cm umhüllt, deren Mittelpunkte auf der Oberfläche von V liegen. V_1 wird also mit der Zeit immer größer und nähert sich mehr und mehr einer Kugel vom Radius vt , deren Mittelpunkt im Raum V liegt.

Daraus ergibt sich: Wenn die Feldstärken in V periodisch schwanken, so bildet sich eine mit der Geschwindigkeit v von V weggehende elektromagnetische Welle aus, die in größerer Entfernung von ihrem Ursprung mehr und mehr in eine Kugelwelle übergeht. In der Kugelwelle steht die elektrische und die magnetische Feldstärke überall auf dem Radius senkrecht; der Energiestrom \mathfrak{S} (126) ist radial nach außen gerichtet.

Der Vorgang der Wellenausbreitung läßt sich durch die Anwendung des Induktionsgesetzes (112) und des Gesetzes vom magnetischen Kreis (103) in einfacher Weise erklären (Wagner, K. W.: ETZ 1913, S. 1053).

Die elektromagnetischen Wellen wurden von H. Hertz zuerst experimentell nachgewiesen (1887), nachdem lange vorher Maxwell aus den Gesetzen des elektromagnetischen Feldes ihr Dasein erschlossen hatte. Maxwell hat auch zuerst erkannt, daß Wärme- und Lichtstrahlen elektromagnetische Wellenstrahlen von sehr kurzer Periodendauer (kleiner Wellenlänge) sind.

Die kürzesten bekannten elektromagnetischen Wellen sind die Röntgenstrahlen, die γ -Strahlen radioaktiver Elemente, sowie die durchdringende Höhenstrahlung, die vielleicht bei der Bildung oder beim Zerfall von chemischen Elementen in Himmelskörpern entsteht. Sie geben Kunde von den Störungen, die das elektromagnetische Feld im Innern des Atoms erfährt, wenn dieses entweder durch ein aufprallendes Elektron von hoher Geschwindigkeit (einen Kathodenstrahl) oder durch die explosionsartige Lösung eines Elektrons aus dem Atomverband heftig erschüttert wird. (Vgl. Sommerfeld, A.: Atombau u. Spektrallinien, 3. Aufl., Braunschweig 1923).

Die allseitige Ausbreitung elektromagnetischer Störungen in einem homogenen Raume wird beeinträchtigt, wenn man in diesen Raum Leiter hineinbringt; die Wellen gleiten in diesem Falle vorzugsweise an den Leitern entlang. So wirkt die leitende Erdoberfläche als Führung für die Wellen der drahtlosen Telegraphie. Die Führung ist um so vollkommener, je besser der führende Körper leitet; an Metalldrähten (Leitungen, Kabeln) geschieht deshalb die Wellenausbreitung im wesentlichen nur in Richtung der Drahtachse (146).

(128) Werte einiger Wellenlängen (in Luft).

Benennung der Erscheinung	Frequenz	Wellenlänge
Technischer Wechselstrom	50	6000 km
Sprachströme von	300	1000 km
bis	5000	60 km
im Mittel	800	375 km
Hochfrequenztelephonie auf Drähten		
von	6700	45 km
bis	50000	6 km

¹⁾ Birkeland; Archives de Genève, 1895, Bd. 34, S. 1; Cohn, E.: Das elektromagn. Feld. S. 412.

Benennung der Erscheinung	Frequenz	Wellenlänge
Funktelegraphie von	13 000	23 000 m
bis	2 · 10 ⁷	15 m
Hertzsche Wellen, 1888	5 · 10 ⁸	60 cm
Schnellste elektrische Schwingungen		
Tear und Nichols, 1923.	1,2 · 10 ¹²	0,025 cm
Längste bekannte Wärmestrahlen		
Quarzquecksilberlampe (Rubens		
und von Baeyer, 1911)	rd. 10 ¹²	im Mittel 0,0313 cm
Auerstrumpf (Rubens und Holl-		
nagel, 1910)	3 · 10 ¹²	0,01 cm
Rotes Licht	4 · 10 ¹⁴	7,5 · 10 ⁻⁵ cm
Violettes Licht	8 · 10 ¹⁴	3,8 · 10 ⁻⁵ cm
Kürzeste bekannte ultraviolette		
Strahlen (Millikan)	2,2 · 10 ¹⁶	1,4 · 10 ⁻⁶ cm
Röntgenstrahlen:		
Weichste in Röntgenröhren er-		
zeugte Strahlung	1,5 · 10 ¹⁷	20 · 10 ⁻⁸ cm
Technische Röntgen- von	3 · 10 ¹⁸	1 · 10 ⁻⁸ cm
strahlung bis	5 · 10 ¹⁹	0,06 · 10 ⁻⁸ cm
Härteste bekannte Eigenstrahlung		
(K-Serie, α_1 -Linie des Urans) .	2,7 · 10 ¹⁹	0,11 · 10 ⁻⁸ cm
γ -Strahlen des Radiums und Meso-		
thoriums (Compton 1921)	1 · 10 ²⁰	0,03 · 10 ⁻⁸ cm
Durchdringende Höhenstrahlung } (Hess, Kolhörster), geschätzt }	1,5 · 10 ²¹ bis 1,5 · 10 ²²	2 · 10 ⁻¹¹ bis 2 · 10 ⁻¹² cm }

Lehrbücher der Theorie des elektromagnetischen Feldes.
 Maxwell, J. C.: Treatise on electricity and magnetism, 2 vol., Oxford 1873; deutsch von Weinstein, Berlin 1883. — Mascart, E. u. Joubert, J.: Leçons sur l'électricité et le magnétisme, 2 vol., Paris 1882. — Poincaré, H.: Electricité et optique, Paris 1890. — Vaschy, A.: Traité d'Electricité et de Magnétisme, 2 vol., Paris 1890. — Heaviside, O.: Electrical papers, 2 vol., London 1892. — Derselbe: Electromagnetic theory, 3 vol., London 1893, 1899, 1912. — Thomson, J. J.: Notes on recent researches in electricity and magnetism, Oxford 1893. — Cohn, E.: Das elektromagnetische Feld, Leipzig 1900, Berlin 1927. — Abraham-Fopp: Theorie der Elektrizität, Bd. 1, Leipzig 1894, 1904, 1907, 1912, 1918. — Emde, F.: Auszüge aus J. C. Maxwell's Elektrizität und Magnetismus, Braunschweig 1915. — Planck, M.: Einf. i. d. Theorie d. Elektrizität u. d. Magnetismus, Leipzig 1922.

Elementare: Zenneck, J.: Elektromagnetische Schwingungen und drahtlose Telegraphie, Stuttgart 1905. — Kaufmann, W.: Bd. 4, Abt. 1 von Muller-Pouille's Lehrbuch der Physik, 10. Aufl., Braunschweig 1909. — Mie, G.: Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus, Stuttgart 1910.

Veränderliche Ströme.

(129) Wechselströme. Über die Berechnung der Stärke, der Spannung und Leistung von Strömen wechselnder Stärke oder Richtung lauten die „Bestimmungen zur Ausführung des Gesetzes, betr. die elektrischen Maßeinheiten“ folgendermaßen:

a) Als wirksame (effektive) Stromstärke — oder, wenn nichts anderes festgesetzt ist, als Stromstärke schlechthin — gilt die Quadratwurzel aus dem zeitlichen Mittelwerte der Quadrate der Augenblicksstromstärken;

b) als mittlere Stromstärke gilt der ohne Rücksicht auf die Richtung gebildete zeitliche Mittelwert der Augenblicksstromstärken;

c) als elektrolytische Stromstärke gilt der mit Rücksicht auf die Richtung gebildete zeitliche Mittelwert der Augenblicksstromstärken;

d) als Scheitelstromstärke periodisch veränderlicher Ströme gilt deren größter Augenblickswert;

e) die unter a) bis d) für die Stromstärke festgesetzten Bezeichnungen und Berechnungen gelten ebenso für die elektromotorische Kraft oder die Spannung;

f) als Leistung gilt der mit Rücksicht auf das Vorzeichen gebildete zeitliche Mittelwert der Augenblicksleistungen.

Bezeichnet also I die Augenblicksstromstärke, T die Periodendauer, t_0 einen beliebigen festen Zeitpunkt, dt ein Zeitteilchen, so ist die

effektive Stromstärke:	mittlere Stromstärke:	elektrolytische Stromstärke:
$I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} I^2 dt}$	$I_{mittel} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} I dt$	$I_{elektrolyt} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} I dt$

Die effektive Stromstärke ist der von Hitzdraht- und dynamometrischen Instrumenten angezeigte Wert und heißt darum im allgemeinen „Stromstärke“ schlechthin. Sie ist gleich derjenigen Gleichstromstärke, die in den genannten Instrumenten denselben Ausschlag hervorbringen würde wie der Wechselstrom. Die auch zur Messung der effektiven Stromstärke benutzten Ferraris- und Weicheiseninstrumente können nur für eine Frequenz und für eine bestimmte Kurvenform genau geeicht werden; bei fester effektiver Stromstärke ändert sich ihr Ausschlag mit der Frequenz und mit der Kurvenform.

Ist U die Augenblicksspannung, so ist die Leistung des Wechselstromes

$$N = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} U I dt$$

(130) Sinusförmige Ströme. Für viele Fälle genügt es anzunehmen, daß Spannungen und Stromstärken sinusförmig verlaufen. Bei einem sinusförmigen Strom verhalten sich wirksame Stromstärke, mittlere Stromstärke und Scheitelstromstärke wie

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \sqrt{2} : \frac{2}{\pi} : 1 &= 0,707 : 0,637 : 1 \\ &= 1,110 : 1 : 1,570 = 1 : 0,901 : 1,414 \end{aligned}$$

Eine sinusförmige EMK wird dargestellt durch die Gleichung

$$E = E_0 \sin \omega t, \text{ wo zur Abkürzung} \\ \omega = 2\pi f \text{ gesetzt ist.}$$

Darin bedeutet t die veränderliche Zeit, f die Zahl der Perioden in der Sekunde, d. i. die Frequenz, E_0 die Scheitelspannung, ω heißt die Kreisfrequenz.

Besitzt der Strom die Phasenverschiebung φ gegen diese Spannung, so ist er darstellbar in der Form

$$I = I_0 \sin(\omega t + \varphi)$$

Ist φ positiv, so eilt der Strom in der Phase der Spannung voraus, ist φ negativ, so bleibt er um diesen Winkel in der Phase hinter der Spannung zurück.

Die Leistung eines Wechselstroms, dessen Spannung und Stromstärke dargestellt werden durch

$$\begin{aligned} &E_0 \sin \omega t \text{ und } I_0 \sin(\omega t \pm \varphi) \\ \text{beträgt} &\frac{1}{2} E_0 I_0 \cos \varphi - \frac{1}{2} E_0 I_0 \cos(2\omega t \pm \varphi) \end{aligned}$$

also im Mittel

$$N = \frac{1}{2} E_0 I_0 \cos \varphi = E_{eff} \cdot I_{eff} \cdot \cos \varphi$$

$\cos \varphi$ nennt man den Leistungsfaktor.

(131) Wechselströme von beliebiger Kurvenform. In der Regel wird die Form eines Wechselstromes innerhalb einer Periode nicht sinusförmig sein. Ein derartiger Wechselstrom von beliebiger Kurvenform läßt sich stets durch eine Fouriersche Reihe darstellen; diese hat allgemein die Form

$$I = I_0 + I_1 \sin(\omega t + \alpha_1) + I_2 \sin(2\omega t + \alpha_2) + I_3 \sin(3\omega t + \alpha_3) + \dots$$

d. h. der Strom kann angesehen werden als zusammengesetzt aus einer Gleichstromkomponente I_0 und aus Wechselströmen von verschiedenen Periodenzahlen,

die sich wie $1 : 2 : 3 \dots$ verhalten. Diese nennt man auch die harmonischen Komponenten des Wechselstromes; die langsamste Schwingung heißt Grundschwingung, die übrigen heißen die Oberschwingungen. Die Gleichstromkomponente I_0 hat auf den Verlauf der Wechselströme — von gewissen Ausnahmefällen abgesehen — keinen Einfluß und werde daher im folgenden außer Betracht gelassen. Die geradzahigen Komponenten fallen weg, wenn die positiven und negativen Hälften der Kurve spiegelbildlich gleich sind [d. h. wenn $I(t) = -I(t + 1/2 T)$ ist]; bei technischen Wechselströmen trifft dies meistens zu. Der Effektivwert des Stromes ist:

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2} (I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots)}$$

Der Strom I sei von einer EMK E erzeugt von der Gleichung

$$E = E_1 \sin(\omega t + \beta_1) + E_2 \sin(2\omega t + \beta_2) + E_3 \sin(3\omega t + \beta_3) + \dots$$

Dann ist die Leistung

$$N = 1/2 [E_1 I_1 \cos(\alpha_1 - \beta_1) + E_2 I_2 \cos(\alpha_2 - \beta_2) + E_3 I_3 \cos(\alpha_3 - \beta_3) + \dots]$$

Wie man sieht, liefert eine Spannungskomponente nur mit einer Stromkomponente von gleicher Frequenz einen Beitrag zur Leistung. Man setzt $N = k \cdot E_{eff} \cdot I_{eff}$ und nennt k den Leistungsfaktor. Dieser ist kleiner als 1 und kann daher rechnermäßig gleich $\cos \varphi$ gesetzt werden; man nennt dann φ die wirksame Phasenverschiebung. Nur wenn $\alpha_1 = \beta_1, \alpha_2 = \beta_2 \dots$ und $E_1 : I_1 = E_2 : I_2 = \dots$ ist, wird $k = 1$. (Vgl. Orlich, E.: Theorie der Wechselströme, Leipzig 1912, Abschnitt 13 und 16; ferner Fleischmann, L.: El. Nachr. Techn. Bd. 3, S. 445; 1926).

(132) Bestimmung der harmonischen Komponenten eines Wechselstromes.

a) Liegt ein analytischer Ausdruck für die Stromkurve vor, etwa $I = F(t)$, wobei F eine periodische Funktion mit der Periode T sein soll, so wünscht man I in der Form

$$I = F(t) = A_0 + A_1 \cos \omega t + A_2 \cos 2\omega t + \dots \\ + B_1 \sin \omega t + B_2 \sin 2\omega t + \dots$$

darzustellen. Dabei ist $\omega = 2\pi/T$, ferner (vgl. 131)

$$I_k = \sqrt{A_k^2 + B_k^2} \quad \text{tg } \alpha_k = \frac{A_k}{B_k} \quad \text{oder}$$

$$A_k = I_k \sin \alpha_k \quad B_k = I_k \cos \alpha_k$$

Die Koeffizienten A_k und B_k ergeben sich nun wie folgt

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T F(t) dt \\ A_k = \frac{2}{T} \int_0^T F(t) \cos k\omega t dt \quad B_k = \frac{2}{T} \int_0^T F(t) \sin k\omega t dt$$

Besitzt die Kurvenform $F(t)$ gewisse Symmetrien, so lassen sich diese Ausdrücke noch vereinfachen.

b) Ist die Stromkurve empirisch gegeben, etwa als Oszillogramm, so teile man das Periodenintervall in eine Anzahl r gleicher Teile und bestimme die zugehörigen Ordinaten y_λ ($\lambda = 1, 2, \dots, r$); dann ist

$$A_0 = \frac{1}{r} \sum_{\lambda=1}^r y_\lambda \\ A_k = \frac{2}{r} \sum_{\lambda=1}^r y_\lambda \cos k \frac{2\pi\lambda}{r} \quad B_k = \frac{2}{r} \sum_{\lambda=1}^r y_\lambda \sin k \frac{2\pi\lambda}{r}$$

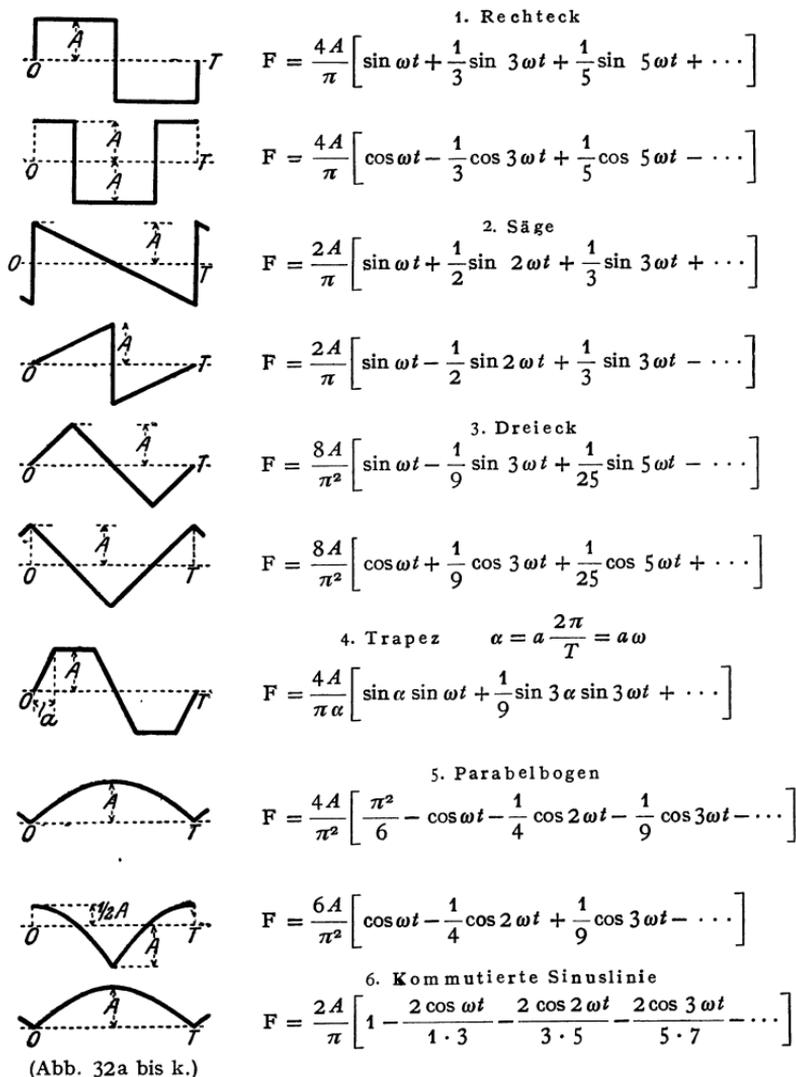
Die Zahl r der Teile muß gleich oder größer sein als $2k+1$.

Ein einfaches Rechenschema zur Bestimmung der ersten zwölf Koeffizienten ($r=24$) ist von C. Runge angegeben worden (ETZ 1905, S. 247). Hat man öfter derartige Berechnungen auszuführen, so bedient man sich zweckmäßig des von C. Runge und F. E m d e herausgegebenen Formulars (zu beziehen von F. Vieweg & Sohn), welches die Rechnungen nebst Probe vollkommen schematisch auszuführen gestattet.

Weitere Verfahren s. (238).

(133) Darstellung verschiedener periodischer Kurven durch Fouriersche Reihen.

(Abb. 32a bis m.)



(Abb. 32a bis k.)

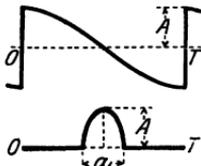


Abb. 321 und m.

7. Kommutierte Cosinuslinie

$$F = \frac{8A}{\pi} \left[\frac{1}{1 \cdot 3} \sin \omega t + \frac{2}{3 \cdot 5} \sin 2\omega t + \frac{3}{5 \cdot 7} \sin 3\omega t + \dots \right]$$

8. Lichtbogenschwingung 2. Art $a = (1-\alpha)T$

$$F = A_0 + A_1 \cos \omega t + A_2 \cos 2\omega t + \dots \quad A_0 = \frac{2(1-\alpha)}{\pi} A$$

$$A_k = \frac{4A}{\pi} \cdot \frac{1-\alpha}{1-4k^2(1-\alpha)^2} \cos \alpha k \pi$$

9. Reihenentwicklungen von Kurven, die sich aus Bögen von Hyperbelfunktionen zusammensetzen, findet man bei Dreyfus, L.: Archivf. Elektrot. 1919, Bd. 7, S. 388.

(134) Polardiagramm der Wechselstromgrößen.

1. Eine EMK oder ein Strom, der sich als Sinusfunktion der Zeit ansehen läßt (130), kann dargestellt werden durch die Projektionen eines Strahles, der sich um seinen Endpunkt dreht. Ist $E = E_0 \sin \omega t$, so bedeutet E_0 die Länge des Strahles, ω die Geschwindigkeit, mit der er sich dreht. Die Drehrichtung und den Strahl, von dem aus der Winkel gerechnet wird, kann man willkürlich festsetzen. Die Internationale Elektrotechnische Kommission hat 1911 festgesetzt: „Bei der graphischen Darstellung periodisch veränderlicher elektrischer oder magnetischer Größen wird die Phasenvoreilung durch die der Uhrzeigerdrehung entgegengesetzte Richtung dargestellt.“ In den folgenden Beispielen ist außerdem angenommen, daß der Anfangsstrahl wagrecht nach rechts liegt. Vgl. Abb. 33. $OD =$ Anfangsstrahl, der Pfeil unter C gibt die Drehrichtung.

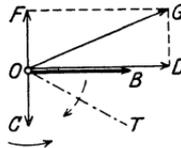


Abb. 33. Selbstinduktivität in Reihe mit einem Widerstand.

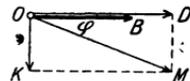


Abb. 34. Kapazität in Reihe mit einem Widerstand.

Noch zweckmäßiger ist es, sich die die EMK und Ströme darstellenden Strahlen als ruhend und eine Zeitlinie als rotierend zu denken mit einer Drehrichtung wie der Uhrzeiger. Die Momentanwerte sind die Projektionen der Strahlen auf diese Zeitlinie. Vgl. Abb. 33, der Strahl T ist die Zeitlinie.

2. Nach vorstehendem kann man jeder sinusförmig veränderlichen Größe (Spannung oder Stromstärke) einen Strahl in der Zeichenebene zuordnen. Die Länge des Strahls gibt die Amplitude der sinusförmig veränderlichen Größe, sein Winkel φ mit dem Anfangsstrahl bestimmt die Phasenverschiebung der betrachteten Größe gegen die dem Anfangsstrahl entsprechende Sinusgröße. Die den sinusförmig veränderlichen Größen zugeordneten Strahlen nennt man ihre **Diagrammvektoren**¹⁾; diese bilden in ihrer Gesamtheit das **Vektordiagramm**.

3. Die EMK der Selbstinduktion ist um 90° hinter der Stromstärke zurück. Bedeutet (Abb. 33) OB den Strom I , OD die Spannung IR , so ist $OC = \omega LI$; OD ist zugleich der Teil der äußeren EMK, der zur Hervorbringung des Stromes I im Widerstande R dient, während $OF = -OC$ der Teil der äußeren EMK ist, der zur Überwindung der Selbstinduktion dient; dieser Teil liegt um 90° vor dem Strome; die gesamte äußere EMK ist demnach $= OG$. Die Beziehungen $\operatorname{tg} \varphi = \omega L/R$ und $I = E/\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$ können aus dem Diagramm abgelesen werden.

3. Die EMK der Selbstinduktion ist um 90° hinter der Stromstärke zurück. Bedeutet (Abb. 33) OB den Strom I , OD die Spannung IR , so ist $OC = \omega LI$; OD ist zugleich der Teil der äußeren EMK, der zur Hervorbringung des Stromes I im Widerstande R dient, während $OF = -OC$ der Teil der äußeren EMK ist, der zur Überwindung der Selbstinduktion dient; dieser Teil liegt um 90° vor dem Strome; die gesamte äußere EMK ist demnach $= OG$. Die Beziehungen $\operatorname{tg} \varphi = \omega L/R$ und $I = E/\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$ können aus dem Diagramm abgelesen werden.

¹⁾ Nicht mit den physikalischen Vektoren (\mathcal{E} , \mathcal{H} , \mathcal{B} u. a.) zu verwechseln, die einen von der Richtung im Raum abhängigen physikalischen Zustand, nicht eine zeitliche Änderung veranschaulichen.

In Abb. 34 ist wieder OB der Strom, OD die Spannung IR , OK die Spannung an einem hinter R geschalteten Kondensator C , nämlich $I/C\omega$; OM ist die gesamte äußere EMK; $\operatorname{tg} \varphi = -1/\omega CR$; ferner

$$I = E / \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

4. Bei Hintereinanderschaltung von Widerstand, Selbstinduktion und Kapazität hat man eine einfache Dreieckskonstruktion; wagrecht nach rechts wird das Produkt des Stromes mit der Summe aller Widerstände aufgetragen, die senkrechte Kathete ist $= I(L\omega - 1/C\omega)$, wobei der positive Wert nach oben gerichtet ist. Die Hypotenuse ist die Gesamtspannung nach Größe und Richtung.

5. Ist zu Widerstand und Selbstinduktion eine Kapazität parallel geschaltet, so wird über der Spannung zwischen den Verzweigungspunkten als Durchmesser OA (Abb. 35) ein Kreis geschlagen. $OB = I_1R$ und $AB = I_1\omega L$ sind die Komponenten der Spannung für den Zweig mit Selbstinduktion und Widerstand; $OI_1 = I_1$ ist die Stromstärke in diesem Zweige. Da der andere Zweig keinen Widerstand enthält, so ist $OA = I_2/\omega C$. Der Ladestrom I_2 für den Kondensator muß dieser Spannung um 90° vorausseilen; also $I_2 = OI_2$; der Gesamtstrom OI setzt sich aus den Komponenten OI_1 und OI_2 zusammen. Verlängert man OI bis zum Schnittpunkte C mit dem Kreise, so ist OC gleich dem Produkt aus I und dem wirksamen Gesamtwiderstand zwischen den Verzweigungspunkten, also $OI \times OC$ der Energieverbrauch.

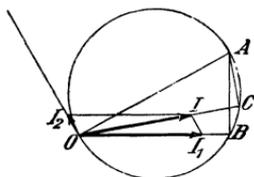


Abb. 35. Drosselspule (Selbstinduktivität mit Widerstand) parallel zu einem Kondensator.

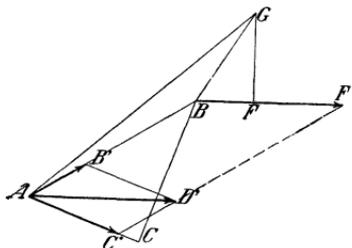


Abb. 36. Mehrfach zusammengesetzter Stromkreis.

6. Hinter eine Stromschleife, von der ein Zweig aus einer Selbstinduktion L_1 und dem Widerstand R_1 , der andere aus einem induktionslosen Widerstand R_2 besteht, sei eine Selbstinduktion L vom Widerstande R geschaltet. Sind i_1 , i_2 , I bzw. die Stromstärken in den drei Zweigen, so zeichne man zunächst ein rechtwinkliges Dreieck ABC (Abb. 36), so daß die Katheten $BC : CA = \omega L_1 : R_1$, dann kann $AC = i_1 R_1$, $BC = \omega L_1 i_1$ gesetzt werden; da AB die Spannung an den Enden der Stromschleife ist, so ist gleichzeitig $AB = i_2 R_2$. Man mache $AB' = AB : R_2 = i_2$ und $AC' = AC : R_1 = i_1$, so ist die Resultante AD' gleich der Stromstärke I in R . Zieht man also BF' parallel und gleich AD' und macht $BF = BF' \cdot R$, und $FG = \omega L \cdot BF'$, so ist BG die Spannung an der Selbstinduktion L und somit AG die Gesamtspannung.

(135) Wirk- und Blindgrößen. Ist U die effektive Spannung zwischen den Enden eines Stromzweiges, I der darin fließende effektive Strom, N die im Zweig verbrauchte Leistung, so nennt man

$R_s = U/I$ den Scheinwiderstand des Zweiges,

$R_w = N/I^2$ den Wirkwiderstand des Zweiges,

$R_b = \sqrt{R_s^2 - R_w^2}$ den Blindwiderstand des Zweiges,

$G_s = I/U$ den Scheinleitwert des Zweiges,

$$\begin{aligned}
 G_w &= N/U^2 \text{ den Wirkleitwert des Zweiges,} \\
 G_b &= \sqrt{G_s^2 - G_w^2} \text{ den Blindleitwert des Zweiges,} \\
 U_w &= N/I \text{ die Wirkspannung am Zweige,} \\
 U_b &= \sqrt{U^2 - U_w^2} \text{ die Blindspannung am Zweige,} \\
 I_w &= N/U \text{ den Wirkstrom im Zweige,} \\
 I_b &= \sqrt{I^2 - I_w^2} \text{ den Blindstrom im Zweige,} \\
 N_s &= UI \text{ die Scheinleistung im Zweige,} \\
 N_b &= \sqrt{(UI)^2 - N^2} \text{ die Blindleistung im Zweige,} \\
 F &= N/UI \text{ den Leistungsfaktor,} \\
 B &= N_b/UI \text{ den Blindfaktor.}
 \end{aligned}$$

Statt Scheinleistung ist neuerdings für Fälle, in denen das Wort Scheinleistung Mißverständnisse verursachen könnte, der Name Richtleistung vorgeschlagen worden.

Die Anwendung dieser Begriffe auf die in (134) betrachteten Beispiele ergibt folgendes.

In Abb. 33 ist OD die Wirkspannung, DG die Blindspannung an der Spule.

In Abb. 34 ist OD die Wirkspannung, DM die Blindspannung.

In Abb. 35 ist OB die Wirkspannung, AB die Blindspannung an der Spule, dagegen OC die Wirkspannung, AC die Blindspannung an der gesamten Anordnung. Man sieht, daß durch das Parallelschalten des Kondensators zur Spule die Blindspannung (und auch die Blindleistung) herabgesetzt wird.

Während die Leistung den Energieverbrauch darstellt, entspricht die Blindleistung einem Hin- und Herpendeln von Energie zwischen dem betrachteten Stromzweig und dem übrigen Teil des Stromkreises. Dieses Pendeln hat man sich so vorzustellen, daß die Energie in den Energiespeichern des Zweiges (als magnetische Energie in den Drosseln, als elektrische Energie in den Kondensatoren, als kinetische Energie in trägen Massen, als potentielle Energie in gespannten Federn usw.) zeitweise aufgespeichert und dann wieder abgegeben wird.

(136) Komplexe Rechnung. Um von der Genauigkeit der Zeichnungen nicht abzuhängen, ist es häufig bequem, das Vektordiagramm in die Sprache der Algebra zu übersetzen. Ein Vektor I von der Amplitude I_0 und dem Phasenwinkel φ kann durch die komplexe Zahl

$$\mathfrak{I} = I_0 e^{i\varphi} = I_0 \cos \varphi + i I_0 \sin \varphi = a + bi$$

ausgedrückt werden, wenn man die Ebene des Vektordiagramms als Gaußsche Zahlenebene auffaßt¹⁾. Für den Übergang von der zweiten Form auf die erste hat man die Formeln

$$I_0 = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \operatorname{tg} \varphi = b/a.$$

Wegen der Ausführung solcher Zahlenrechnungen siehe (3) und (16).

Da der Differentialquotient einer Sinuskurve

$$d/dt [I_0 \sin(\omega t + \varphi)] = I_0 \omega \sin(\omega t + \varphi + \pi/2)$$

einen Vektor bedeutet, der dem Vektor \mathfrak{I} um 90° voreilt, so wird er beim komplexen Rechnen durch die Zahl

$$\omega I_0 e^{i(\varphi + \pi/2)} = i \omega I_0 e^{i\varphi} = i \omega \mathfrak{I}$$

dargestellt. Daraus ergibt sich zum Beispiel:

¹⁾ Man ersieht hieraus, daß das darauf gegründete Rechnungsverfahren ebenso wie das Vektordiagramm nur auf bereits stationär gewordene oder eingeschlungene Wechselstromvorgänge anwendbar ist. Die Drehung des Vektordiagramms läßt sich durch den Faktor $e^{i\omega t}$ zum Ausdruck bringen, der einen Vektor bedeutet, der den Betrag t hat und sich mit der Winkelgeschwindigkeit ω um den Nullpunkt dreht. Man wird das mit Vorteil dort tun, wo Vektoren von verschiedenen ω unterschieden werden sollen.

1. die Spannung \mathfrak{U} an einer Spule vom Widerstand r und der Selbstinduktivität L beim Strom \mathfrak{Z}

$$\mathfrak{U} = (r + i\omega L) \mathfrak{Z} \quad U_0 = I_0 \sqrt{r^2 + \omega^2 L^2} \quad \text{tg}(\mathfrak{U}, \mathfrak{Z}) = \omega L / r$$

$\mathfrak{R} = r + i\omega L$ ist der Widerstandsoperator, $\sqrt{r^2 + \omega^2 L^2} = |\mathfrak{R}|$ der Scheinwiderstand (die Impedanz) der Spule; ωL ist ihr Blindwiderstand.

2. Der Strom \mathfrak{Z} durch eine an der Spannung \mathfrak{U} liegende Parallelschaltung aus der Kapazität C und dem Widerstand r

$$\mathfrak{Z} = \left(\frac{1}{r} + i\omega C \right) \mathfrak{U} \\ I_0 = U_0 \sqrt{r^{-2} + \omega^2 C^2} \quad \text{tg}(\mathfrak{Z}, \mathfrak{U}) = r\omega C$$

$1/i\omega C$ ist der Widerstandsoperator, $i\omega C$ der Leitwertoperator der Kapazität C ; $1/\omega C$ ihr Scheinwiderstand, ωC ihr Scheinleitwert. $(1/r) + i\omega C$ ist der Leitwertoperator der Verbindung r neben C .

3. Der Strom \mathfrak{Z} durch eine Reihe aus dem Widerstand r , der Induktivität L , der Kapazität C bei der Spannung \mathfrak{U} berechnet sich aus

$$\mathfrak{U} = \mathfrak{Z} (r + i\omega L + 1/i\omega C) \\ U_0 = I_0 \sqrt{r^2 + \left(L\omega - \frac{1}{\omega C} \right)^2} \quad \text{tg}(\mathfrak{U}, \mathfrak{Z}) = \frac{L\omega - 1/\omega C}{r}$$

4. Durch fortgesetzte Anwendung dieser Regeln können die Stromverhältnisse in jedem aus Widerständen, Induktivitäten und Kapazitäten beliebig zusammengeschalteten Kreise berechnet werden.

5. Die Leistung des Stromes $\mathfrak{Z} = a + ib$ mit der Spannung $\mathfrak{U} = c + id$ beträgt $N = ac + bd$, die Blindleistung $N_b = |ad - bc|$. Diese Ausdrücke lehren, daß man zur Berechnung der Leistungsgrößen entweder den komplexen Strom \mathfrak{Z} mit der konjugiert komplexen Spannung $k(\mathfrak{U}) = c - id$ multiplizieren muß, oder die komplexe Spannung \mathfrak{U} mit dem konjugiert komplexen Strom $k(\mathfrak{Z})$. Und zwar ist

$$N = \text{Reeller Teil von } \mathfrak{Z} k(\mathfrak{U}) \text{ oder von } \mathfrak{U} k(\mathfrak{Z}) \\ N_b = \text{Betrag des imaginären Teils von } \mathfrak{Z} k(\mathfrak{U}) \text{ oder von } \mathfrak{U} k(\mathfrak{Z})$$

6. Zusammenfassung. Der große Vorteil des komplexen Rechnungsverfahrens ist hiernach, daß jedes auf stationäre Wechselströme bezügliche Problem im wesentlichen auf ein Gleichstromproblem zurückgeführt wird; nur hat man an Stelle der Ohmschen Widerstände oder Leitwerte überall die komplexen Operatoren. Es ist meistens nützlich, für diese zunächst einfache Buchstaben (wie oben \mathfrak{R} , \mathfrak{Z} u. a.) zu setzen, und ihre besondere Bedeutung erst am Ende der Rechnung einzuführen. Erscheint das Schlußergebnis in der Form

$$\mathfrak{Z} = I_0 e^{i\varphi} = \frac{\alpha + \beta i}{\gamma + \delta i}, \text{ so folgt } I_0 = \sqrt{\frac{\alpha^2 + \beta^2}{\gamma^2 + \delta^2}}; \quad \text{tg } \varphi = \frac{\beta\gamma - \alpha\delta}{\alpha\gamma + \beta\delta}.$$

(137) Allgemeine Gleichungen des Wechselstromkreises. Führt man einem beliebig zusammengesetzten Wechselstromkreise an irgendeiner Stelle a bei der Spannung \mathfrak{U}_a den Strom \mathfrak{Z}_a zu und entnimmt dem Kreise an irgendeiner anderen Stelle e bei der Spannung \mathfrak{U}_e den Strom \mathfrak{Z}_e , so bestehen zwischen den Spannungen und Strömen lineare Gleichungen¹⁾, die man in der Form

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{U}_a &= \mathfrak{A}_1 \mathfrak{U}_e + \mathfrak{B} \mathfrak{Z}_e \\ \mathfrak{Z}_a &= \mathfrak{A}_2 \mathfrak{Z}_e + \mathfrak{C} \mathfrak{U}_e \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (1)$$

¹⁾ Franke, A.: ETZ 1891, S. 461.

schreiben kann. Die komplexen Konstanten $\mathfrak{A}_1, \mathfrak{A}_2, \mathfrak{B}, \mathfrak{C}$ sind durch die elektrischen Konstanten des Stromkreises und durch die Betriebsfrequenz bestimmt. Zwischen ihnen besteht ferner die Gleichung

$$\mathfrak{A}_1 \mathfrak{A}_2 - \mathfrak{B} \mathfrak{C} = 1 \dots \dots \dots (2)$$

Vertauscht man die Stromzuführungsstelle mit der Stromabnahmestelle, so kehren sich die Stromrichtungen um, d. h. \mathfrak{I}_a geht in $-\mathfrak{I}_a$, \mathfrak{I}_e in $-\mathfrak{I}_e$ über; die Gleichungen lauten alsdann, nach U_e und \mathfrak{I}_e aufgelöst,

$$\left. \begin{aligned} U_e &= \mathfrak{A}_2 U_a + \mathfrak{B} \mathfrak{I}_a \\ \mathfrak{I}_e &= \mathfrak{A}_1 \mathfrak{I}_a + \mathfrak{C} U_a \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3)$$

Die Konstanten $\mathfrak{A}_1, \mathfrak{A}_2, \mathfrak{B}, \mathfrak{C}$ sind durch einfache Leerlauf- und Kurzschlußmessungen zu bestimmen. Führt man den Strom bei a zu, so wird nach Gl. (1)

$$\text{der Leerlaufwiderstand } (\mathfrak{I}_e = 0) \quad \mathfrak{W}_{1a} = \frac{\mathfrak{A}_1}{\mathfrak{C}}$$

$$\text{der Kurzschlußwiderstand } (U_e = 0) \quad \mathfrak{W}_{2a} = \frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{A}_2}$$

Wird der Strom bei b zugeführt, so ergibt sich aus Gl. (3)

$$\text{der Leerlaufwiderstand } (\mathfrak{I}_a = 0) \quad \mathfrak{W}_{1e} = \frac{\mathfrak{A}_2}{\mathfrak{C}}$$

$$\text{der Kurzschlußwiderstand } (U_a = 0) \quad \mathfrak{W}_{2e} = \frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{A}_1}$$

Eine Probe auf die Richtigkeit der Messung ergibt sich aus der Beziehung

$$\frac{\mathfrak{W}_{1a}}{\mathfrak{W}_{2a}} = \frac{\mathfrak{W}_{1e}}{\mathfrak{W}_{2e}}$$

Hat man die Leerlauf- und Kurzschlußwiderstände gemessen, so kann man unter Zuhilfenahme der Gl. (2) die Konstanten $\mathfrak{A}_1, \mathfrak{A}_2, \mathfrak{B}, \mathfrak{C}$ des Kreises berechnen. (Näheres bei *la Cour*, J. L.: Leerlauf- und Kurzschlußversuch in Theorie und Praxis, Braunschweig 1904.)

Wird der Kreis bei e mit einem Wechselstromwiderstand \mathfrak{R} belastet, so ist die in \mathfrak{R} verbrauchte Leistung dann am größten, wenn \mathfrak{R} dem Betrage nach gleich, der Phase nach entgegengesetzt ist demjenigen Widerstand, den man von e aus mißt, wenn der Generator bei a angeschlossen, aber nicht erregt ist. (*Salinger*, H.: *Telegr. u. Fernsprechtechnik*, 1922, Bd. 11, S. 114, 125. — *Warfvinge*, K. H.: *Arch. f. Elektrot.* 1922, Bd. 11, S. 189.)

Die Strömungsvorgänge in einigen wichtigen Stromkreisen einfacher Art.

(138) **Induktionsspule vom Widerstand R und der Selbstinduktivität L** an einer EMK, die das Zeitgesetz $E = f(t)$ befolgt. Der Strom gehorcht der Differentialgleichung (114):

$$E = f(t) = RI + L \frac{dI}{dt} \dots \dots \dots (1)$$

Wenn zur Zeit $t=0$ der Strom $= I_0$ sein soll, so wird

$$I = \frac{1}{L} \int_0^t e^{-\frac{\vartheta-t}{T}} f(\vartheta) d\vartheta + I_0 e^{-\frac{t}{T}}$$

$T = L/R$ ist die Zeitkonstante der Spule. Schaltet man z. B. eine Spule mit einer Gleichspannung $f(t) = E = \text{const}$ ein ($I_0 = 0$), so folgt durch Ausführung der Integration:

$$I = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \dots \dots \dots (2)$$

Der Strom erreicht also seinen stationären oder Endwert E/R nicht so gleich; es fehlen noch $b\%$ nach der Zeit $T \log \text{nat} (100/b)$, z. B.

zur Zeit $t = T$	$2T$	$3T$	$4T$	$5T$	$6T$
fehlen noch	36,8	13,5	5,0	1,8	0,7
				0,2	

Beim Einschalten einer Wechsel-EMK $E = E_0 \sin(\omega t + \varphi)$ wird

$$I = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \left[\sin(\omega t + \varphi - \psi) - e^{-\frac{t}{T}} \sin(\varphi - \psi) \right] \dots (3)$$

$$\text{tg } \psi = \omega T = \omega L/R$$

Die Stromkurve ist hiernach in der ersten Zeit nach dem Einschalten nicht sinusförmig; erst wenn das zweite Glied unmerklich geworden ist, ergibt sich der stationäre oder eingeschwungene Stromverlauf.

In Spulen mit hochgesättigtem Eisenkern werden die Stromstöße beim Einschalten sehr stark. Hierfür lautet die Differentialgleichung

$$E = E_0 \sin \omega t = RI + \frac{d\Phi}{dt} \dots (4)$$

$\Phi = LI$ bedeutet den mit der Spule verketteten Induktionsfluß. Der Zusammenhang von Φ und I ist durch die Magnetisierungskurve OP_1P_2 (Abb. 37) gegeben; L ist daher keine Konstante mehr. Vernachlässigt man in erster Näherung den Spannungsfall RI , so ist die Lösung von (4) für den Beharrungszustand

$$\Phi = -\Phi_0 \cos \omega t \text{ mit } \Phi_0 = E_0/\omega \dots (5)$$

Zu dem Fluß Φ_0 gehört der normale Magnetisierungsstrom I_0 (Abb. 37). Der durch Gl. (5) beschriebene Beharrungszustand kann sich aber nicht einstellen, wenn man in dem Zeitpunkt einschaltet, in dem E durch Null geht ($t = 0$). Hier müßte $\Phi = -\Phi_0$ sein, wohingegen die Spule noch kein Magnetfeld enthält. Mit der Anfangsbedingung $\Phi = 0$ für $t = 0$ lautet die Lösung der Differentialgleichung:

$$\Phi = \Phi_0(1 - \cos \omega t) \dots (6)$$

Das Feld schwingt also nicht um den Nullwert, sondern um den Wert Φ_0 und erreicht infolgedessen nach einer halben Periode den Maximalwert $\Phi_M = 2\Phi_0$. Zu ihm gehört nach der Magnetisierungskurve (Abb. 37) ein Stromwert I_M , der den normalen Magnetisierungsstrom um ein Vielfaches übersteigt (in der Größenordnung des Hundertfachen bei Transformatoren mit Kernen aus hochlegiertem Eisenblech).

Zur genaueren Bestimmung von I_M darf man den Ohmschen Spannungsfall nicht vernachlässigen; schon durch verhältnismäßig bescheidene Werte von IR wird I_M stark herabgesetzt. Nach Rüdenberg kann man den Widerstandswert, der nötig ist, um den größten Stromstoß nicht über das n -fache des Magnetisierungsstromes wachsen zu lassen, folgendermaßen ermitteln. Aus der Magnetisierungskurve ergibt sich der zu $I_M = nI_0$ gehörige Maximalwert des Feldes $\Phi_M = m\Phi_0$. Dann berechne man die Größe

$$r = \frac{m}{n\pi} \log \text{nat} \frac{1}{m-1}$$

Sie bedeutet den im gesuchten Widerstand von dem (bekannten) Strome I_0 hervorgerufenen Spannungsfall, ausgedrückt in Teilen der Betriebsspannung: $r = I_0 R/E_0$. Somit ist $R = rE_0/I_0$. Zwecks Begrenzung des Einschaltstromstoßes schaltet man größere Transformatoren, Asynchronmotoren und Asynchrongeneratoren mittels Schutzschalters (Schalter mit Vorkontakt und Widerstandsstufe) ein (Linke, W.: Arch. f. Elektrot. 1912, Bd. 1, S. 16, 69).

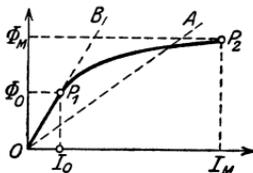


Abb. 37. Magnetisierungsstrom einer Drossel.

Verfahren zur Zeichnung der Stromkurven beim Einschalten von Spulen mit Eisenkern sind von A. H a y¹⁾ und A. S c h w a i g e r²⁾ angegeben worden.

Wird die Spule mit dem Strom I₀ im Moment t=0 plötzlich kurzgeschlossen [f(t)=0], so verklingt der Strom nach dem Gesetz

$$I = I_0 e^{-\frac{t}{T}} \dots \dots \dots (7)$$

Wird der Strom durch Abschalten der Stromquelle nach dem Gesetz I = I₀ (1 - t/τ) auf Null gebracht, so entwickelt die Spule während der Unterbrechungszeit τ die EMK E = L I₀/τ. Zur Verhütung gefährlicher Spannungen beim Abschalten von Spulen verwendet man u. a. folgende Mittel. a) Man schaltet der Spule einen Kondensator, einen kleinen Nebenschlußmotor, einen Widerstand oder eine Reihe Zersetzungszellen parallel; b) man versieht sie mit einer kurzgeschlossenen „Dämpferwicklung“³⁾ (s. u. 142, Beisp. 3); c) vor dem Abschalten wird eine entmagnetisierende Wicklung hinzugeschaltet.

(139) Kapazität C und Widerstand R in Reihe an der EMK E=f(t). Die Spannung U am Kondensator ist aus der Differentialgleichung

$$f(t) = U + RI = \dot{U} + RC \frac{dU}{dt} = \dot{U} + T \frac{dU}{dt} \dots \dots \dots (8)$$

zu bestimmen. T = RC ist die Zeitkonstante dieses Stromkreises. Es ergibt sich

$$U = \frac{1}{T} \int_0^t e^{-\frac{\vartheta-t}{T}} f(\vartheta) d\vartheta + U_0 e^{-\frac{t}{T}}$$

U₀ = Spannung im Moment t=0. Für das Einschalten des ungeladenen Kondensators (U₀=0) erhält man

a) bei der Gleich-EMK f(t) = E = const

$$U = E \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \dots \dots \dots (9)$$

Der Ladestrom I = C dU/dt wird

$$I = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{T}} \dots \dots \dots (10)$$

b) Bei der Wechsel-EMK f(t) = E₀ sin(ωt + φ)

$$U = \frac{E_0}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R^2}} \left[\sin(\omega t + \varphi - \psi) - e^{-\frac{t}{T}} \sin(\varphi - \psi) \right] \dots \dots (11)$$

$$\text{tg } \psi = \omega T = \omega CR.$$

$$I = \frac{E_0 C \omega}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R^2}} \left[\cos(\omega t + \varphi - \psi) + \frac{1}{\omega T} e^{-\frac{t}{T}} \sin(\varphi - \psi) \right] \dots \dots (12)$$

(140) Induktivität L, Kapazität C, Widerstand R in Reihe an der EMK f(t). Für den Strom I gilt

$$f(t) = L \frac{dI}{dt} + RI + \int I dt / C$$

oder

$$q(t) = f'(t) / L = I'' + I' R / L + I / LC$$

Wenn keine EMK wirkt [f(t)=0, q(t)=0], wie etwa bei der Entladung von C über R und L, so erscheint I in der Form

$$I = e^{-\alpha t} (A \cos \omega_0 t + B \sin \omega_0 t) \dots \dots \dots (13)$$

1) The Electrical Review 1898, Bd. 43, S. 326.
2) Elektrot. und Maschinenbau (Wien) 1909, S. 633, 658.
3) Wegen der Wirkungsweise und zweckmäßigen Bemessung siehe W a g n e r, K.W.: Elektrot. und Maschinenbau (Wien) 1909, Heft 35, 36.

(freie Schwingung). $\alpha = R/2L = \text{D ä m p f u n g s e x p o n e n t}$;

$$\omega_0 = \sqrt{(1/LC) - \alpha^2}$$

ist die 2π fache Eigenfrequenz des Kreises. $2\pi\alpha/\omega_0 = \delta$ ist gleich dem natürlichen Logarithmus des Verhältnisses zweier aufeinanderfolgender gleichsinniger Amplituden und heißt daher das logarithmische Dekrement der Schwingung.

Mit zunehmendem Dämpfungsexponent α wird die Eigenfrequenz niedriger. Ist $LC\alpha^2 = R^2C/4L \geq 1$, so wird $\omega_0 = 0$, bzw. imaginär; das heißt, an Stelle der Schwingung tritt ein aperiodischer Abklingungsvorgang.

Für eine aufgedrückte EMK $f(t)$ wird

$$I = \frac{1}{L\omega_0} \int_0^t f'(\vartheta) e^{-\alpha(t-\vartheta)} \sin \omega_0(t-\vartheta) d\vartheta + \frac{I'(0) + \alpha I(0)}{\omega_0} e^{-\alpha t} \sin \omega_0 t + I(0) e^{-\alpha t} \cos \omega_0 t. \dots (14)$$

$I(0)$, $I'(0)$ = Werte von I und dI/dt für $t=0$

Bei einer Wechsel-EMK $f(t) = E_0 \sin(\omega t + \varphi)$ wird

$$I = E_0 \frac{R \sin(\omega t + \varphi) - (L\omega - 1/C\omega) \cos(\omega t + \varphi)}{R^2 + (L\omega - 1/C\omega)^2} - E_0 e^{-\alpha t} \frac{R \sin(-\omega_0 t + \varphi) - (L\omega - 1/C\omega) \cos(-\omega_0 t + \varphi)}{R^2 + (L\omega - 1/C\omega)^2} + \frac{I'(0) + \alpha I(0)}{\omega_0} e^{-\alpha t} \sin \omega_0 t + I(0) e^{-\alpha t} \cos \omega_0 t. \dots (15)$$

Das erste Glied stellt die erzwungene Schwingung, die übrigen drei stellen die freie Schwingung dar; diese verklingt bald nach dem Einschalten; der Wechselstrom ist alsdann stationär geworden (hat sich eingeschwungen). Für die Frequenz $\omega_r = 1/\sqrt{LC}$ wird der stationäre Strom ein Maximum; er liegt dann in Phase mit der Spannung: $I = (E_0/R) \sin(\omega t + \varphi)$. Die Resonanzfrequenz ω_r stimmt mit der Eigenfrequenz nicht genau überein ($\omega_0^2 = \omega_r^2 - \alpha^2$); der Unterschied ist jedoch praktisch zumeist verschwindend.

Eigentümliche Resonanzerscheinungen treten ein, wenn die Drosselspule einen geschlossenen Eisenkern hat, so daß L nicht konstant ist, sondern stark vom Strome abhängt. Ein Kreis mit einer derartigen Spule hat überhaupt keine eigentliche Resonanzfrequenz; dafür gibt es einen Frequenzbereich, in dem der aufgenommene Strom davon abhängt, welche Stromstärke und Frequenz vorher auf den Kreis eingewirkt hat. (Martienssen, O.: ETZ 1910, S. 204; Petersen, W.: ETZ 1915, S. 353.; 1916, S. 129; siehe auch die anschließende Erörterung ETZ 1916, S. 148 und S. 252; Schunk u. Zenneck, Jahrb. f. drahtlose Telegr. 1922, Bd. 19, S. 170.) Vgl. hierzu ferner Duffing, G.: „Erzwungene Schwingungen bei veränderlicher Eigenfrequenz und ihre technische Bedeutung“, Braunschweig 1918.

(141) Ausgleichsvorgänge. Allgemeines. Wirkt auf einen elektrischen Stromkreis eine zeitlich konstante oder eine periodisch veränderliche EMK, so stellt sich nach Ablauf einiger Zeit ein Zustand ein, bei dem im ersten Falle alle Spannungen und Ströme zeitlich konstant, im zweiten Falle alle Spannungen und Ströme periodisch veränderlich sind, und zwar mit der Periode der EMK. Dieser sogenannte „Beharrungszustand“ kann sich aber im allgemeinen nicht sogleich nach dem Einschalten der EMK einstellen aus folgendem Grunde. Der Beharrungszustand erfordert in jedem Zeitpunkt eine bestimmte Verteilung der elektromagnetischen Energie W im Stromkreise, entsprechend den vorgeschriebenen Strömen I in den Spulen L und den vorgeschriebenen Spannungen U an den Kondensatoren C .

$$W = \sum \frac{1}{2} LI^2 + \sum \frac{1}{2} CU^2$$

Da der Zustand des Stromkreises vor dem Einschalten der EMK von dem unter der Einwirkung der EMK eintretenden Beharrungszustand verschieden ist, wird auch die im Augenblick des Einschaltens noch bestehende Energieverteilung von der Energieverteilung im Beharrungszustand abweichen. Die Energieverteilung kann sich aber nicht plötzlich ändern, da eine plötzliche Energieänderung eine unendlich große Leistung bedingen würde. Da alle Leistungen endlich bleiben müssen, kann sich die Energie nur stetig ändern; d. h. der Beharrungszustand kann nicht sofort nach dem Einschalten, sondern nur allmählich eintreten.

Man kann nun den tatsächlichen Zustand nach dem Einschalten dadurch beschreiben, daß man sich den Beharrungszustand sofort eingetreten denkt, ihm jedoch einen „Ausgleichsvorgang“ überlagert, der so beschaffen ist, daß er den stetigen Anschluß des Endzustandes an den Anfangszustand vermittelt. Sind U_a, I_a die Spannungen und Ströme des Anfangszustandes, U_e, I_e dieselben Größen im Beharrungszustand und U_f, I_f diese Größen für den Ausgleichsvorgang, so muß zunächst im Einschaltmoment $t=0$ an jedem Kondensator

$$U_a = U_e + U_f \quad \dots \dots \dots (1a)$$

und in jeder Spule

$$I_a = I_e + I_f \quad \dots \dots \dots (1b)$$

sein. Ist ferner E die (konstante oder periodisch veränderliche) EMK, so liefern die Gesetze des Stromkreises eine oder mehrere lineare Beziehungen von der Form

$$E = \Psi(U_e + U_f, I_e + I_f) \quad \dots \dots \dots (2)$$

Ψ enthält auch Ableitungen nach der Zeit; die vorstehende Gleichung ist somit als Differentialgleichung aufzufassen. Sie gilt auch noch für den Beharrungszustand:

$$E = \Psi(U_e, I_e) \quad \dots \dots \dots (3)$$

Da nun die Gleichungen linear sind, so folgt durch Differenzbildung

$$0 = \Psi(U_f, I_f) \quad \dots \dots \dots (4)$$

Diese Gleichung lehrt die Ausgleichsspannungen und die Ausgleichsströme berechnen; sie zeigt, daß der Ausgleichsvorgang in seinem Ablaufe von der Art und Größe der EMK völlig unabhängig ist. Man nennt deshalb die Ausgleichsspannungen und -ströme auch „freie“ Spannungen und Ströme und den Ausgleichsvorgang einen „freien“ Vorgang. Da er nicht von einer EMK aufrechterhalten wird, muß sich sein Energievorrat allmählich erschöpfen, d. h. die U_f und I_f müssen im Laufe der Zeit verklingen, so daß zuletzt nur der Beharrungszustand übrig bleibt.

(142) Beispiele. 1. Für den Fall der Spule (138) entspricht die Gleichung

$$E = RI + L \frac{dI}{dt}$$

unserer Gl. (2). Daher lautet die Gleichung für den Ausgleichsstrom (Gl. 4)

$$0 = RI_f + L \frac{dI_f}{dt}$$

Ihre Lösung ist

$$I_f = I_f(0) e^{-\frac{t}{T}}$$

$I_f(0)$ ist der Anfangswert des Ausgleichsstromes.

Beim Einschalten der vorher stromlosen Spule muß er den Beharrungsstrom gerade aufheben. Dies ergibt für den Fall einer konstanten EMK den Wert

$$I_f(0) = -\frac{E}{R}$$

und den Gesamtstrom (Ausgleichsstrom plus Beharrungsstrom)

$$I = I_f + \frac{E}{R} = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$$

wie in (138), Gl. (2) angegeben.

Für das Einschalten einer Wechsel-EMK drückt Gl. (3) in (138) die Lösung aus; das erste Glied in der Klammer entspricht dem Beharrungsstrom, das zweite Glied dem Ausgleichsstrom.

2. Beim Stromkreis mit Induktivität, Kapazität und Widerstand ist der Ausgleichsvorgang die freie Schwingung (Gl. 13 in 140).

3. Bemerkenswert ist auch der Ausgleichsvorgang in einem Gebilde aus zwei magnetisch miteinander verketteten Kreisen (allgemeiner Transformator) (Abb. 38). Die Gleichungen dieser Anordnung sind (114)

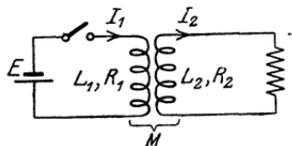


Abb. 38. Zwei magnetisch verkettete Kreise.

$$E = R_1 I_1 + L_1 \frac{dI_1}{dt} + M \frac{dI_2}{dt}$$

$$0 = R_2 I_2 + L_2 \frac{dI_2}{dt} + M \frac{dI_1}{dt}$$

Mit $E=0$ ergeben diese Gleichungen die Ausgleichsströme. Wir führen die folgenden Begriffe ein: $T_1 = L_1/R_1$ und $T_2 = L_2/R_2$ seien die Zeitkonstanten der beiden Kreise für sich; ferner ist

$$\sigma = 1 - \frac{M^2}{L_1 L_2}$$

die Streuziffer. Endlich bedeutet $I_\mu = I_1 + \frac{M}{L_1} I_2$ den auf den Primärkreis bezogenen Magnetisierungsstrom. Dann regelt sich der Verlauf der Ausgleichsströme nach den folgenden Gesetzen¹⁾:

$$I_1 = I_\mu(0) \frac{T_1}{T_1 + T_2} e^{-\frac{t}{\tau_1}} + A_2 e^{-\frac{t}{\tau_2}}$$

$$\frac{M}{L_1} I_2 = I_\mu(0) \frac{T_2}{T_1 + T_2} e^{-\frac{t}{\tau_1}} - A_2 e^{-\frac{t}{\tau_2}}$$

d. h. in jeder der beiden Wicklungen setzt sich der Ausgleichsstrom aus zwei Teilen zusammen; der eine verklingt nach einem Exponentialgesetze mit der Zeitkonstante τ_1 , der andere mit der Zeitkonstante τ_2 . Dabei ist

$$\tau_1 = T_1 + T_2 \quad \tau_2 = \sigma \frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2}$$

Bei enger magnetischer Verkettung, also geringer Streuung (σ klein) ist τ_2 viel kleiner als τ_1 ; der eine Teil des Ausgleichsstromes verklingt demnach viel schneller als der andere.

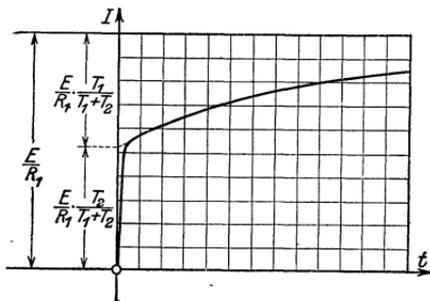


Abb. 39. Anstieg des Stromes beim Einschalten einer Magnetspule mit Dampferwicklung.

Der langsame Ausgleichsvorgang entspricht dem Energieausgleich des Hauptfeldes, der schnelle Ausgleichsvorgang dem Energieausgleich des Streufeldes. In welcher Stärke die beiden Vorgänge auftreten, richtet sich nach den Anfangsbedingungen (141, Gl. 1 b). Diese ergeben für die freien Ströme die Werte $I_1(0)$ und $I_2(0)$; danach berechnen sich die Konstanten $I_\mu(0)$ und A_2 aus

$$I_\mu(0) = I_1(0) + \frac{M}{L_1} I_2(0)$$

¹⁾ Diese Beziehungen sind nicht vollkommen streng; sie gelten um so genauer, je enger die Kreise miteinander verkettet sind, d. h. je kleiner σ ist. Vgl. Wagner, K. W.: Elektrot. u. Maschb., Wien 1909, S. 804, 829.

$$A_2 = \frac{T_2 I_1(0) - T_1 \frac{M}{L_1} I_2(0)}{T_1 + T_2}$$

Für den Fall des Einschaltens einer Gleichstrom-Magnetspule mit Dämpferwicklung wird $E = \text{const.}$, $I_1(0) = -\frac{E}{R_1}$, $I_2(0) = 0$. Der Anstieg des Stromes in der Spule ist in Abb. 39 dargestellt.

(143) Die Regel von Heaviside. Es hege ein mechanisches oder elektromagnetisches System mit beliebig vielen Freiheitsgraden (Koordinaten) vor. Das System befinde sich zunächst im Gleichgewichte. In einem bestimmten Zeitpunkt ($t=0$) werde das Gleichgewicht plötzlich dadurch gestört, daß an irgendeiner Stelle P des Systems eine eingeprägte Kraft K (z. B. eine EMK) zu wirken beginnt (etwa infolge eines Schaltvorganges). Die Kraft K möge weiterhin ($t>0$) konstant bleiben. Unter ihrer Wirkung wird das System einem neuen Gleichgewichtszustand zustreben. Gefragt ist, wie das vor sich geht. Die Frage kann als beantwortet gelten, wenn man für jede veränderliche Systemgröße S (Strom, Spannung usw.) den zeitlichen Verlauf, d. h. die Funktion $S(t)$ von $t=0$ bis ∞ angeben kann. Bezüglich des Systems wird natürlich vorausgesetzt, daß die Systemgrößen durch lineare Beziehungen miteinander verknüpft sind, z. B. durch lineare Differential- oder Differenzgleichungen.

Heaviside¹⁾ gibt folgende Regel an. Man denke sich zunächst das System in einer erzwungenen Bewegung, bei der alle Systemgrößen das Zeitgesetz $\text{const} \cdot e^{pt}$ befolgen. Diese Bewegung soll dadurch zustande kommen, daß an der Stelle P eine eingeprägte Kraft von der Größe e^{pt} tätig ist. Unter der Wirkung dieser besonderen Kraft wird die gesuchte Systemgröße den Wert

$$S_p = \frac{e^{pt}}{Z}$$

annehmen. Z ist eine Funktion von p , die sich dadurch ergibt, daß man in die Systemgleichungen für die einzelnen veränderlichen Größen Ausdrücke der Form $\text{const} \cdot e^{pt}$ einführt und alle Größen bis auf die gesuchte Größe S eliminiert. Z heiße die „Stammfunktion“ von S .

Man bestimme nunmehr die Wurzeln der „Stammgleichung“

$$Z = 0$$

Sie seien mit

$$p_1, p_2, p_3, \dots, p_n \dots$$

bezeichnet. Es sind die sogenannten „Eigenwerte“ des Systems. Dann gibt der Ausdruck

$$S = \frac{K}{Z(0)} + K \sum_n \frac{e^{p_n t}}{p_n Z'(p_n)} \dots \dots \dots (1)$$

den gesuchten zeitlichen Verlauf der Systemgröße S unter der Einwirkung einer an der Stelle P im Zeitpunkt $t=0$ plötzlich auftretenden, dann konstant bleibenden Kraft K an. $Z(0)$ ist der Wert von Z für $p=0$; Z' die Ableitung (der Differentialquotient) von Z nach p .

Die Eigenwerte p_n sind im allgemeinen komplex von der Form $p_n = -\alpha_n \pm i\omega_n$; das Glied mit $e^{p_n t}$ bedeutet alsdann eine gedämpfte Eigenschwingung mit dem Dämpfungsexponenten α_n und der Kreisfrequenz ω_n .

Beispiele für die Anwendung der Heavisideschen Regel gibt K. W. Wagner im Arch. f. Elektrot. Bd. 4, S. 159 ff., 1916. Dort ist auch angegeben, wie die Entwicklung umzuformen ist, wenn mehrere Eigenwerte einander gleich werden, so daß $Z'(p_n) = 0$ wird.

1) Electromagnetic Theory, Bd. 2, S. 127. London 1899.

Die Heaviside'sche Regel gilt auch für das Einschalten mit Wechselstrom, wo also die im Zeitpunkt $t=0$ plötzlich auftretende Kraft weiterhin das Zeitgesetz $K = K_0 e^{i\omega t}$ befolgt. In diesem Falle lautet die Entwicklung

$$S = \frac{K_0 e^{i\omega t}}{Z(i\omega)} + K_0 \sum_n \frac{e^{pn t}}{(p_n - i\omega) Z'(p_n)} \dots \dots \dots (2)$$

Das erste Glied auf der rechten Seite der Gl. (1) oder (2) ergibt den Beharrungszustand, das zweite den Ausgleichsvorgang.

(144) Spannungs- und Stromverteilung in Kabeln und Freileitungen. Allgemeines. Sind R, G, L, C die wirksamen Werte¹⁾ des Ohmschen Widerstandes, der Ableitung, der Selbstinduktivität, der Kapazität für die Längeneinheit, und bezeichnet I den Strom, U die Spannung (zwischen Hin- und Rückleitung) am Ort x zur Zeit t , so gilt

$$-\frac{\partial U}{\partial x} = RI + L \frac{\partial I}{\partial t} \quad -\frac{\partial I}{\partial x} = GU + C \frac{\partial U}{\partial t}$$

Wegen der Werte von C siehe (54), von L siehe (109, 11 u. 12), (121 a), (123). Die Ableitung oberirdischer Leitungen hängt vom Isolationszustand ab und bewegt sich in der Größenordnung von 0,1 bis 2,0 $\mu\text{S}/\text{km}$.

Die Ableitung von Kabeln ist vornehmlich durch die dielektrischen Verluste bestimmt (50) und aus Kapazität, Kreisfrequenz und dielektrischem Verlustwinkel nach der Formel

$$G = \omega C \operatorname{tg} \delta$$

zu berechnen.

(145) Beharrungszustand bei Wechselstrom. Befindet sich die Leitung in einem Stromkreis, in dem eine EMK $E_0 \sin(\omega t + \varphi)$ tätig ist, so wird nach einer Weile der Strom I und die Spannung U längs der ganzen Leitung ebenfalls sinusförmig sein:

$$U = U(x) \sin[\omega t + \varphi(x)] \quad I = I(x) \sin[\omega t + \psi(x)]$$

Die Amplituden $U(x), I(x)$ und die Phasenwinkel $\varphi(x), \psi(x)$ ändern sich von Punkt zu Punkt. Die Berechnung gestaltet sich am übersichtlichsten auf komplexem Wege (136), indem man die komplexen Spannungs- und Stromvektoren

$$\mathcal{U}_x = U(x) e^{i\varphi(x)} \quad \text{und} \quad \mathcal{I}_x = I(x) e^{i\psi(x)}$$

einführt. Dann bestehen zwischen den Spannungen und Strömen am Anfang der Leitung ($\mathcal{U}_0, \mathcal{I}_0$) und im Abstände x vom Anfang die Beziehungen²⁾ [vgl. auch (137)]:

$$\begin{aligned} \mathcal{U}_x &= \mathfrak{A} \mathcal{U}_0 - \mathfrak{B} \mathcal{I}_0 \quad \text{oder}^3) \quad \mathcal{U}_0 = \mathfrak{P} \mathcal{I}_0 - \Omega \mathcal{I}_x \\ \mathcal{I}_x &= \mathfrak{A} \mathcal{I}_0 - \mathfrak{C} \mathcal{U}_0 \quad \mathcal{U}_0 = \Omega \mathcal{I}_0 - \mathfrak{P} \mathcal{I}_x \\ \mathfrak{A} &= \mathfrak{C} \operatorname{cof} \gamma x \quad \mathfrak{B} = \mathfrak{I} \sin \gamma x \quad \mathfrak{C} = \mathfrak{I}^{-1} \sin \gamma x \\ \mathfrak{P} &= \mathfrak{I} \operatorname{Cotg} \gamma x \quad \Omega = \mathfrak{I} \frac{1}{\sin \gamma x} \quad \mathfrak{I}^2 = \frac{R + i\omega L}{G + i\omega C} = \mathfrak{P}^2 - \Omega^2 \\ \gamma^2 &= (\beta + i\delta)^2 = (R + i\omega L)(G + i\omega C) \end{aligned}$$

γ = Fortpflanzungskonstante, β = Dämpfungskonstante, δ = Winkelmaß, \mathfrak{I} = Wellenwiderstand oder Charakteristik der Leitung für Wechselstrom der Kreisfrequenz ω .

2) $2\beta^2 = RG - LC\omega^2 + \sqrt{(RG - LC\omega^2)^2 + \omega^2(LG + RC)^2}$
angenähert

$$\beta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{für } \omega L \gg R \quad \beta = \sqrt{\frac{\omega CR}{2}} \quad \text{für } \omega L \ll R$$

¹⁾ Diebelhorst und Emde: ETZ 1909, S. 1155, 1184.

²⁾ Franke, A.: ETZ 1891, S. 458. — Breisig, F.: ETZ 1899, S. 383.

³⁾ Pleijel: Bd. 4 der Veröff. der 2. Int. Konf. von Technikern der Staatstelegraphen- und Fernsprechverwaltungen; Paris 1910.

Bei festliegendem \mathfrak{Z}_0 , \mathfrak{U}_0 bewegen sich die Endpunkte der Vektoren \mathfrak{Z}_x , \mathfrak{U}_x auf logarithmischen Spiralen¹⁾. Wendet man die Gleichungen auf das Leitungsende $x=l$ an, so erkennt man, daß zwischen den Strömen und Spannungen der Enden lineare Gleichungen (mit komplexen Koeffizienten) bestehen:

$$\mathfrak{U}_0 = \mathfrak{A} \mathfrak{U}_l + \mathfrak{B} \mathfrak{Z}_l$$

$$\mathfrak{Z}_0 = \mathfrak{A} \mathfrak{Z}_l + \mathfrak{C} \mathfrak{U}_l$$

Bei der Berechnung von Fernspreitleitungen ist als mittlere Frequenz der Sprechströme $f \approx 800$ ($\omega = 5000$) einzusetzen.

Das Auftreten der Hyperbelfunktionen in den Größen \mathfrak{A} , \mathfrak{B} , \mathfrak{C} kann so gedeutet werden, daß zu einer vom Anfang nach dem Ende der Leitung laufende Welle noch eine reflektierte tritt, die zurückläuft. (Diese reflektierte Welle des Beharrungszustandes ist nicht zu verwechseln mit den nachstehend unter (146) behandelten Wanderwellen.) Ist der Endwiderstand $\mathfrak{R} = 3$, so wird

$$\mathfrak{U}_0 = e^{\gamma l} \mathfrak{U}_l \quad \mathfrak{Z}_0 = e^{\gamma l} \mathfrak{Z}_l$$

d. h. die reflektierte Welle verschwindet. Diese Bedingung ist nicht identisch mit der größten Leistungsaufnahme in \mathfrak{R} (vgl. 137).

(146) Ausgleichsvorgänge [vgl. a. (982) Starkstromausgabe]. Unmittelbar nach dem Ein- oder Ausschalten der Leitung oder nach irgendeiner Veränderung des Stromkreises lagern sich den stationären Werten U , I freie Schwingungen über, die mitunter Überspannungen und Überströme zur Folge haben. Die freie Schwingung kann im allgemeinen in der Form dargestellt werden²⁾:

$$U_f = e^{-\alpha t} \{F_1(x-vt) + F_2(x+vt)\}$$

$$I_f = e^{-\alpha t} \sqrt{\frac{L}{C}} \{F_1(x-vt) - F_2(x+vt)\}$$

$$\alpha = R/2L + G/2C \quad v = 1/\sqrt{LC}$$

das heißt durch Wellen F_1 , F_2 die mit der Geschwindigkeit v in Richtung wachsender bzw. abnehmender x auf der Leitung gedämpft fortschreiten (sogenannte „Wanderwellen“). Die Größe $\sqrt{L/C}$ ist der Wellenwiderstand, d. i. das Verhältnis der Spannung zum Strom in der Welle. Auf oberirdischen Leitungen ist die Wellengeschwindigkeit v nahezu gleich der Lichtgeschwindigkeit; auf Kabeln ist sie erheblich kleiner. Die Wellenformen F_1 , F_2 entstehen durch Überlagerung der Grundwelle und einer unendlichen Reihe von Oberwellen des Systems, die im allgemeinen nicht harmonisch sind, und deren Frequenzen durch die Länge der Leitung und die Beschaffenheit der Apparate an den Leitungsenden bestimmt sind. Von der Beschaffenheit der Enden hängt auch das Gesetz ab, nach dem die auf die Enden prallenden Wellen F_1 , F_2 reflektiert werden. Schließt sich ein Ende über einen Ohmschen Widerstand $R_0 = \sqrt{L/C}$, so findet daselbst vollkommene Absorption (ohne Reflexion) der Wellen statt. Eine mäßige Selbstinduktion von R_0 ist praktisch unschädlich.

Die auf ein offenes Leitungsende prallende Spannungswelle verdoppelt sich; die zugehörige Stromwelle zieht sich mit derselben Geschwindigkeit zurück. An einem kurzgeschlossenen Leitungsende verdoppelt sich die Stromwelle, während sich die Spannungswelle zurückzieht.

Wird ein Strom I auf einer Leitung unterbrochen, so zieht er sich von der Unterbrechungsstelle mit der Geschwindigkeit v zurück und hinterläßt eine Spannung

$$U_f = I \sqrt{L/C},$$

¹⁾ Breisig, F.: ETZ 1900, S. 87.

²⁾ Wagner, K. W.: Elektromagnet. Ausgleichsvorgänge in Freileitungen und Kabeln, Leipzig 1908. ETZ 1908, S. 707. — Oszillographische Aufnahmen verschiedener Ausgleichsvorgänge sind in der ETZ 1911, S. 899, 928, 947 und 1912, S. 1289 und 1321 mitgeteilt. — Petersen, W.: Wanderwellen als Überspannungserreger. Archiv f. Elektrot. Bd. 1, 1912, S. 233; Überspannungen und Überspannungsschutz, ETZ 1913, S. 167 ff.

die davon herrührt, daß die dem Strome I entsprechende magnetische Energie vom Betrage $\frac{1}{2}L I^2$ in elektrische Energie vom Betrage $\frac{1}{2}C U_f^2$ übergeht. Ist die Leitung am anderen Ende induktiv belastet, derart, daß beim Strome I hier ein Betrag $\frac{1}{2}L_0 I^2$ an magnetischer Energie aufgespeichert ist, so kann sich die Spannung der Leitung durch wiederholte Reflexion der Wellen an den beiden Leitungsenden noch beträchtlich steigern; die höchste Spannung wird, wenn L_0 mehrmals größer als L ist, angenähert $I\sqrt{L_0/C}$. Glücklicherweise haben richtig bemessene Schalter die Eigenschaft, den Strom nicht plötzlich zu unterbrechen, sondern stetig auf Null zu bringen¹⁾.

Trifft eine Welle F_1 von einer Leitung mit dem Wellenwiderstand $Z_1 = \sqrt{L_1/C_1}$ auf eine Verbindungsstelle dieser Leitung mit einer zweiten Leitung vom Wellenwiderstand $Z_2 = \sqrt{L_2/C_2}$, so spaltet sich die Welle in eine reflektierte Welle F_2 und in eine in die Leitung 2 eindringende Welle F_3

$$F_2 = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} F_1 \quad F_3 = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} F_1.$$

Die Wicklungen von Maschinen und Transformatoren verhalten sich den Ausgleichsvorgängen gegenüber in erster Näherung wie Leitungen mit verteilten Konstanten R, L, C, G . Beim Übergang einer Welle F_1 von einer Leitung (oder einem Kabel) auf eine Transformator- oder Maschinenwicklung ist Z_2 groß gegen Z_1 ; dann wird $F_2 \approx F_1$; $F_3 \approx 2F_1$: in die Wicklung dringt eine Welle von doppelter Spannung ein. Hat die Welle — wie z. B. beim plötzlichen Einschalten oder Unterbrechen — eine steile Front, so wird auch die Wicklung in sich gefährdet, weil zwischen benachbarten Windungen die volle Wellenspannung auftritt, so daß Gefahr des Durchschlags entsteht. Diese Gefahr nimmt ab, je weiter die Welle eindringt, weil die Eisenverluste die Welle dämpfen, jedoch staut sich die Welle im Mittelpunkt der Wicklung abermals.

Dieselbe Gefahr tritt ein, wenn ein Stromerzeuger (Spannung E) auf eine Leitung oder ein Kabel geschaltet wird. Dann ist Z_2 klein gegen Z_1 und somit $F_2 \approx -F_1 \approx -E$. Hier gefährdet also die reflektierte Welle die Isolation der einzelnen Windungen gegeneinander. Wirksamen Schutz gewähren Drosselspulen, die man der gefährdeten Wicklung vorschaltet; die Spulen wirken wie kurze Leitungen von sehr hohem Wellenwiderstand. Daraus folgt, daß die Spule selbst gut isoliert werden muß, weil nun sie den Spannungsstoß erhält. Die genauere Untersuchung²⁾ hat gelehrt, daß die Kapazität zwischen den Windungen der gefährdeten Wicklung die steile Stirn der Welle abflacht und dadurch die Beanspruchung mildert; die Schutzdrossel soll eine möglichst geringe Kapazität gegen Erde haben. — Ein zweiter Weg zur Verkleinerung der Welle F_2 besteht darin, daß man die Leitung zuerst über eine Widerstandsstufe einschaltet, die am Ende der Schalterbewegung kurz geschlossen wird (Schutzschalter). Ferner eignen sich auch Kondensatoren von hinreichend großer Kapazität, die man zwischen Hin- und Rückleitung schaltet, zur Abflachung steiler Wellenstirnen.

Die auf den Leitungen laufenden Wanderwellen übertragen sich durch elektromagnetische Induktion auf benachbarte Leitungen. Näheres hierüber bei Wagner, K. W.: ETZ 1914, S. 639, 677, 705.

Die Darstellung durch unverzerrt fortschreitende Wellen wird ungenau,

¹⁾ Vgl. die von Gerst Meyer aufgenommenen Oszillogramme, Elektr. Krafttriebe und Bahnen Bd. 9, S. 141, 1911. Ferner: Merriam, E. B.: Proc. Amer. Inst. of El. Eng. 1911, S. 195; Randall, K. C.: ebenda 1913, S. 1885; 1915, S. 271; Marguerre, F.: ETZ 1912, S. 709, 735; Bauer, B.: Untersuchungen an Ölschaltern, ETZ 1915, S. 582; 1916, S. 120, 183; 1917, S. 207; 1919, S. 481; J. Biermanns Arch. f. Elektrot. Bd. 3, S. 5, 1914; Stern, G. u. Biermanns, J.: Ölschalterversuche, ETZ 1916, S. 617, 635. Vogelsang und Schrottko: Über Hochleistungsschalter, ETZ 1919, S. 597 und 625. Biermanns, J.: Über Hochleistungsschalter, ETZ, 1920, S. 325.

²⁾ Elektrot. u. Maschb., Wien 1915, S. 89, 105; ETZ 1916, S. 425, 440, 456.

wenn die Leitung so lang ist, daß die Wellen nach Zurücklegung der Leitungslänge auf weniger als ca. $\frac{1}{3}$ gedämpft werden¹⁾.

Im Grenzfall eines sehr langen Kabels (Ozeantographie) darf man L vernachlässigen²⁾. Verfahren zur Berechnung der Stromkurven mit Berücksichtigung der Apparate an den Enden sind von F. Breisig³⁾, K. W. Wagner⁴⁾ und H. W. Malcolm⁵⁾ angegeben worden.

Für Leitungen beliebiger Länge lassen sich die Strom- und Spannungskurven beim Einschalten mittels der Heavisideschen Regel (143) berechnen.

(147) Kettenleiter. Man denke sich m beliebige, gleichartige Stromkreise. Der erste Kreis sei mit dem zweiten in irgendeiner Weise gekoppelt; die gleiche Art der Kopplung bestehe zwischen den folgenden Kreisen. Eine solche kettenartige Anordnung nennt man einen Kettenleiter erster oder zweiter Art, je nachdem die Einzelkreise (die Kettenglieder) der oberen oder der unteren Schaltung in Abb. 40 entsprechen. Bei $a_1 a_2$ bzw. $e_1 e_2$ erfolgt die Stromzuführung, bezw. Stromabnahme.

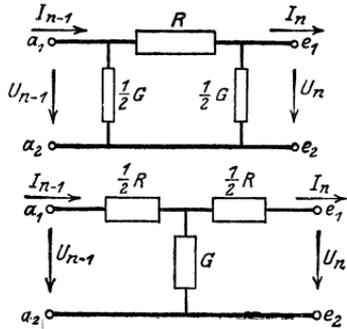


Abb. 40. Kettenglieder.

R bedeutet den Widerstandsoperator, G den Leitwertoperator der entsprechend bezeichneten Anordnung. Die Strom- und Spannungsverteilung im Kettenleiter folgt formal denselben Gesetzen wie in Kabeln und Freileitungen (145). Die Fortpflanzungskonstante g ist durch die Gleichung

$$\sin \frac{1}{2} g = \frac{1}{2} \sqrt{R G} \dots \dots \dots (1)$$

definiert. Der Wellenwiderstand beträgt

$$W_1 = \sqrt{\frac{R}{G}} \cos \frac{1}{2} g, \text{ bzw. } W_2 = \sqrt{\frac{R}{G}} \cdot \cos \frac{1}{2} g \dots \dots \dots (2)$$

für den Kettenleiter erster, bzw. zweiter Art.

Die Schaltung der Zweige R und G von wichtigen Kettenleitern und deren Bedeutung und Verwendung gehen aus der umstehenden Zusammenstellung hervor.

Auch die gekoppelten Kreise nach folgender Schaltung sind als eine Siebkette aufzufassen, die völlig der Siebkette 6b der nachstehenden Zusammenstellung entspricht, wenn man

$$M = M_o, \quad L = 2(L_o - M_o)$$

setzt; dann wird

$$\omega_1 = 1/\sqrt{2K(L_o + M_o)}, \quad \omega_2 = 1/\sqrt{2K(L_o - M_o)}$$

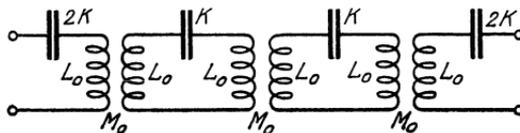


Abb. 40 a. Siebkette mit Transformator- und Induktivitätskopplung.

¹⁾ Wegen der dann eintretenden Verzerrung der Wellenform siehe die von V a s c h y (Annales télégraphiques, Ser. 3, Bd. 15, S. 481; 1888) und K. W. W a g n e r (ETZ 1910, S. 163, 192) gezeichneten Kurven. Siehe ferner ETZ 1911, S. 258.

²⁾ T h o m s o n, W.: Math. and phys. papers 2. Bd., S. 61.

³⁾ ETZ 1900, S. 1046.

⁴⁾ Phys. Zeitschr. Bd. 10, S. 865; 1909.

⁵⁾ The theory of the submarine telegraph and telephone cable, London 1917.

Schaltung		Bedeutung und Verwendung.
R	G	
		1. Kettenisolator; Serienfunkenstrecke.
		2. Künstliches Telegraphenkabel.
		3. Künstliche Leitung; Schema der Pupinleitung;
		4. Drosselkette, zum Abdrosseln aller Ströme, deren Kreisfrequenz oberhalb $\omega_0 = 2/\sqrt{LC}$ liegt.
		5. Kondensatorleitung, zum Abdrosseln aller Ströme, deren Kreisfrequenz unterhalb $1/2\sqrt{LC}$ liegt.
		6. Siebketten, Filter; zum Abdrosseln aller Ströme außerhalb des Frequenzbereiches von ω_1 bis ω_2 .
		a) $\omega_1 = 1/\sqrt{LK}$ $\omega_2 = 1/\sqrt{LK'}$ $K' = KC/(4K + C)$
		b) $1/\sqrt{L'K}$ $1/\sqrt{LK}$ $L' = 4M + L$
		c) $1/\sqrt{MC}$ $1/\sqrt{M'C}$ $M' = ML/(4M + L)$
		d) $1/\sqrt{MC'}$ $1/\sqrt{MC}$ $C' = 4K + C$
		7. Doppelsieb, $LK = MC$, Siebkette mit besonders ausgeprägter Wirkung. Der durchlässige Bereich liegt zwischen
		$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{MC}} \left[\sqrt{1 + \frac{M}{L}} - \sqrt{\frac{M}{L}} \right] \quad \text{und}$
		$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{MC}} \left[\sqrt{1 + \frac{M}{L}} + \sqrt{\frac{M}{L}} \right]$
		8. Wellenschlucker, $LK = MC$; starke Drosselwirkung nur für die Wechselströme, deren Kreisfrequenz bei $1/\sqrt{LK}$ liegt.

Bei beliebiger, auch unsymmetrischer Schaltung des Kettengliedes kann man stets gemäß (137)

$$U_{n-1} = \mathfrak{A}_1 U_n + \mathfrak{B} \mathfrak{Z}_n$$

$$\mathfrak{Z}_{n-1} = \mathfrak{C} U_n + \mathfrak{A}_2 \mathfrak{Z}_n$$

setzen, wobei $\mathfrak{A}_1 \mathfrak{A}_2 - \mathfrak{B} \mathfrak{C} = 1$ ist. Die Größen $\mathfrak{A}_1, \mathfrak{A}_2, \mathfrak{B}, \mathfrak{C}$ kennzeichnen die Schaltung; sie bestimmen die Fortpflanzungskonstante durch die Gleichung

$$\mathfrak{C} \coth \gamma = \frac{1}{2} (\mathfrak{A}_1 + \mathfrak{A}_2) \dots \dots \dots (1a)$$

und die Wellenwiderstände

$$W_\alpha = \frac{\mathfrak{A}_1 - e^{-\gamma}}{\mathfrak{C}}; \quad W_e = \frac{\mathfrak{A}_2 - e^{-\gamma}}{\mathfrak{C}} \dots \dots \dots (2a)$$

W_a bedeutet den in Richtung zunehmender n geltenden, W_e den in umgekehrter Richtung geltenden Wellenwiderstand.

Die Dämpfung b eines Kettengliedes, das aus gleichartigen Drosselspulen und Kondensatoren mit geringen Verlusten besteht, kann im durchlässigen Bereich näherungsweise nach der Formel

$$b = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\tau} + \omega \delta \right) \frac{da}{d\omega}$$

berechnet werden; $\tau = L/R$ ist die Zeitkonstante der Spulen, δ der Verlustwinkel der Kondensatoren (50). a ist das Winkelmaß ($g = b + ia$).

Für eine Siebkette mit den Grenzfrequenzen ω_1 und ω_2 erhält man so

$$b = \left(\frac{1}{\tau} + \omega \delta \right) \frac{n}{w} \sqrt{1 - \frac{4(\omega_0 - \omega)^2}{w^2}}$$

Darin ist $\omega_0 = (\omega_1 + \omega_2)/2$; $w = \omega_2 - \omega_1$ ist die Lochweite, n ist die Zahl der Eigenfrequenzen des Kettenglieds.

Aus der experimentell (oder rechnerisch) erlangten Dämpfungskurve einer Siebkette erhält man die Grenzfrequenzen, indem man die im Abstand $b_m + 0,5$ gezogene Parallele zur ω -Achse mit der Kurve zum Schnitt bringt (Abb. 40b). b_m ist die Mindestdämpfung. In den Grenzfrequenzen ω_1 und ω_2 hat die Resonanzkurve ($I = \text{Konst.} \cdot e^{-b}$) ihre größte Steilheit.

Die Eigenfrequenzen einer Kette aus Spulen und Kondensatoren mit geringen Verlusten liegen sämtlich im durchlässigen Bereich; sie werden bei Stoßanregung umso stärker angeschlagen, je weiter sie von den Lochgrenzen entfernt liegen.

Einschwingzeit. Schaltet man an den Anfang einer Siebkette mit den Grenzfrequenzen ω_1 und ω_2 eine Wechselspannung der mittleren Frequenz $\omega_0 = \frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_2)$, so steigt der Strom am Ende der Kette nur allmählich auf seinen Endwert. Die erforderliche Zeit ist strenggenommen unendlich groß. Die praktische Einschwingzeit, d. i. die Zeit, in der der Strom von 0,1 auf 0,9 seines Endwertes ansteigt, ist etwa

$$5,5/(\omega_2 - \omega_1).$$

Wagner, K. W.: Archiv f. Elektrotechnik, Bd. 3. S. 315, 1915; Bd. 8, S. 61, 1919; Z. S. f. techn. Phys. Bd. 2, 1921, S. 304; Wiss. Veröff. a. d. Siemens-Konzern, Bd. 2, S. 189, 1922; Telefunkenzeitung, Bd. 6, S. 21; 1924. — Zobel, O. J.: The Bell System Technical Journal, Januar 1923. — Küpfmüller, K.: Elektr. Nachr.-Technik Bd. 1, S. 141. 1924. — Mayer, H. F.: Elektr. Nachr.-Technik Bd. 2, S. 335; 1925.

Lehrbücher über die Theorie der veränderlichen Ströme.

Bedell, F. und Crehore, A. C.: Alternating currents, Ithaca, N. Y. 1892; deutsch von Bucherer, Berlin 1895. — Steinmetz, C. P.: Alternating current phenomena, New York 1898 (2. Aufl.); deutsche Ausgabe Berlin 1900. — Zenneck, J.: Elektromagnetische Schwingungen und drahtlose Telegraphie, Stuttgart 1905. — Russell, A.: A treatise on the theory of alternating currents, 2 Vol. Cambridge 1904—1906. — Orlich, E.: Kapazität und Induktivität, Braunschweig 1909. — L. Cour, J. L. und Bragstad, O. S.: Bd. 1 von Arnolds Wechselstromtechnik, Berlin 1910 (2. Aufl.). — Hay, A.: Alternating currents 1912. — Orlich, E.: Die Theorie der Wechselströme, Leipzig 1912. — Frankel, A.: Theorie der Wechselströme, Berlin 1914. — Rüdénberg, R.: Elektrische Schaltvorgänge, Berlin 1923. — Carson, J. R.: El. circuit theory and the operational calculus, Newyork 1926.

Über die Theorie der Leitungen und Kabel.

Heaviside, O.: Electrical Papers, 2 Bde. London 1892; Electromagnetic theory, Bd. 2, London 1899. — Weber, H.: Die partiellen Differentialgleichungen der mathematischen Physik nach Riemanns Vorlesungen in vierter Auflage neu bearbeitet, Braunschweig 1900. Fünfte Auflage, ebendort 1910. — Wagner, K. W.: Elektromagnetische Ausgleichsvorgänge in Freileitungen und Kabeln, Leipzig 1908. — Breisig, F.: Theoretische Telegraphie, Braunschweig 1910. — Malcolm, H. W.: The theory of the submarine telegraph and telephone cable, London 1917. Bann Brths. Ltd. — Hill, J. G.: Telephonic Transmission, London 1920. — Herzog, J. u. Feldmann, Cl.: Die Berechnung elektrischer Leitungsnetze, Berlin 1921.

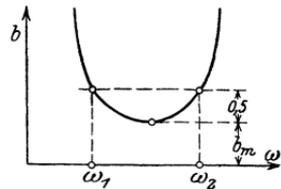


Abb. 40b. Bestimmung der Lochweite einer Siebkette aus der Dämpfungskurve.

Zweiter Teil.

Elektrische Meßkunde.

Erster Abschnitt.

Elektrische Meßverfahren und Meßvorrichtungen.

Hilfsmittel bei den Messungen.

Allgemeines.

(148) Genauigkeit. Nach der anzustrebenden Genauigkeit sind die zur Messung benutzten Methoden und Instrumente zu wählen. In manchen Fällen stellen die Beobachtungsergebnisse bereits das gewünschte Resultat dar, häufig muß dies aber erst durch Rechnung auf Grund physikalischer Gesetze aus den Beobachtungen abgeleitet werden.

Dabei gilt als allgemeine Regel, daß die verschiedenen Faktoren einer jeden Messung gleiche Genauigkeit besitzen sollen; wünscht man demnach eine Genauigkeit von 1 %, so müssen die Methoden und die Meßinstrumente hiernach gewählt werden, während die arithmetische Rechnung mit höchstens 4 Ziffern geführt, das Schlußergebnis nur mit 3 Ziffern mitgeteilt wird; feinere Instrumente als nötig zu verwenden, mit mehr als 4 Ziffern zu rechnen, wäre als eine Zeitverschwendung anzusehen.

Stellt man viele Beobachtungen an, so ist der Fehler des Mittels erheblich kleiner als der des einzelnen Ergebnisses; bei einer größeren Zahl von Beobachtungen darf man rechnen, daß der Fehler des Mittels der Quadratwurzel der Zahl der Beobachtungen umgekehrt proportional sei. — Es ist nicht erlaubt, aus der Zahl der erhaltenen Ergebnisse solche wegzustreichen, welche besonders große Abweichungen vom Mittel aufweisen, es sei denn, daß bei der Messung irgendein größeres Versehen begangen worden ist.

Ergänzungs- oder Berichtigungsgrößen. Jede Messung erfordert neben der Bestimmung der wesentlichen Größen noch je nach der gewünschten Genauigkeit die Ermittlung einer kleineren oder größeren Zahl von Ergänzungsgrößen.

Während man bei rohen Messungen die Instrumente und Apparate oft ohne Korrekturen benutzen und die Rechnung nach Annäherungsformeln durchführen kann, sind bei genaueren Messungen, beispielsweise bei Vergleich von Widerständen, die Korrekturen der benutzten Vergleichswiderstände, bei noch größerer Genauigkeit auch deren Temperaturkorrekturen zu bestimmen und zu berücksichtigen. Infolgedessen werden umsomehr Hilfsmessungen und Nebenrechnungen nötig, je größer die angestrebte Genauigkeit sein soll.

Da die Ergänzungsgrößen meist nur einen untergeordneten Einfluß auf das Ergebnis haben, brauchen sie auch nur mit einer geringeren Genauigkeit bestimmt zu werden als die Hauptgrößen. Bei der Berücksichtigung der Ergänzungsglieder wendet man nach Möglichkeit die Regeln für das Rechnen mit kleinen Größen an (6)

Einige besondere Einrichtungen an Meßvorrichtungen.

(149) Ablesung des Ausschlags. Zeigerablesung. Drehungswinkel (Ausschläge) von Galvanometern, Magnetometern usw. können an Zeigern abgelesen werden, hinter denen, wenn Parallaxe vermieden werden soll, ein Spiegel angebracht ist. Man bringt dann den Zeiger mit dem Spiegelbild zur Deckung. Häufig werden die Teilungen schon aus Spiegelglas angefertigt oder von vornherein Spiegel neben den Teilungen angebracht. Statt eines Spiegels hinter dem Zeiger kann man auch einen dicken unbelegten Spiegelglasstreifen vor dem Zeiger benutzen; blickt man schräg auf den Zeiger, so erscheint dieser gebrochen.

Spiegelablesung (Poggendorf, Gauß). Will man noch größere Genauigkeit der Ablesung erhalten, so benutzt man die Spiegelablesung (Lichtzeiger); diese kann entweder objektiv (Lichtbild auf einer Skala) oder subjektiv (Ablesung durch ein mit Fadenkreuz versehenes Fernrohr) sein. Die objektive Ablesung ist für das Auge weniger ermüdend, aber nicht so genau wie die subjektive Ablesung. Zum Zweck der Spiegelablesung wird auf dem beweglichen System, dessen Drehungswinkel gemessen werden soll, ein Spiegel angebracht. Senkrecht zur Ruhelage des Spiegels wird eine Richtung entweder durch die Visierlinie eines Fernrohrs oder durch das von einer Lampe durch einen Spalt gesandte Lichtbündel bzw. einen glühenden Platindraht oder eine Nernstlampe festgelegt.

Mitunter werden Skalen in Kreisform benutzt, in deren Zentrum sich der Spiegel befindet. Dann liefert die Ablesung direkt den Winkel, während anderenfalls der Winkel aus der Ablenkung berechnet werden muß. In den Fällen, wo das Galvanometer als Nullinstrument benutzt wird, ist die Kenntnis des Ablenkungswinkels selbst meist nicht erforderlich, da es sich dann nur um kleine Ablenkungen handelt.

Um eine möglichst sichere und unveränderliche Aufstellung zu erhalten, stellt man das Galvanometer auf ein Konsol, das an der Wand befestigt ist, und zwar zweckmäßig auf festge kittete Fußplatten. Wenn die Erschütterungen des Spiegels zu groß sind, muß die erschütterungsfreie Aufhängung des Instruments nach Julius verwendet werden (Wied. Ann. Bd. 56; s. auch Volkman: Phys. Ztschr. 1911, S. 75).

Bei der objektiven Spiegelablesung muß entweder das Instrument einen Hohlspiegel besitzen, durch den das Bild der Lichtquelle auf der Skala entworfen wird, oder man muß an geeigneter Stelle zwischen Lichtquelle und Spiegel eine Linse einschalten, was auch geschehen kann, wenn das Instrument zwar einen Hohlspiegel besitzt, dieser aber nicht die für die gewünschte Entfernung geeignete Brennweite besitzt.

(150) Dämpfung und Beruhigung. Zur Ablesung der Ausschläge bei Meßinstrumenten braucht man die geringste Zeit, wenn das schwingende System aperiodisch gedämpft ist, d. h. gerade keine Schwingungen mehr um die Gleichgewichtslage ausführt. Ist das schwingende System wenig gedämpft, so dauert es lange, bis es zur Ruhe kommt, und man verliert viel Zeit, wenn man die Schwingungen nicht beruhigt oder aus den Ausschlägen zu beiden Seiten der Gleichgewichtslage nach der von der Wage her bekannten Methode die Gleichgewichtslage ermittelt.

Magnetnadeln kann man durch geeignetes Nähern und Entfernen eines Magnetstabes leicht zur Ruhe bringen. Manche Instrumente, wie z. B. die Drehspulengalvanometer, besitzen schon eine natürliche Dämpfung, und man kann es bei diesen Instrumenten so einrichten, daß man unter den günstigsten Verhältnissen, d. h. mit aperiodischer Dämpfung arbeitet (153).

Bei schwingenden Magneten kann man Kupferdämpfung anwenden, ebenso auch Luft- oder Flüssigkeitsdämpfung.

(151) Induktionsfreie Wicklung. Wenn ein stromdurchflossener Leiter keine Wirkung auf ein Meßinstrument sowie keine Selbstinduktion haben darf, führt man ihn so, daß die eine Hälfte des Leiters die gleiche und entgegengesetzte

Wirkung hat wie die andere. Gewöhnlich wird dies dadurch erzielt, daß man den Draht von der Mitte aus aufspannt oder aufwickelt, so daß beide Hälften des Drahtes genau nebeneinander liegen (bifilare Wicklung, z. B. bei den Widerstandsrollen der Meßrheostaten). Ähnliche Einrichtungen sind auch nötig für die Abzweigungswiderstände der Galvanometer. Die bifilaren Widerstände haben eine nicht immer unmerkliche Ladungsfähigkeit (Kapazität). Nach Chaperon (Comptes rendus Bd. 108, S. 799) erhält man Widerstände, die sowohl von Induktion wie von Kapazität möglichst frei sind, dadurch, daß man den Draht in gleichen, nicht zu großen Abschnitten mit abwechselnder Richtung aufwickelt (abwechselnd unifilare Wicklung), vgl. auch Cauro (Comptes rendus Bd. 120, S. 308), Wagner, K. W. und Wertheimer, A.: ETZ 34, 613, 619; 1913, und Jaeger, W.: Elektrische Meßtechnik, 2. Aufl. (J. A. Barth, 1922).

Galvanometer.

(152) Arten der Galvanometer. Hier sollen unter Galvanometern nur solche Instrumente verstanden werden, welche die dynamische Wirkung des Stroms benutzen.

Es gibt jetzt zwei Klassen von Instrumenten dieser Art; die eine Sorte, die Nadelgalvanometer, haben ein bewegliches System aus permanenten Magneten (oder weichem Eisen) und eine feststehende Spule, die von dem zu messenden Strom durchflossen wird. Die andere Sorte hat ein bewegliches Stromsystem und feststehende permanente Magnete oder Elektromagnete. Zur letzteren Klasse gehören die Drehspulengalvanometer, das Einthovensche Saitengalvanometer und das Zeiss'sche Schleifengalvanometer.

Eine besondere Art von Galvanometern, welche in beiden Klassen Anwendung finden, sind die Differentialgalvanometer, bei denen sich die Wirkungen zweier in getrennten Stromleitern fließenden Ströme auf das bewegliche System aufheben (165).

(153) Die Schwingungsdauer (halbe Periode) eines völlig ungedämpften Systems in Sekunden ist $t = \pi\sqrt{J/D}$, wenn J das Trägheitsmoment, D die auf das System ausgeübte Richtkraft bedeutet.

Ist das System gedämpft, und stehen zwei aufeinanderfolgende Schwingungen a_1, a_2 im Verhältnis $k = a_1 : a_2$ (Dämpfungsverhältnis), so heißt $\delta = \log \text{nat } k$ das logarithmische Dekrement (140); die Schwingungsdauer T ist dann größer als im ungedämpften Zustand; nämlich: $T = t\sqrt{1 + \delta^2/\pi^2}$.

Die Dämpfung ist proportional der Winkelgeschwindigkeit des Systems; die Konstante p , mit der die Winkelgeschwindigkeit zu multiplizieren ist, heißt die Dämpfungskonstante (154).

Die Einstellungszeit des Systems ist am kürzesten, wenn es sich im sogenannten aperiodischen Grenzfall befindet ($\delta = \infty$), in dem das System, ohne eine Schwingung auszuführen, die neue Ruhelage einnimmt. In diesem Fall gilt für die Dämpfungskonstante $p = 2\sqrt{JD}$.

Ist die Dämpfung noch größer, so wird das Galvanometer meist unbrauchbar, es „kriecht“. Dieser Fall kann bei zu kleinem Widerstand im Galvanometerkreis beim Drehspulengalvanometer leicht eintreten.

(154) Die Dämpfung des Instruments bei Stromdurchgang setzt sich zusammen aus derjenigen im offenen Stromkreis (Luftdämpfung, Rahmendämpfung usw.) und der durch die Bewegung des schwingenden Systems induzierten Dämpfung. Die letztere ist proportional der Geschwindigkeit des Systems und der Größe d^2/R , wenn R den Widerstand des Galvanometerkreises und d die dynamische Galvanometerkonstante (155) bedeutet. Ist also p die Konstante der gesamten Dämpfung, p_0 diejenige für den offenen Stromkreis, so ist $p = p_0 + d^2/R$. Für Nadelgalvanometer ist das zweite Glied der rechten Seite meist sehr gering, während es bei Drehspulengalvanometern gerade die Hauptrolle spielt.

Ballistischer Ausschlag. Ein kurzer Stromstoß (Entladung eines Kondensators u. dgl.) erteilt dem Galvanometer keine dauernde Ablenkung, sondern bewirkt nur einen vorübergehenden Ausschlag: das nähere s. (204).

(155) Empfindlichkeit. Das Drehmoment d des Stromes 1 CGS (=10 A) auf das System wird als **dynamische Galvanometerkonstante** bezeichnet. Ist D die Richtkraft, so ist $\varepsilon = d/D$ die Stromempfindlichkeit (in absolutem Maße), d. h. der Winkelausschlag (absolut gemessen, Einheit = $57,30^\circ$), welcher der Einheit der Stromstärke in CGS entspricht. Die zu messende Stromstärke ist dann, wenn φ den Ausschlagswinkel in absolutem Maß bedeutet: $I = \varphi/\varepsilon = \varphi D/d$.

Die Stromempfindlichkeit der Spiegelgalvanometer wird gewöhnlich als Ausschlag in Skalenteilen für einen bestimmten Skalenabstand und eine bestimmte Stromstärke und Schwingungsdauer angegeben und als „normale Stromempfindlichkeit“ bezeichnet [z. B. bei Nadelgalvanometern für $1\mu\text{A}$ und 1Ω Widerstand bei einem Spiegelabstand von 1000 Skalenteilen und einer ungedämpften Schwingungsdauer (halbe Periode) von 5 s].

Außer der Stromempfindlichkeit interessiert in vielen Fällen die **Spannungsempfindlichkeit**, welche man aus ersterer erhält, wenn man diese durch den Widerstand des für das Galvanometer in Betracht kommenden Stromkreises dividiert. Vgl. auch (166).

Nadelgalvanometer.

(156) Empfindlichkeit des Nadelgalvanometers. Beim Nadelgalvanometer hängt die Richtkraft, da die Torsionskraft des Fadens meist zu vernachlässigen ist, nur vom Richtfeld ab, das durch Richtmagnete in weiten Grenzen variiert werden kann (Astasierung). Damit wird gleichzeitig die Schwingungsdauer verändert.

Ersetzt man die Spule vom Widerstand R durch eine solche vom Widerstand 1Ω , deren Wicklung denselben Raum einnimmt, so wird das Drehmoment der Spule bei der gleichen Stromstärke angenähert im Verhältnis \sqrt{R} kleiner.

Bedeutet \mathfrak{H} das Feld einer Spule von 1Ω für den Strom 1 CGS am Ort der Nadel (vom magnetischen Moment \mathfrak{M}), so ist, wenn a eine Konstante bedeutet, die Stromempfindlichkeit $\varepsilon = a\mathfrak{M}\mathfrak{H}^2\sqrt{R}/J$.

Der Faktor $a\mathfrak{M}\mathfrak{H}/J$, in dem a einen konstanten, vom Instrument abhängigen Faktor bedeutet, ist die dem betreffenden Galvanometer entsprechende Empfindlichkeitskonstante. Je größer diese ist, desto größer ist die Empfindlichkeit. Es kommt also darauf an, das Verhältnis des magnetischen Moments \mathfrak{M} zu dem Trägheitsmoment J der Magnete möglichst groß und das Feld \mathfrak{H} möglichst stark zu machen. Das erstere geschieht dadurch, daß man nach Vorgang von **Thomson** viele kurze Magnete an einer gemeinsamen Achse befestigt oder Glockenmagnete verwendet (**Simens**), das letztere dadurch, daß man das System möglichst klein macht, um die Galvanometerwindungen dem Nadelsystem nahe bringen zu können. Die größte Empfindlichkeit der **Versuchsanordnung** wird beim Nadelgalvanometer meist dann erreicht, wenn der Widerstand der Galvanometerwindungen gleich demjenigen des äußeren Schließungskreises gemacht wird.

Die Empfindlichkeit des Galvanometers läßt sich in weiten Grenzen mittels sogenannter Astasierungsmagnete variieren. Verändert man den Widerstand des Nadelgalvanometers von R_1 zu R_2 , die Schwingungsdauer von t_1 zu t_2 und bezeichnet die entsprechenden Stromempfindlichkeiten mit ε_1 und ε_2 , so wird $\varepsilon_1:\varepsilon_2 = t_1^2\sqrt{R_1}:t_2^2\sqrt{R_2}$, d. h. die Stromempfindlichkeit wächst mit dem Quadrat der Schwingungsdauer (bei ungeändertem Trägheitsmomente) und mit der Wurzel aus dem Widerstand. Daher kann durch Erhöhung der Schwingungsdauer (mittels Astasierung) die Empfindlichkeit erheblich vergrößert werden.

(157) Tangentenbussole, Sinusbussole, Torsionsgalvanometer. Bei diesen Instrumenten ist die mathematische Abhängigkeit der Stromstärke von dem abgelesenen Ausschlag bekannt.

Die Tangentenbussole, welche sowohl als Spiegel- wie als Zeigerinstrument in Gebrauch ist, hat früher vielfach zu absoluten Strommessungen gedient, findet heute aber im Laboratorium kaum noch Anwendung, da man in der Zurückführung der Strommessung auf Normalwiderstand und Normalelement ein viel bequemeres und zuverlässigeres Mittel zur genauen Bestimmung des Stromes in absolutem Maße besitzt (200) bis (202). Die Strombahn ist bei diesen Instrumenten meist kreisförmig; im Mittelpunkt des Kreises befindet sich eine kleine Magnetnadel; die trigonometrische Tangente ihres Ablenkungswinkels ist der zu messenden Stromstärke proportional; der Proportionalitätsfaktor ist aus den Abmessungen zu berechnen. Es gibt noch verschiedene Abänderungen dieses Instrumentes. Näheres hierüber, sowie über die Sinusbussole vgl. Lehrbuch von Kohlrausch.

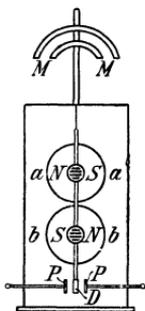


Abb. 41. Thomsonsches Galvanometer.

Das Torsionsgalvanometer (mit Zeigerablenkung) ist insofern bemerkenswert, als es der Vorläufer der jetzt fast ausschließlich gebrauchten „direkt zeigenden“ Instrumente [Präzisionsamperemeter usw. (164)] war.

Die Nadel des Instruments muß in den Meridian eingestellt werden und wird nach der Ablenkung durch den Strom mittels einer Torsionsfeder wieder in den Nullpunkt zurückgeführt. Die Stromstärke ist dem Torsionswinkel proportional.

Dieses Galvanometer war früher in ausgedehntem Gebrauch, ist aber später durch die oben erwähnten Instrumente fast vollkommen verdrängt worden.

(158) Empfindliche Nadelgalvanometer. Astatic. Infolge der bedeutenden magnetischen Störungen durch elektrische Straßenbahnen bedient man sich der Galvanometer mit astaticem Nadelpaar, die auch empfindlicher sind als diejenigen mit einfachem Magnet, oder der durch Eisenhüllen geschützten Galvanometer. Die astaticen Galvanometer besitzen ein Nadelsystem, das aus zwei entgegengesetzt gerichteten gleichstarken Magneten oder Magnetsystemen besteht, so daß es der Richtkraft des Erdfeldes nur in sehr geringem Maße unterworfen ist. Im Idealfall soll die Wirkung des Erdfeldes ganz aufgehoben sein; die Richtkraft wird dann durch den Aufhängefaden (Quarzfaden) oder ein kunstliches, inhomogenes Magnetfeld gebildet.

Die Einzelmagnete sind in der Regel horizontal angeordnet, wie bei dem Thomsongalvanometer (s. unten); nach Weiss-Brocá kann man aber auch vertikal gerichtete Magnete anwenden, wobei dann der oben befindliche, getrennte Nord- und Südpol beider Magnete das eine System bildet, die unteren Pole das andere System (C. R. Bd. 120, S. 728, 1895; Bd. 123, S. 101, 1896).

Galvanometer von Thomson und du Bois und Rubens (Wied. Ann. Bd. 48, S. 236, 1893). Die aus kurzen Magnetnadeln gebildeten Systeme sind auf dem zur Ablesung dienenden Spiegel befestigt. Beide Galvanometer haben 4 Rollen, zwei für das obere (a) und zwei für das untere (b) Magnet-system (Abb. 41), so daß verschiedene Schaltungsweisen ausgeführt werden können, um das Galvanometer dem jeweiligen Zweck anzupassen.

Durch äußere Magnete gibt man dem System meist eine bestimmte Richtung, die beliebig zum magnetischen Meridian gerichtet sein kann, von dem man auf diese Weise unabhängig wird. Man benutzt dazu gewöhnlich zwei oberhalb des Galvanometers an einer gemeinsamen Achse angebrachte Richtmagnete, die zur Erzielung eines homogenen Feldes am Orte der Nadel nach unten gebogen sind (M; Abb. 41). Diese Magnete können in vertikaler Richtung verschoben und gegeneinander verdreht werden.

Das schwingende System des Galvanometers von du Bois und Rubens (Keiser & Schmidt) besitzt am unteren Ende eine Dämpferscheibe D , die zwischen verstellbaren Metallplatten P schwingt (Luftdämpfung).

Wird die „normale Stromempfindlichkeit“ des Instruments (155) mit ε_0 bezeichnet, so berechnet sich die einer Schwingungsdauer t und einem Widerstand R der Spulen entsprechende Stromempfindlichkeit $\varepsilon = \frac{1}{25} \cdot \varepsilon_0 t^2 \sqrt{R}$.

Die normale Stromempfindlichkeit ε_0 beträgt für Thomsonsche Galvanometer (Elliott) und für dasjenige von du Bois-Rubens (mit schwerem System) etwa $\varepsilon_0 = 50$.

Die empfindlichsten Nadelgalvanometer Thomsonscher Art sind von Paschen hergestellt worden (Ann. d. Physik Bd. 33, S. 738, 1910). Die Nadeln sind nur 1—1,5 mm lang und sind an beiden Seiten eines Glasfadens befestigt; das Gehäuse wiegt nur einige Milligramm. Doch sind diese Instrumente nur an besonders erschütterungsfreien Orten verwendbar, die auch nur kleine magnetische Störungen zeigen.

Die großen magnetischen Störungen in den Städten durch die Straßenbahnen verhindern dort den Gebrauch astatischer Galvanometer im allgemeinen. Da die beiden Einzelsysteme der Gehänge nie ein völlig gleiches magnetisches Moment besitzen und auch einen kleinen Winkel miteinander bilden, so bleibt als Resultante beider Systeme ein kleines magnetisches Moment übrig, das wie jeder Magnet dem Einfluß des Erdfeldes unterworfen ist und daher den Schwankungen desselben folgt. Von Nernst und Jaeger ist neuerdings versucht worden (vgl. f. Z. Instrumentenk. 1925, S. 13), dieses resultierende magnetische Moment durch kleine Hilfsmagnete zu kompensieren, so daß das Nadelsystem von den Schwankungen des Erdfeldes unabhängig wird. Solche Galvanometer sind dann auch an Orten starker magnetischer Schwankungen brauchbar.

Panzergalvanometer. In hohem Maße unabhängig von dem äußeren Feld sind die mit Eisenhüllen umgebenen Galvanometer, von denen das gleichfalls von du Bois und Rubens konstruierte sogenannte Kugelpanzergalvanometer¹⁾ (Siemens & Halske) wohl am bekanntesten ist (Abb. 42).

Dasselbe besitzt nur ein an einem kurzen Quarzfaden q aufgehängtes Magnetsystem (μ), das innerhalb zweier Spulen (a) schwingt, die zusammen eine von weichem Eisen umschlossene Kugel bilden. Eine zweite Hohlkugel b aus weichem Eisen, innerhalb deren sich die Astasierungsmagnete (m) befinden, umschließt diese und wird ihrerseits noch von einem dritten zylinderförmigen Mantel (c) aus weichem Eisen umgeben. Außerhalb dieses Mantels befinden sich die beiden Richtmagnete M . Ablesespiegel S und Dämpferscheibe P sind unterhalb des Magnetsystems angebracht.

Die verschiedenen Panzer aus weichem Eisen müssen eine möglichst große Anfangspermeabilität besitzen. Das Erdfeld wird dann etwa auf den 1000. Teil an dem Ort des Magnetsystems abgeschwächt. Das letztere wird dann durch ein künstliches Magnetfeld mit Hilfe der Magnete (m) gerichtet; die Stärke dieses Feldes kann man in weiten Grenzen durch Verdrehen der Magnete variieren und dadurch dem System verschiedene Schwingungsdauer erteilen. Der Quarzfaden darf nur eine sehr geringe Torsionskraft besitzen. Die Normalempfindlichkeit für den Strom ist bei gut magnetisierten Systemen etwa $\varepsilon_0 = 80$ für das sogenannte „mittlere System“. Das „leichte System“ kann nur an ganz erschütterungsfreien Orten gebraucht werden.

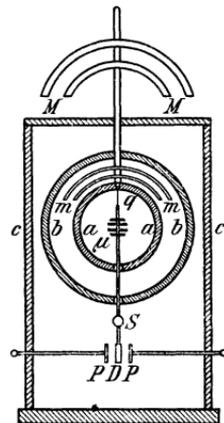


Abb. 42. Kugelpanzergalvanometer.

¹⁾ Ann. d. Phys. (4), Bd. 2, S. 84. 1900; Zeitschr. f. Instrk. Bd 20, S. 65. 1900.

Drehspulengalvanometer.

(159) Verwendung. Die Drehspulengalvanometer (160, 164) werden wegen ihrer starken elektrodynamischen Dämpfung (153) am besten im aperiodischen Grenzzustand benutzt (153); hierbei ist auch die Spannungsempfindlichkeit praktisch am größten. Da das Galvanometer häufig auch im offenen Stromkreis zur Ruhelage zurückkehren soll, ist eine mäßige Dämpfung durch den Rahmen im offenen Stromkreis erwünscht. Dadurch wird die Empfindlichkeit nur unwesentlich verringert (bei einem Dämpfungsverhältnis $k=2$ z. B. nur um 10%). Durch eine Kurzschlußaste kann man übrigens meist das Galvanometer sehr schnell dämpfen.

Während bei den Nadelgalvanometern in der günstigsten Meßanordnung der Widerstand der Spule gleich dem äußeren Widerstand zu machen ist, muß beim Drehspulengalvanometer in der günstigsten Schaltung der Widerstand des äußeren Stromkreises gerade den Grenzfall der aperiodischen Schwingung herbeiführen, während der Klemmenwiderstand des Galvanometers möglichst klein sein soll gegen den Gesamtwiderstand des Schließungskreises.

Die Drehspulengalvanometer sind in hohem Maße von dem Erdfeld und äußeren Störungen unabhängig. Starke Magnetfelder in der Nähe des Instruments können die Einstellung der stromdurchflossenen Spule allerdings beeinflussen; deshalb ist auch zu berücksichtigen, daß zwei nahe beieinander aufgestellte Instrumente dieser Art sich stören können. (Der Nullpunkt des *o f f e n e n* Instruments wird natürlich dadurch nicht verändert.) Die Richtkraft, welche dem Drehmoment der Spule entgegenwirkt, wird durch einen Metalldraht bzw. ein ebensolches Band sowie durch die zweite, untere Stromzuführung geliefert. Das Drehmoment der feststehenden Magnete auf die bewegliche Spule ist proportional der Feldstärke, der Stromstärke und der Windungsfläche der Spule. Für den aperiodischen Grenzfall ergibt sich als maximal erreichbare Stromempfindlichkeit $E = \sqrt{2\pi i R/D}$ (alle Größen in CGS), wobei vorausgesetzt wird, daß der Widerstand der Spule sehr klein ist gegen R . Wenn dies nicht der Fall ist, und auch bei offenem Kreis Dämpfung vorhanden ist, wird die Empfindlichkeit kleiner. (Näheres siehe *J a e g e r*: Ann. d. Phys. (4) Bd. 21, S. 64, 1906). Die Empfindlichkeit wächst also wie beim Nadelgalvanometer mit \sqrt{R} , aber nur mit \sqrt{i} (statt mit i^2 beim Nadelgalvanometer). Für kleine Schwingungsdauern (Oszillograph) ist daher das Drehspulensystem besonders günstig.

Wesentlich bestimmend für die Empfindlichkeit ist, wie man sieht, die Richtkraft D , die man möglichst klein zu machen suchen muß; allerdings ist es dann auch nötig, die Trägheit (J) im selben Verhältnis zu verringern, wenn die Schwingungsdauer nicht vergrößert werden soll. Hauptsächlich für Galvanometer mit kleinem Widerstand, die neuerdings immer mehr Bedeutung gewinnen (200), entstehen hierbei Schwierigkeiten, weil bei einer Verringerung der Richtkraft der Widerstand der Zuleitungen zur beweglichen Spule zunimmt.

(160) Ausführungsformen (164). Die Drehspulengalvanometer mit Spiegelablesung werden verschieden gebaut. Bei manchen Ausführungen schwingt die Spule R in dem schmalen Luftraum zwischen den Magneten M und einem Weicheisenkern E (Abb. 43), bei anderen Galvanometern ist die Spule lang und ganz schmal, und es ist kein Eisenkern vorhanden (Abb. 44).

Bei der Ausführung mit Eisenkern schwingt die Spule in einem Feld, in dem die Kraftlinien radial verlaufen, so daß der Ausschlag nahe proportional der Stromstärke ist.

Die Zufügung von Ballastwiderständen zu dem Galvanometer erscheint überflüssig; erwünscht ist, wie es jetzt häufig geschieht, eine Angabe darüber, mit welchem Widerstand die Galvanometer aperiodisch werden. Die bloße Angabe der Stromempfindlichkeit ist nicht ausreichend und kann sogar irreführend sein, da ein Galvanometer von geringerer Stromempfindlichkeit häufig eine große Meßgenauigkeit gibt. Maßgebend ist die *S p a n n u n g s e m p f i n d l i c h -*

keit für den aperiodischen Grenzfall und der in diesem Fall zur Verfügung stehende äußere Widerstand, durch den das Galvanometer geschlossen wird.

Die Justierung der Drehspulengalvanometer geschieht meist mit Hilfe einer auf dem Grundbrett des Instruments angebrachten Dosenlibelle, die so justiert sein muß, daß die Spule sich in der richtigen Lage befindet, wenn die Libelle einspielt.

Nach länger dauernden großen Ausschlägen zeigen die Instrumente häufig eine Nullpunktänderung infolge elastischer Nachwirkung des Aufhängedrahtes. Bei kleinen Ausschlägen tritt dieser Übelstand nicht ein.

Die Instrumente lassen sich leicht auf einen bestimmten Teilstrich der Skala einstellen durch Drehen an einem „Torsionskopt“ (T), der sich am oberen Ende des Aufhängedrahtes befindet.

Die größte bis jetzt erreichte „normale“ Stromempfindlichkeit (155) entsprechend einer Richtkraft von $D = 0,6$ CGS ist etwa $\epsilon_0 = 15$. Empfindliche Instrumente für 1Ω äußeren Widerstand sind zurzeit noch nicht vor-

handen (s. die Bemerkungen über den Widerstand der Zuleitung). Dagegen gibt es schon recht empfindliche Instrumente für 10 bis 20Ω (vgl. Jaeger: Zeitschr. Instr. 1908, S. 206), die für Kompensationsapparate von kleinem Widerstand geeignet sind. Die Schwingungsdauer beträgt, wenn man von den ballistischen Instrumenten absieht, meist 5 bis 7 s.

Bei 5 s Schwingungsdauer (halbe Periode) und 2 m Skalenabstand kann bei diesen Instrumenten zurzeit etwa ein Ausschlag von 5...6 Skalenteilen für $1 \mu V$ erreicht werden, falls der Widerstand zwischen den Klemmen auf etwa 10Ω verringert ist. Mittels der angegebenen Formeln läßt sich leicht die Empfindlichkeit für andere Fälle angenähert berechnen. Zweifellos sind noch weitere Fortschritte auf diesem Gebiet zu erreichen und zu erwarten.

Diesselhorst (Z. Instrumk. 1911, S. 247 u. 276) hat gleichfalls ein Instrument von kleinem Außenwiderstand angegeben, das sich durch eine kleine Schwingungsdauer auszeichnet. Dies Instrument ist nach dem Typ der Abb. 44 gebaut und wird ebenso wie das vorerwähnte von Siemens & Halske geliefert.

Auch als ballistische Galvanometer werden die Drehspuleninstrumente gebaut und sind auch hier am brauchbarsten im aperiodischen Grenzzustand (Diesselhorst: Ann. Phys. (4) Bd. 9, S. 458, 1902 und Jaeger: Bd. 21, S. 81, 1906).

Die Empfindlichkeit des Drehspulengalvanometers läßt sich nicht in so einfacher Weise verändern wie diejenige der Nadelgalvanometer. Es werden für diesen Zweck zwar Instrumente mit magnetischem Nebenschluß geliefert, durch den der Wert von d (155) verändert werden kann. Dadurch werden aber auch die Konstanten des Instruments mit Ausnahme der Schwingungsdauer geändert. Am besten verwendet man Instrumente mit mehreren Einsätzen.

Da es am bequemsten ist, im aperiodischen Grenzzustand zu arbeiten, verringert man die Empfindlichkeit des Galvanometers zweckmäßig nicht durch Vorschalten eines Widerstandes, sondern dadurch, daß man es durch einen Widerstand schließt, der den Grenzzustand herbeiführt, und daß man von einem Teil dieses Widerstandes die Zuleitungen zu dem äußeren Stromkreis abzweigt.

Von Hartmann und Braun werden auch Spulen mit zwei Wicklungen hergestellt (Differentialgalvanometer).

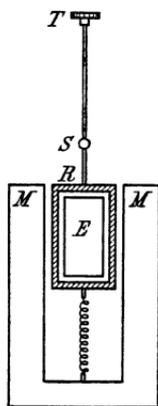


Abb. 43. Drehspulengalvanometer mit Weicheisenkern.

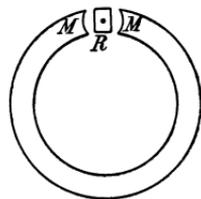


Abb. 44. Drehspulengalvanometer mit eisenloser Spule.

(161) Saiten- und Schleifengalvanometer. Bei diesen Galvanometern findet keine Drehung des stromführenden Leiterteils statt, wie bei den Drehspulengalvanometern, sondern eine seitliche Verschiebung, die mit einem Mikroskop beobachtet wird.

Bei dem **Einthovenschen Saitengalvanometer** (Ann. Physik Bd. 12, S. 1059, 1903) befindet sich in dem Feld eines sehr kräftigen Elektromagnets ein versilberter Quarzfaden, der an beiden Enden eingeklemmt ist und bei Stromdurchgang eine Ausbiegung erfährt; diese wird mit einem Mikrometer-Mikroskop gemessen. Man erhält eine große Stromempfindlichkeit und sofortige Einstellung bei allerdings sehr hohem Galvanometerwiderstand. Die Stromempfindlichkeit, welche hier nicht durch einen Ausschlagwinkel, sondern durch eine Verschiebung gemessen wird, wird zu 10^{-12} A angegeben bei einem Widerstand von 10 000 bis 20 000 Ω .

Das von **Mechan angegebene Zeissche Schleifengalvanometer** (Phys. Z. 1923, S. 242 — DRP 356 517) hat dagegen einen sehr kleinen Widerstand (6...7 Ohm). Die Schleife, welche sich in dem Feld zweier permanenter Magnete befindet, wird bei Stromdurchgang als Ganzes seitlich in ihrer Ebene verschoben. Ein kleiner Teil der Schleife wird, eventuell unter Benutzung von Interferenzstreifen, durch ein Mikroskop beobachtet, das auf zwei Vergrößerungen einstellbar ist. Die Einstellung der Schleife erfolgt sehr rasch und völlig aperiodisch. Gegen Erschütterungen ist das Instrument unempfindlich und kann daher auch auf bewegten Objekten (Schiffen usw.) ohne Aufhängung benutzt werden. Bei stehender Schleife ist die Empfindlichkeit des Galvanometers etwa doppelt so groß wie bei hängender Schleife. Die stärkere Vergrößerung liefert annähernd die zehnfache Empfindlichkeit als die schwache. Bei kleinster Empfindlichkeit (hängende Schleife) und schwacher Vergrößerung erhält man etwa $4 \cdot 10^{-7}$ A für den Skalenteil. Das Instrument kann auch objektiv benutzt werden.

Zeigergalvanometer.

(162) Arten der Zeigergalvanometer. Die Praxis verlangt direkt zeigende Apparate mit einer zeitlich unveränderlichen Empfindlichkeit, an denen man direkt die Größe von Strom oder Spannung, die man zu messen wünscht, abliest oder durch Multiplikation der Ablesung mit einer ganzen Zahl erhält. Man hat sowohl Nadelgalvanometer wie Spulengalvanometer für diesen Zweck brauchbar gemacht. Galvanometer sind ihrer Natur nach **Strommesser**; man kann sie aber, wenn sie genügend empfindlich sind, durch Vorschalten eines größeren konstanten Widerstandes auch zur Messung von **Spannungen** brauchbar machen.

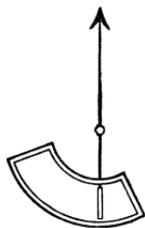


Abb. 45.
Luftdämpfung.

(163) Nadelapparate. Hierhin gehört das älteste die Stromstärken in Ampere messende Instrument, das Torsionsgalvanometer von **Siemens** (157). Es ist jetzt von den bequemeren und genaueren Drehspulen-Apparaten verdrängt worden.

Eine wichtige Rolle in der Praxis spielen die **Weicheisen- oder Dreheisenapparate**. Bei ihnen ist ein bewegliches Weicheisenstück im Magnetfeld einer festen Spule meist drehbar angeordnet. Durchfließt ein Strom die Spule, so wird das Weicheisenstück magnetisiert und in die Stellen größter magnetischer Kraftliniendichte gedreht. An dem Weicheisenstück ist ein Zeiger befestigt, der über einer Skale schwingt. Die Apparate werden meist mit horizontaler Drehachse als Schaltbrettapparate gebaut; die Schwere oder eine Spiralfeder bildet die Richtkraft. Als Dämpfung wird am besten eine Luftdämpfung benutzt, darin bestehend, daß ein mit dem beweglichen System verbundener Flügel in einem möglichst abgeschlossenen Kasten schwingt (Abb. 45). Die Skale ist nicht gleichmäßig; man hat aber durch geeignete Formgebung des Eisenstückes und der Spule in gewissen Grenzen ihre Gestalt in der Hand. Da es sich in der

Regel um Schaltbrettapparate handelt, so wird die Skale so geteilt, daß man direkt die Spannung in Volt bzw. den Strom in Ampere abliest.

Infolge der Hysterese des Eisenkernes wird die Eichung im allgemeinen für wachsende und fallende Stromstärke etwas verschieden ausfallen. Gleichstrom und Wechselstrom erfordern in der Regel etwas voneinander abweichende Skalen. Bei neueren Apparaten, die ausschließlich Federn als Richtkraft haben, ist von diesen Unterschieden kaum noch etwas zu merken.

(164) Drehspulengalvanometer. (159, 160). Eine Kupfer- oder Aluminiumspule *Sp* (Abb. 46) ist auf ein leichtes Kupferrähmchen (Dämpfung) gewickelt und dreht sich zwischen den Polen eines kräftigen Dauermagnetes *M*. Ein zylindrisches Eisenstück *E* zwischen den Polen läßt nur einen schmalen zylindrischen Luftraum frei, durch welchen sich die Spule frei bewegt. Die Spule trägt zwei Stahlspitzen (meist ohne durchgehende Achse), mit denen sie zwischen zwei Steinen (Rubinen) ruht. Die Stromzuführungen werden von zwei flachen Spiralfedern gebildet, die gleichzeitig die Richtkraft für das bewegliche System abgeben. Nur bei sehr empfindlichen Apparaten wird die Spitzenlagerung durch eine kurze Fadenaufhängung ersetzt (S. & H. und Mohs: Phys. Zeitschr., Bd. 11, S. 55. 1910, H. & Br.).

Der Magnet sowohl wie die Federn dürfen zeitlich ihre Stärke nicht verändern, weil sich sonst die Eichung des Apparates ändert. Der Zeiger ist bei den Feinmeßgeräten messerartig zugespitzt und schwingt dicht über einer Skale, zu der parallel ein Spiegelstreifen angeordnet ist. Letzterer ist angebracht, um eine Parallaxe bei der Ablesung zu vermeiden (149). Die Skale besitzt bei fast allen Feinmeßgeräten 150 annähernd einander gleiche Intervalle; die zu messende Stromstärke erhält man durch Multiplikation der abgelesenen Skalenteile mit einer Zahl *K*, der „Konstanten“ des Apparates, die auf eine runde Zahl abgeglichen wird; z. B. ist die Konstante des häufig gebrauchten Milliampereometers $\frac{1}{1000}$. Bei gut gebauten Drehspulenapparaten erfolgt die Einstellung fast aperiodisch und mit großer Schärfe; die Ablesungen sind ohne Schwierigkeit bis auf 0,1 Skalenteile ausführbar. Da sich die Spule in einem starken Magnetfelde befindet, so sind die Apparate gegen äußere Magnetfelder verhältnismäßig unempfindlich. Das Erdfeld pflegt gerade noch merkbar zu sein.

Drehspulenapparate werden mit Vorwiderstand als Spannungsmeser (198b), mit Nebenwiderstand zur Messung größerer Ströme gebraucht (197).

Unter den im Handel erhältlichen empfindlichen Apparate mit Spitzenlagerung sind solche weit verbreitet, die bei 150 Teilstrichen und einen Widerstand von 2 Ω (10 Ω) einen Meßbereich von 60 mV (45 mV) haben.

Die Drehspulenapparate werden vielfach auch als Schaltbrettapparate mit direkt ablesbarer Skale ausgeführt. Zuweilen wird, um Platz zu sparen, der Zeiger am Ende rechtwinklig umgebogen, so daß der über der Skale spielende Teil parallel zur Drehachse steht; die Skale bildet ein zylinderförmig gebogenes schmales Band (Profilinstrumente, s. ETZ 1915, S. 28).

Literatur: Handbuch der Elektrotechnik II, 4—6 von R. O. Heinrich und D. Bercovitz. Ferner Hausrath: Die Galvanometer. Helios 1909, S. 133, 173—269; Brion: Helios 1909, S. 1—49. Über Temperaturkompensation ETZ 1910, S. 1219; 1911, S. 299 u. 482, 700; Keinath: Technik der elektrischen Meßgeräte. 1921.

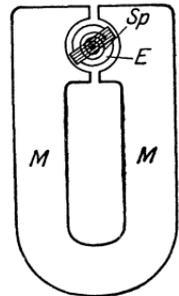


Abb. 46. Drehspulengalvanometer.

Differentialgalvanometer.

(165) Verwendung. In denjenigen Fällen, wo man die Gleichheit zweier Ströme untersuchen oder eine geringe Ungleichheit derselben mit großer Schärfe messen will, kann man ein Galvanometer mit zwei gleichen Wicklungen verwenden, durch die man die zu vergleichenden Ströme in entgegengesetzten Richtungen sendet.

Der Ausschlag ergibt die Differenz der zu vergleichenden Ströme, wenn man die Angaben des Instruments in absolutem Maße kennt; dazu ist erforderlich, daß man das Galvanometer als einfaches Instrument mit nur einer von beiden Windungslagen eicht. Methoden, bei denen das Differentialgalvanometer verwendet werden kann, werden hierdurch meist sehr bequem und geben bei richtig gewählter Anordnung sehr genaue Resultate.

Ausführung. Als Differentialgalvanometer kann man jede beliebige Form des Galvanometers benutzen, wenn man ihm zwei gleiche Wicklungen gibt. Die Drähte sollen miteinander aufgewunden werden, d. h. jede Galvanometerrolle soll beide Drähte nebeneinander enthalten; andernfalls entstehen bei aufgehängten Magnetnadeln leicht seitliche Bewegungen der letzteren.

Statt zwei Wicklungen von gleicher Wirkung zu nehmen, kann man auch solche Multiplikatoren verwenden, deren Wirkungen in einem bekannten Verhältnis stehen, oder kann einer Wicklung einen passenden Nebenschluß geben.

Prüfung eines Differentialgalvanometers. Verbindet man die beiden Windungen hinter- und gegeneinander, so muß die Nadel auch bei den stärksten Strömen, die bei der Verwendung des Instrumentes vorkommen, in Ruhe bleiben. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so kann man die Wirkung etwa durch Zusatzwindungen, die man der schwächeren Spule zufügt, gleichmachen. In manchen Fällen ist gleiche Wirkung der Spulen nicht erforderlich, z. B. bei der Widerstandsmessung nach der Kohlrausch'schen Methode des übergreifenden Nebenschlusses; in diesem Fall ist es auch nicht nötig, daß beide Spulen gleichen Widerstand besitzen (Jaeger: Zeitschr. Instrk. 1904, S. 288).

Wahl eines passenden Galvanometers.

(166) Die Wahl des zu einer Messung zu benutzenden Galvanometers hängt von der Genauigkeit ab, die man zu erreichen wünscht.

Wenn diese nicht größer als etwa $1^\circ/\infty$ ist, kann man vorteilhaft die sehr bequemen Zeigerinstrumente anwenden, welche direkt die zu messende Größe abzulesen gestatten (Präzisionsamperemeter, -voltmeter usw. (164).

Auch für noch größere Meßgenauigkeit kommt man häufig bei Anwendung von Nullmethoden noch mit Zeigergalvanometern aus, besonders wenn solche mit aufgehängtem System benutzt werden z. B. das Pyrometer von S. & H. (2054, 4).

Zu den im Gebrauch oft unbequemen Spiegelgalvanometern wird man nur dann greifen, wenn man eine größere Genauigkeit wünscht, oder die vorhandenen Zeigergalvanometer für den beabsichtigten Zweck nicht ausreichen (Messung sehr kleiner Ströme, Spannungen usw.).

Wenn es sich darum handelt, die Empfindlichkeit eines Galvanometers möglichst auszunutzen, so muß man die Meßmethoden hinsichtlich der Widerstands-anordnung usw. danach einrichten oder bei gegebenen Anordnungen eine passende Schaltung des Galvanometers wählen oder z. B. bei Drehspulengalvanometern unter mehreren das den Widerstandsverhältnissen der Anordnung am meisten entsprechende wählen. Man muß im allgemeinen möglichst danach streben, der Meßanordnung einen so kleinen Widerstand zu geben als möglich, weil dann die Spannungsempfindlichkeit des Galvanometers, welche für die Meßgenauigkeit bestimmend ist, am größten wird. Näheres hierüber siehe z. B. Jaeger: Zeitschr. Instrk., Bd. 26, S. 69, 1906.

Für ballistische Messungen sind Galvanometer von großer Schwingungsdauer (ungedämpfte halbe Periode etwa 10 s und mehr) zu wählen, weil sonst der Umkehrpunkt nicht mit Sicherheit abzulesen ist.

Galvanometer von großem Widerstand finden z. B. bei Isolationsmessungen oder beim Arbeiten mit einem Kompensationsapparat von großem Widerstand Anwendung, ferner zur Messung von Ionisationsströmen usw.

Eine ausführliche Darstellung der Galvanometer und ihrer Benutzung findet man z. B. in Jaeger, W.: Elektrische Meßtechnik, 2. Aufl. (J. A. Barth, 1922).

Dynamometer.

(167) Das Elektrodynamometer (W. Weber) besteht aus zwei stromdurchflossenen Spulen (oder Spulensystemen), von denen die eine fest steht, die andere beweglich ist. Werden die feste und bewegliche Spule bzw. von den Gleichströmen I und i durchflossen, so ist die Kraft (Anziehung oder Abstoßung), die sie aufeinander ausüben, gleich $K I i$. Dabei hängt K von den Windungszahlen und der geometrischen Lage der Spulen zueinander ab. Schaltet man beide Spulen hintereinander, so daß sie von demselben Strom I durchflossen werden, so ist die Kraft, die sie aufeinander ausüben, proportional dem Quadrat der Stromstärke. Macht sich der Einfluß des Erdfeldes auf das bewegliche System fühlbar, so macht man eine zweite Einstellung, nachdem die Stromrichtung von I und i umgedreht ist, und mittelt. Über die Verwendung des Dynamometers zu Wechselstrommessungen s. (223) ff.

(168) Stromwage. Torsionsdynamometer. Nach der Ablenkung durch den Strom werden die beiden Spulen durch Gewichte (Stromwagen) oder durch Torsionsfedern (Torsionsdynamometer) in ihre ursprüngliche Lage zueinander zurückgeführt. Beide Apparategattungen sind heutzutage als veraltet anzusehen. Eine neuere Form bei Drysdale: Electrician Bd. 76, S. 523, 558, 593, 714.

(169) Spiegeldynamometer dienen zur Erzielung größerer Empfindlichkeit; der Ausschlagwinkel wird mit Spiegel und Skala (149) beobachtet. Da dieser in der Regel nur klein ist, so bleibt K (167) nahezu eine Konstante, namentlich wenn die Wicklungen der Spulen geeignet ausgeführt werden (vgl. Frölich, O.: Theorie des kugelförmigen Elektrodynamometers, Pogg. Ann. Bd. 143, S. 643, 1871, in neuer Form ausgeführt von S. & H. — Kohlrusch, F.: Wied. Ann. Bd. 11, S. 653, 1880; 15, S. 550, 1882, ausgeführt von H. & Br.).

Zeigerapparate. Über Wechselstrommessungen mit direkt zeigenden Dynamometern und Induktionsmeßgeräte s. (218) ff.

Das Telephon als Meßinstrument für Wechselströme; Vibrationsgalvanometer.

(170) Das Hörtelephon ist als empfindliches Nullinstrument bei Wechselstrommessungen verwendbar, z. B. an Stelle des Galvanometers im Brückenweig einer von Wechselstrom durchflossenen Wheatstoneschen Brücke. Über seine Anwendung vgl. die Messung von elektrolytischen Widerständen (193), Induktivitäten (208, 209) und Kapazitäten (213 ff.). Über die Empfindlichkeit von Telephonen s. Wien, M.: Ann. d. Phys. (4) Bd. 4, S. 450, 1901; Bd. 18, S. 1049, 1905. Arch. f. Physiol. Bd. 97, S. 1, 1903. Bei niedrigen Frequenzen wird das Ohr gegen Verschwinden des Tones sehr unempfindlich. Man kann aber die Empfindlichkeit wesentlich steigern, indem man in die Nullstromleitung einen Unterbrecher mit hoher Unterbrechungszahl einschaltet (Ztsch. f. Instrk. 1920, S. 123).

Über das optische Telephon von M. Wien s. Wied. Ann. Bd. 42, S. 593; Bd. 44, S. 681, 1891. — Akustisches Galvanometer für schwache Wechselströme: ETZ 1923, S. 620.

(171) Die Vibrationsgalvanometer sind Nadel- oder Spulengalvanometer, deren bewegliche Systeme ein kleines Tragheitsmoment und eine hohe Richtkraft besitzen, so daß sie eine verhältnismäßig große Eigenfrequenz der mechanischen Torsionsschwingungen besitzen. Wird durch das Galvanometer ein Wechselstrom geschickt, so gerät das bewegliche System, falls die Frequenz des Wechselstromes mit der Eigenfrequenz des beweglichen Systems übereinstimmt, in starke Schwingungen. Bei starker Verstimmlung dagegen bleibt das bewegliche System nahezu in Ruhe (Resonanzinstrument).

Man beobachtet die Schwingungen, indem man das Licht eines Spaltes oder eines Glühfadens auf einen am beweglichen System befestigten Spiegel fallen läßt und die zurückgeworfenen Strahlen auf einem Schirm oder in einem Fernrohr

betrachtet. Gerät das System in Schwingungen, so wird das Bild in ein breites Band auseinandergezogen.

Die Vibrationsgalvanometer werden meistens als „Nullinstrumente“ gebraucht, d. h. es wird auf verschwindenden Strom eingestellt. Um eine möglichst hohe Empfindlichkeit zu erzielen, muß eine Vorrichtung vorhanden sein, um die Eigenfrequenz zu verändern und auf die Frequenz des erregenden Wechselstromes abstimmen zu können.

Auf dem Prinzip der Nadelgalvanometer beruhen die Vibrationsgalvanometer von Rubens (Wied. Ann. Bd. 56, S. 27, 1896), M. Wien (Ann. d. Phys. (4) Bd. 4, S. 442, 1901), Schering (ETZ 1918, S. 410) und Agnew (J. Am. I. E. E. Bd. 39, S. 158).

Bei den als Vibrationsgalvanometern dienenden Spulengalvanometern tritt ähnlich wie bei den Oszillographen an die Stelle der Spule ein bifilares Band, das zwischen den Polen eines Dauermagnetes hindurchgezogen ist. Länge und Spannung der Bänder bestimmen die Eigenfrequenz. (C a m p b e l l. Phil. Mag. (6) Bd. 14, S. 494, 1907; D u d d e l l. ebenda Bd. 18, S. 168, 1909; S c h e r i n g u. S c h m i d t. Arch. f. Elektrot. Bd. 1, S. 254, 1912 u. Ztschr. f. Instrk. Bd. 39, S. 140).

Über die Theorie s. Z ö l l i c h: Arch. f. El. Bd. 2, S. 369 u. Bd. 3, S. 369; G r u h n: Arch. f. El. Bd. 8, S. 210.

Über Vibrationselektrometer: G r e i n a c h e r: ETZ 1913, S. 1485 und C u r t i s: Bull. Bur. of Stand. 11, S. 535, 1915. Vibrationsleistungsmesser, B i e r m a n n s: Arch. f. El. Bd. 9, S. 182.

Elektrokalorimeter.

(172) **Hitzdrahtinstrumente.** Die in einem stromdurchflossenen Drahte erzeugte Wärme ist proportional dem Quadrat der Stromstärke und bei Wechselstrom infolge der Wärmeträgheit dem Quadrat des Effektivwertes (129, 130). Abgesehen von sekundären Störungen sind also Elektrokalorimeter Apparate, welche mit Gleichstrom geeicht bei Gebrauch mit Wechselstrom richtige Angaben machen. Die einzelnen Apparategattungen unterscheiden sich durch die Art und Weise, wie die Stromwärme gemessen wird.

a) H a r t m a n n & B r a u n benutzt in seinen Hitzdrahtapparaten die Verlängerung des Drahtes. Der zu messende Strom durchfließt einen Platiniridiumdraht (in älteren Apparaten einen Platinsilberdraht) AB (Abb. 47);

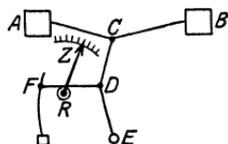


Abb. 47. Hitzdrahtstrommesser.

an einem mittleren Punkte greift seitlich ein zweiter Draht an, dessen Ende E an der Grundplatte befestigt ist; ein dritter sehr feiner Draht DF , dessen Ende in der Mitte des zweiten Drahtes an einer Rolle R und wird an seinem andern Ende durch eine Feder F gespannt erhalten. Erwärmt sich der erste Draht, so wird sein mittlerer Punkt und derjenige des zweiten Drahtes zur Seite gezogen, die Rolle und der mit dieser verbundene Zeiger Z dreht sich. Der Strommesser wird in Verbindung mit Nebenwiderständen

bis zu hohen Stromstärken gebaut. Bei den Apparaten mit Platiniridiumdrähten werden die Hitzdrähte bis zu verhältnismäßig hohen Temperaturen beansprucht; infolgedessen treten keine Nullpunktswanderungen mehr auf (ETZ 1910, S. 268).

Bei den Apparaten zur Messung von Hochfrequenzströmen ist eine größere Zahl von parallel geschalteten breiten, dünnen Hitzbändern symmetrisch zwischen zwei parallelen Ringen ausgespannt (ETZ 1911, S. 1134; Jahrb. d. drahtl. Tel. Bd. 5, S. 1912). — Über Temperaturkompensation vgl. ETZ 1924, S. 365 und ETZ 1925, S. 359.

Hitzdrahtspiegelinstrumente: F r i e s e (ETZ 1895, S. 726, s. auch S. 784, 812); F l e m i n g (Phil. Mag. Ser. 6, Bd. 7, S. 595, 1904).

b) Messung durch Widerstandserhöhung (Barretter). Der Hitzdraht bildet einen Zweig einer Wheatstoneschen Brücke, deren übrige Zweige aus einander gleichen Widerständen und Drosselspulen bestehen. Im Hauptzweig ist eine Hilfs-Gleichstromquelle, im Brückenweig ein Galvanometer eingeschaltet. Legt man an den Zweig mit dem Hitzdraht eine Wechselstromquelle, so kann der Wechselstrom wegen der Drosselspulen nicht in die anderen Zweige treten, er erwärmt also nur den Hitzdraht und stört dadurch das Gleichgewicht der Brücke. Die Empfindlichkeit der Barretter kann sehr groß gemacht werden. Fessenden: ETZ 1902, S. 586 ff. Gati, B.: El. World Bd. 47, S. 1341, 1906. Phys. Z. Bd. 10, S. 897, 1909. Schmidt, K. E. F.: Phys. Z. 1906, S. 642; 1907, S. 601. Dynamobolometer von Paalзов und Rubens (Wied. Ann. Bd. 37, S. 529, 1889). Tissot: J. phys. Bd. 3, S. 525, 1904.

c) Man kann auch thermoelektrische Kräfte benutzen, indem man in jeden der vier Zweige einer Wheatstoneschen Brücke ein (oder mehrere) Thermolemente 1—4 schaltet (Abb. 48), von denen je eine Lötstelle (Verzweigungspunkt) an einen dicken Metallklotz gelötet ist, so daß sie konstante Temperatur besitzt. Haben alle vier Zweige den gleichen Widerstand, so gelangt kein Wechselstrom in den Brückenweig. Andererseits ist die Richtung der Thermokräfte so gewählt, daß sie durchweg einen Gleichstrom derselben Richtung in den Brückenweig schicken, der dort mit einem passenden Gleichstrominstrument G gemessen wird (Salomonson: Phys. Zeitschr. Bd. 7, S. 463, 1906). Durch Anwendung sehr feiner Drähte und Einschließen derselben in ein Vakuum kann eine sehr große Empfindlichkeit erreicht werden (Scherin g: Zeitschr. Instr. Bd. 32, S. 69, 101, 1912). Technische Apparate nach diesem Prinzip von Gugenheim er (ETZ 1912, S. 73, 94); einfacher Gerlach: Helios Bd. 19, S. 63, 1913. Vgl. ferner ETZ 1923, S. 390 und 1925, S. 848. — Über das Thermogalvanometer von D u d e l l s. Electrician Bd. 56, S. 559, 1906. — Über die Verwendung von Elektronenröhren zur direkten Spannungsmessung s. ETZ 1924, S. 14.



Abb. 48. Strommessung durch Thermolemente.

Elektrometer.

(173) Das **Elektrometer** benutzt zur Messung die mechanischen Kräfte, welche Elektrizitätsmengen aufeinander ausüben. Diese Kräfte sind von den Spannungen zwischen den einzelnen Teilen abhängig, sie sind auch bei hohen Spannungen klein; infolgedessen erfordert das Arbeiten mit Elektrometern Umsicht und peinliche Sorgfalt. Die Apparate eignen sich deshalb mehr für wissenschaftliche Laboratorien als für technische Messungen, sind aber für gewisse Messungen unentbehrlich.

Das **Schutzring-Elektrometer** besteht aus zwei Ebenen, wagrechten Platten, von denen die untere, größere feststeht, während die obere, kleinere aufgehängt ist; außerdem wird die obere Platte durch eine feststehende Ringplatte zu der Größe der unteren ergänzt. Die bewegliche Scheibe erfährt eine Anziehungskraft
$$= \frac{S}{8\pi} \left(\frac{U - U_0}{a} \right)^2$$
, worin S die Größe der beweglichen Scheibe, a den Abstand und $U - U_0$ die Spannung zwischen den beiden Scheiben bedeutet.

Das **Quadrantenelektrometer** enthält vier isolierte Quadranten (Abb. 49) (scheiben- oder schachtelförmig), von denen je zwei gegenüberliegende $Q_1 Q_1$ bzw. $Q_2 Q_2$ leitend miteinander verbunden werden; ober- oder innerhalb der Quadranten schwebt eine leichte Nadel N von der Form einer 8 (Biskuit genannt), welche von den

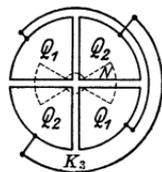


Abb. 49. Quadrantenelektrometer.

Quadranten isoliert ist. Das Ganze wird von einem möglichst allseitig geschlossenen metallischen Gehäuse umgeben.

Die Ladung wird der Nadel am besten durch den metallischen Aufhängefaden zugeführt (Thomson, W., Hallwachs: Wied. Ann. Bd. 29, S. 1, 1886).

Es wird Flüssigkeitsdämpfung und für empfindlichere Apparate Luftdämpfung angewandt; Dämpferflügel und Dämpfergehäuse müssen auf demselben Potential sein.

Bei Messungen statischer Potentiale wird das Gehäuse meist an Erde gelegt; die Isolation (Bernstein oder Quarz) muß möglichst vollkommen sein. Bei Messungen dynamischer Potentiale, die für technische Zwecke in Frage kommen, brauchen diese beiden Bedingungen nicht erfüllt zu sein.

(174) Messungen mit dem Quadrantenelektrometer. Die allgemeine Formel für die Ablenkung eines Quadrantenelektrometers lautet (Zeitschr. Instrk. 1903, S. 97):

$$\alpha = K \frac{(U_1 - U_2)(U_n - \frac{1}{2}(U_1 + U_2))}{1 + a(U_n - U_1)(U_n - U_2) + b(U_1 - U_2)^2}.$$

Darin bedeuten V_n, V_1, V_2 die Potentiale, auf denen sich Nadel und Quadrantenpaare befinden, gemessen gegen das Potential des Gehäuses. Über den Einfluß der Kontaktpotentiale s. Hallwachs (Wied. Ann. Bd. 29, S. 1, 1886). Durch geeignetes Kommutieren kann der Einfluß der Kontaktpotentiale beseitigt werden; gleichzeitig wird dadurch für die einzelnen Anwendungen die Formel vereinfacht.

Die Empfindlichkeit der Elektrometer ist abhängig von Länge, Durchmesser und Material der Fäden, Höhe der Quadrantenschachtel, Form und Größe der Nadel.

1. **Quadrantenschaltung.** Zwischen Nadel und Gehäuse hohes Hilfspotential H ; die zu messende Potentialdifferenz U an die Quadrantenpaare, von denen das eine mit dem Gehäuse verbunden ist. Die Ablenkung ist proportional $U \cdot H$. Die Methode eignet sich vornehmlich zur Messung kleiner Potentialdifferenzen.

2. **Nadelschaltung.** Die beiden Quadranten werden auf entgegengesetzt gleiche Hilfspotentiale $\pm H$ gegen Gehäuse gebracht. Die Nadel wird auf das zu messende Potential U gebracht. Die Ablenkungen der Nadel sind proportional $U \cdot H$.

3. **Doppel- oder idiostatische Schaltung.** Das eine Quadrantenpaar wird mit dem Gehäuse verbunden, das andere Paar und die Nadel auf das zu messende Potential gebracht. Die Ablenkungen der Nadel sind angenähert dem Quadrate des letzteren proportional. Diese Schaltung eignet sich vornehmlich zur Messung höherer Potentiale.

Über die Anwendung des Quadrantenelektrometers für Wechselstrommessungen (224, 225). Über Binantenelektrometer s. Dolezalek: Ann. d. Phys. (4) Bd. 26, S. 312, 1908. Über Saitenelektrometer (Edelmann, München) s. Ztschr. Instrk. 1907, S. 291 und Lutz: Phys. Ztschr. Bd. 9, S. 642, 1908.

(175) Direkt zeigende technische Elektrometer dienen in der Regel zur Spannungsmessung und bestehen aus einem festen und einem beweglichen Plattensystem, die voneinander isoliert sind und die beiden Pole des Instrumentes bilden. Das bewegliche System trägt den Zeiger für die Skale und ist entweder an einem Metallfaden aufgehängt (z. B. Multizellularvoltmeter von Lord Kelvin für Spannungen von 100—1000 V; Hartmann & Braun) oder in Spitzen gelagert, die gleichzeitig zur Zufuhr der Ladung des Systems dienen. Die Skale wird empirisch gefunden. Schaltbrettapparate der AEG., S. & H., H. & Br. für Spannungen von 1000—10 000 V; für höhere Spannungen Vorschaltkondensatoren (224). Franke, A.: Wied. Ann. Bd. 50, S. 163, 1893. Peukert: ETZ, Bd. 1898, S. 657 und Bd. 1901, S. 265. Szilard: ETZ 1914, S. 537. Dieckmann: Phys. Ztschr. 13, S. 108.

(176) Elektrometer für sehr hohe Spannungen. Zwischen den Platten eines Luftkondensators, die an die zu messende Potentialdifferenz angelegt werden, ist unter 45° Neigung zu den Platten an einem feinen Faden ein dünnes Aluminiumblech aufgehängt. Ebert und Hoffmann (Ztschr. Instrk. 1898, S. 1). — Elektrostatische Wage von Cremieu und Müller (Ann. d. Phys. (4) Bd. 28, S. 585, 1909). Um ein Überschlagen von Funken zwischen den einander anziehenden Metallteilen zu verhindern, wird als Dielektrikum entweder Öl (Grau, A.: ETZ, Bd. 1905, S. 269 und Jona: ETZ 1906, Bd. 27, S. 295. Westinghouse Ges.: Electrician 55, S. 705, 1905. Siemens & Halske) oder Preßluft (Tschernyschew: Phys. Ztschr. 1910, Bd. 11, S. 445) verwendet, ferner Abraham u. Villard: J. phys. 1911, Bd. 1, S. 525. Palm (H. & Br.) verwendet ebenfalls Druckluft und kompensiert den Ausschlag auf elektrodynamischem Wege (ETZ Bd. 41, S. 695). Kugelvoltmeter von Koch und Sterzel; vgl. ETZ 1924, S. 117.

(177) Auch das Goldblattelektroskop ist als Meßinstrument ausgebildet, indem man an einer Skale die Divergenz der Blättchen abliest (Exnersches Elektroskop, verbessert von Elster und Geitel: Phys. Ztschr. Jahrg. 4, S. 137; vgl. auch Braun: Wied. Ann. 1887, Bd. 31, S. 856) u. Berndt: Helios Bd. 26, S. 429, 437, 449, 464).

Über Lippmannsche Kapillarelektrometers. Pogg. Ann. Bd. 149, S. 546, 1873. Literatur bei Ostwald-Luther: Physiko-chemische Messungen. 3. Aufl. Leipzig 1910.

Schreibende Meßgeräte.

(178) Direkt zeigende Meßgeräte werden zu schreibenden gemacht, indem an dem Zeiger des Meßgerätes eine Schreibfeder befestigt wird, welche auf einem von einem Uhrwerk bewegten Papierstreifen die Stellungen des Zeigers in Abhängigkeit von der Zeit aufschreibt. Da durch das Ausfließen der Tinte und das Aufliegen der Feder reibende Kräfte entstehen, so müssen diese Meßgeräte eine starke Richtkraft besitzen (z. B. Drehfeldmeßgeräte) (228). Die Uhrwerke für die Fortbewegung des Papierstreifens können so eingerichtet werden, daß ihnen verschieden große Geschwindigkeiten erteilt werden können. Rasch veränderliche Vorgänge erfordern kurze Eigenschwingungsdauer des beweglichen Systems und starken Papiervorschub, s. auch Oszillographen (237).

Um die Reibung der Feder unschädlich zu machen, sind zwei Methoden im Gebrauch. Bei der ersten trägt der Zeiger keine Schreibfeder, sondern einen Metallstift, der von einem Bügel in kurzen gleichmäßigen Zeitintervallen gegen ein vor dem Registrierstreifen liegendes Farbband gedrückt wird. Nach Abheben des Bügels schwebt also der Zeiger wieder frei und kann sich neu einstellen.

Bei der zweiten Methode (Siemens & Halske) läßt man vermittelt eines kleinen Hilfsinduktors einen Funkenstrom vom Zeiger durch das Registrierpapier hindurch auf eine dahinterliegende Metallplatte überströmen; der Funkenstrom durchbohrt das Papier und hinterläßt entsprechend der Zeigereinstellung eine feine Linie.

Die Registrierung mittels Photographie hat sich wenig eingebürgert.

Die Apparate mit drehbarem Zeiger haben den Nachteil, daß sie die zu messende Größe nicht in geradlinigen, sondern in kreisförmigen Koordinaten aufzeichnen. Um geradlinige Koordinaten zu erhalten, benutzte Hartmann & Braun früher die Weicheisenapparate von F. Kohlrausch, bei denen ein Weicheisenzylinder in eine Spule mit vertikaler Achse gezogen wird.

Siemens & Halske (ETZ 1910, S. 172; 1915, S. 28) wendet bei seinen Drehspul- und Drehfeldmeßgeräten eine eigentümliche Hebelübertragung an, durch welche sich die Spitze des Zeigers nahezu in einer geraden Linie bewegt (Ellipsenlenker). Namentlich für Ferrarisinstrumente ist die Aufzeichnung in geradlinigen Koordinaten auch auf anderem Wege erreicht, z. B. H. & Br.: ETZ 1913, S. 91;

Keinath: Helios F 1913, S. 309 und E 1915, S. 585, 701, 722; ders. ETZ 1913, S. 91; 1915, S. 633, 651, 662, 679 und „Die Technik der elektrischen Meßgeräte“ S. 65, München und Berlin 1921. Zschr. f. Fernmeldet. 1921, S. 141, 168. — Registrierapparate mit Tintenschrift: ETZ 1925, S. 1450.

Voltameter.

(179) Das Voltameter mißt die Stärke der Ströme (Gleichströme) an ihrer Einwirkung auf zersetzbare Leiter; vgl. (78). Es dient zur Bestimmung der durch eine Leitung geflossenen Elektrizitätsmenge Q , kann aber auch zur Eichung anderer Strommesser verwendet werden.

Die Kathode, an der das Metall niedergeschlagen (oder der Wasserstoff ausgeschieden wird), ist mit dem negativen Pol, d. h. beim Gebrauch von Elementen mit dem Zink beim Gebrauch von Akkumulatoren mit dem Bleipol zu verbinden.

Über das Wasser-, Knallgas- und Wasserstoffvoltameter siehe Kohlrausch: Lehrbuch.

Von den Metallvoltametern wird das Silbervoltameter zur Messung

schwächerer, das Kupfervoltameter für stärkere Ströme benutzt. Das Quecksilbervoltameter spielt in der Technik als Elektrizitätszähler eine Rolle.

Durch das Silbervoltameter ist die gesetzliche Stromeinheit (das internationale Ampere) definiert, indem nach dem Gesetz vom 1. Juni 1898 das Ampere durch einen Silberniederschlag von 1,118 mg/s dargestellt wird. Als Silbervoltameter benutzt man einen Silber-, Gold- oder Platintiegel, der mit Silberlösung (15—30 proz. Lösung von neutralem Silbernitrat) gefüllt auf eine blanke Kupferplatte gestellt wird. Letztere ist mit einer Klemmschraube verbunden, bei welcher der Strom austritt. In den Tiegel taucht von oben als Anode eine Silberstange, ohne den Boden oder die Wände des Tiegels zu berühren (Abb. 50), Kohlrauschsche Form. Damit von der Silberstange nicht Teilchen, die sich

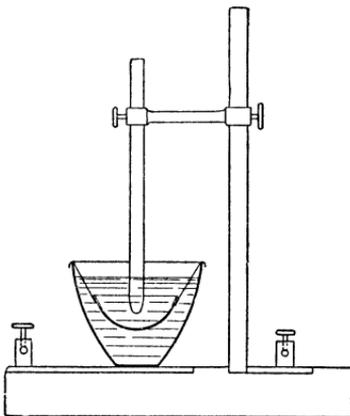


Abb. 50. Silbervoltameter.

absondern, in den Tiegel fallen, bringt man unter der Stange im Tiegel ein kleines Glaschälchen an, das an einigen Glasstäbchen angeschmolzen ist und mittels der letzteren in den Tiegel eingehängt wird. Organische Substanzen als Umhüllung der Anode sind zu vermeiden. Statt des Platintiegels kann man auch ein Platinblech verwenden, das in irgend einem passenden Gefäß einem Silberblech gegenübergestellt wird. Die Kathode wird auf diese Weise leichter und billiger. Die Ränder des Bleches biegt man etwas nach der von der Anode abgewandten Seite um. Näheres hierüber siehe Kohlrausch, Lehrbuch; hinsichtlich sehr genauer Messungen mit dem Silbervoltameter vgl. z. B. auch Jaeger und von Steinherr: Zeitschr. Instrk. 1908, S. 327 und 353.

Beim Kupfervoltameter verwendet man als Anode ein mit elektrolytisch gefälltem Kupfer überzogenes oder aus solchem hergestelltes Blech; als Kathode stellt man diesem ein Kupferblech oder noch besser ein Platinblech gegenüber. Näheres hierüber siehe bei Förster: Zeitschr. Elektrochem. Bd. 3, S. 479, 1897.

Normalelemente.

(180) Normalelemente werden aus chemisch reinen Stoffen nach genauen Vorschriften zusammengesetzt. Sie dürfen bei den Messungen stets nur mit äußerst schwachen Strömen beansprucht werden, damit keine erhebliche Polarisation eintritt. Haben die Elemente eine geringe Polarisation erfahren, so nehmen sie nach einiger Zeit wieder den normalen Wert an. (Jaeger: Ann. d. Phys. (4) Bd. 14, S. 726, 1904).

Die Normalelemente spielen eine wichtige Rolle, indem sie neben den Normalwiderständen bei praktischen Messungen die zweite elektrische Grundeinheit repräsentieren. Im Jahre 1908 wurde in London das Westonsche Element als Normalelement zur internationalen Annahme empfohlen. Nebenher findet auch das Clarkelement heute noch Anwendung, obwohl es im Gebrauch infolge seines großen Temperaturkoeffizienten von fast $1\%_{\infty}$ für den Grad erheblich unbequemer als das Westonsche Element und daher jetzt durch dieses fast völlig verdrängt ist.

(Zusammenfassende Darstellung über Normalelemente siehe: Jaeger: Die Normalelemente und ihre Anwendung in der elektrischen Meßtechnik. 1902. Halle a. S., W. Knapp u. Elektr. Meßtechnik J. A. Barth 1922.)

(181) Das Normalelement von Clark besteht aus Quecksilber, darüber Quecksilberoxydsulfat (Merkurosulfat) am positiven und amalgamiertem Zink in Zinksulfat am negativen Pol. Die EMK ist rund $1,433 - 0,0012(t - 15^{\circ})$ Volt. Das Element soll in den letzten 24 Stunden vor dem Gebrauch keine Temperaturschwankungen von mehr als 5°C durchgemacht haben. (Vgl. Kahle: Wied. Ann. Bd. 51, S. 174, 203. Bd. 67, S. 1.)

(182) Das Normalelement von Weston besteht aus Quecksilber oder amalgamiertem Platin in Merkursulfat und Kadmiumpulver in Kadmiumsulfat. Es gibt zwei Formen; die der Physik.-Techn. Reichsanstalt, welche auch in anderen Ländern als Normal der Spannungseinheit angenommen ist, hat festes Kadmiumsulfat im Überschuß (amtlich jetzt Westonsches Element genannt), während von der Weston-Instrument-Co. auch Elemente mit bei 4°C gesättigter Kadmiumsulfatlösung ausgegeben werden, die praktisch keine Änderung der Spannung mit der Temperatur zeigen. Da zwischen diesen beiden Typen bei Zimmertemperatur eine Spannungsdifferenz von etwa $0,4\%_{\infty}$ besteht (das Element mit der ungesättigten Lösung hat die höhere Spannung), so muß man bei genaueren Messungen darauf achten, welchem Typus das verwendete Element angehört. Beide Formen werden von der Physik.-Techn. Reichsanstalt geprüft.

Das Element hat gewöhnlich H-Form (Abb. 51); zwei unten geschlossene senkrechte Röhren sind durch ein wagrechtes Rohr verbunden. In die Böden der senkrechten Röhren sind kurze Platindrähte eingeschmolzen; der eine dieser Drähte ist mit Kadmiumpulver von $12\frac{1}{2}\%$ Cd, der andere mit Quecksilber bedeckt; auf dem ersteren liegt bei der Form der Reichsanstalt eine Schicht Kadmiumsulfatkristalle, auf dem letzteren die Paste aus dem Quecksilbersalz (Merkurosulfat), metallischem Quecksilber, Kadmiumsulfatkristallen und einer Lösung von Kadmiumsulfat; dann wird das Element mit einer konzentrierten Kadmiumsulfatlösung gefüllt und die oberen Enden der Röhren verschlossen, am besten abgeschmolzen. Bei dem Element mit ungesättigter Lösung fehlen die Kristalle von Kadmiumsulfat.

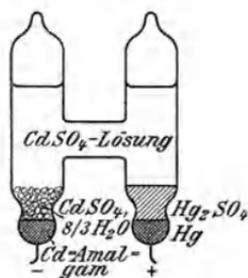


Abb. 51. Westonsches Normalelement.

Nach den neusten internationalen Vereinbarungen (ETZ 1910, S. 1303) wird seit dem 1. Jan. 1911 als Spannung des Westonschen Elements bei 20° 1,0183 int. Volt angenommen. In der Nähe von 20° berechnet sich die Spannung angenähert als

$$E_t = E_{20} - 0,00004 (t - 20^{\circ}).$$

Die Spannung des Elementes mit ungesättigter Lösung ist unabhängig von der Temperatur gemäß obiger Festsetzung etwa 1,0187 int. Volt.

Näheres über dieses wichtige Element besonders auch wegen des Merkursulfats siehe noch in den Tätigkeitsberichten der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt aus den letzten Jahren (Zeitschr. f. Instrk.).

(183) Andere Normalelemente. Das Kupferzinkelement (Fleming) wird in mehreren Formen als Normalelement empfohlen; das Element kann aber nur bei geringen Ansprüchen an die Genauigkeit benutzt werden. In Fällen, wo es nur auf einen grob angenäherten Wert ankommt, ist auch der Akkumulatur als Normalelement zu verwenden; seine Entladungsspannung hängt von der Säurekonzentration und der Temperatur ab und ist durchschnittlich zu etwa 1,9 V anzusetzen. Eine größere Genauigkeit als etwa 5% kann man dabei aber nicht verbürgen.

Widerstände.

(184) Herstellung von Widerständen. Material. Zur Herstellung von Meßwiderständen eignet sich am besten Manganin (Isabellenhütte in Dillenburg, S. 63). Es hat einen verhältnismäßig großen spezifischen Widerstand (0,42) und einen fast verschwindenden Temperaturkoeffizienten. Außerdem zeichnet es sich durch eine sehr kleine Thermokraft gegen Kupfer aus ($1,5 \mu \text{ V}/^{\circ}\text{C}$). Andererseits oxydiert sich Manganin verhältnismäßig leicht, man muß es daher mit einer Schellackschicht überziehen. Andere Widerstandsmaterialien mit ähnlichen Eigenschaften sind z. B. Kruppin, Rheostatin, Resistin; vgl. Tab. S. 63.

Leiterformen und Kerne. Größere Widerstände (von $0,1 \Omega$ an aufwärts) werden in der Regel aus Drähten, kleine wegen der besseren Kühlung aus Blechen hergestellt. Als Kern der Rollen dienen am besten mit dünnem Seidenband bewickelte Metallröhren oder, wenn kein Metall angewandt werden soll, Porzellanrollen. Die Drähte sollen doppelt mit Seide umspinnen sein; sogenannte Emailldrähte sind für gute Widerstände nicht brauchbar.

Manche Vorteile bietet es, die Widerstände in Form von dünnen seidenumsponnenen Drähten oder blanken dünnen Bändern (Platte) auf Glimmerblätter aufzuwickeln. Diese Widerstände lassen infolge der Knickstellen an den Kanten des Glimmerblattes gelegentlich an Konstanz zu wünschen übrig.

Nach dem Wickeln werden die Widerstände schellackiert und in einem Ofen bei 140°C 10 Stunden lang „künstlich gealtert“, wobei der Widerstand um 1—2% abnimmt. Bei genauen Widerständen müssen alle Verbindungen zwischen Manganinkörper und Kupferzuleitungen mit Hartlot hergestellt werden.

Art der Wicklung. In der Regel werden Drahtwiderstände bifilar gewickelt, um ihre Selbstinduktion möglichst herabzusetzen. Je dicker der Widerstandsdraht ist (kleine Widerstände), um so unvollkommener wird dies erreicht. Über eine Wicklungsart zur vollkommeneren Beseitigung der Selbstinduktion s. K. W. Wagner: ETZ 1915, S. 605, 621.

Bei größeren Widerständen (500Ω) macht sich die Kapazität störend bemerkbar. Ihre Wirkung wird aufgehoben durch geeignete Unterteilung der Widerstandsrollen und die Wicklung von Chaperon (151).

Weitere Literatur: Orlich: Verh. d. phys. Ges. 1910, S. 949. Curtis u. Grover: Bull. Bur. of Stand. 1912, Bd. 8, Nr. 3. Wenner, Weibel und Silsbee: Bull. Bur. of Stand., Bd. 12, S. 11. Orlich u. Schultze: Arch. f. El. Bd. I, S. 1.

(185) Normalbüchsen für größere Widerstände. Die Normalbüchsen für Widerstände von 0,1 bis 10 000 Ω besitzen als Zuleitungen zwei starke Kupferbügel, die in zwei Quecksilbernapfe eingehängt werden. Der Widerstand rechnet von einem Quecksilbernapf zum andern. Während der Messung wird die Büchse in ein Petroleumbad eingehängt. Die zeitliche Konstanz der Widerstände ist sehr groß (Jaeger und Lindeck: Ztschr. Instrk. Bd. 18, S. 97, 1898 und Bd. 26, S. 15, 1906). Über geringe Änderungen durch die hygroskopischen Eigenschaften des Schellacks s. Rosa und Babcock (Bull. Bureau of Standards Bd. 4, S. 121, 1907). Lindeck: Ztschr. Instrk. Bd. 28, S. 229, 1908. Grüneisen: Ztschr. Instrk. Bd. 40, S. 115.

(186) Kleine Widerstände. Widerstände unter 0,1 Ω werden schon wegen der Kühlung aus Blechen hergestellt. Im Interesse der Konstanz ist es zu empfehlen, die Bleche nicht dünner als 0,5 mm zu wählen. Bei sehr kleinen Beträgen wird eine größere Zahl von Blechen parallel geschaltet. Sie werden in starke Kupferklötze, die zu den Hauptstromklemmen führen, hart eingelötet. Außerdem zweigen von den Kupferklötzen dicht an den Enden des Manganinkörpers zwei Kupferleitungen zu den Potentialklemmen ab. Der Widerstand rechnet von der einen Verzweigungsstelle bis zur anderen, so daß er fast ausschließlich aus Manganin besteht.

Die kleinen Widerstände werden in zwei Formen hergestellt; der kleine Typ kann bei guter Petroleumkühlung mit 100 W belastet werden, der größere mit 1000 W. Der größere enthält außer einer Rührvorrichtung eine Kühlschlange, durch welche während der Belastung dauernd Wasser fließen muß.

Die gewöhnlichen Normalwiderstände aus Blech dürfen nicht ohne weiteres mit Wechselstrom benutzt werden, weil auf Beseitigung der Selbstinduktion nicht Rücksicht genommen ist. Über praktisch induktionsfreie Normalwiderstände aus bifilar gelegten Blechen s. Orlich: Ztschr. Instrk. Bd. 29, S. 241, 1909; ferner Paterson und Rayner (Journ. Inst. Electr. Eng. Bd. 42, S. 455, 1909), welche wassergekühlte Rohre verwenden; die Induktivität ist nach Campbell (Electrician Bd. 61, S. 1000, 1908) kompensiert. Schering: Ztschr. Instrk. Bd. 39, S. 140.

(187) Widerstandssätze, Rheostaten. Eine größere Zahl von Rollen, die in der oben angegebenen Weise hergestellt sind, wird zu einem Widerstandssatz vereinigt.

a) Stöpselkästen. Die Enden der Rollen werden an Messingklötze geführt, die durch Stöpsel kurz geschlossen werden können (s. Abb. 52). Die Stöpsel

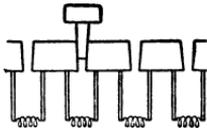


Abb. 52. Stöpselkasten.

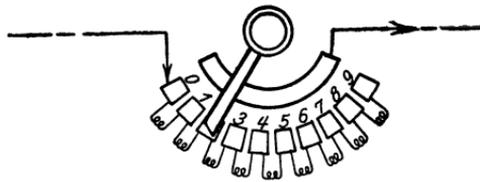


Abb. 53. Kurbelkasten.

müssen gut eingeschliffen sein, die Kontaktflächen sauber gehalten werden. Stöpselkästen verschwinden aus der Praxis mehr und mehr.

b) Kurbelkästen.

Neuere Widerstandssätze werden fast durchweg als Kurbelkästen gebaut; jeder Kurbel entspricht eine Dekade. Am besten macht man die Drehachsen der Kurbel nicht stromleitend, sondern verwendet eine Doppelbürste, die an dem Kurbelarm befestigt ist und einen Kontaktklotz des Widerstandes mit einer parallel zu den Klötzen verlaufenden Leiste verbindet (Abb. 53). Die Bürsten

müssen sehr gut eingeschliffen sein, damit der Übergangswiderstand vernachlässigbar klein bleibt. Die Schleifflächen sind hin und wieder mit reinem Petroleum zu reinigen.

Normalwiderstände und Widerstandssätze werden von der Phys.-Techn. Reichsanstalt geprüft und beglaubigt.

Verfahren der Widerstandsmessung.

(188) Widerstandsmessung durch Vertauschung. Man schaltet nach Abb. 54 und reguliert den Widerstand im Kasten R so, daß der Strommesser bei Umlegen des Umschalters seinen Ausschlag nicht ändert; dann ist: $R_x = R$.

(189) Widerstandsbestimmung durch Messung von Strom und Spannung. Widerstände sind häufig ziemlich stark von der Temperatur abhängig. Deshalb empfiehlt es sich in praktischen Fällen, die Messung mit der Strombelastung und bei derjenigen äußeren Temperatur vorzunehmen, bei der man den Widerstand zu kennen wünscht. Wird keine so große Genauigkeit verlangt, so ist es am zweckmäßigsten, den Belastungsstrom I , der auf den gewünschten Wert gebracht wird, durch einen geeigneten Strommesser zu messen und gleichzeitig den zugehörigen Spannungsabfall E an den Klemmen des Widerstandes durch einen geeigneten Spannungsmesser. Zweckmäßig werden dazu gute Präzisionsapparate gebraucht mit einer genügend großen Zahl von Meßbereichen (etwa im Verhältnis 1 : 2 fortschreitend) für Strom und Spannung. Man findet dann den gesuchten Widerstand R_x aus E/I . Vorsicht ist wegen des Eigenverbrauches der Meßapparate am Platze. Man hat zwei Schaltmöglichkeiten:

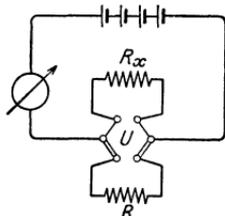


Abb. 54. Widerstandsmessung durch Vertauschung.
 R Widerstandskasten,
 R_x zu messender Widerstand.

a) Schaltung für größere Widerstände, die bei höheren Spannungen zu messen sind. Schaltung nach Abb. 55 a. Ist e_i der Spannungsabfall im Strommesser bei der Belastung mit dem Strom I , so ist: $R_x = (E - e_i)/I$. e_i pflegt in diesem Fall klein gegen E zu sein.

b) Schaltung für kleinere Widerstände bei hoher Strombelastung. Schaltung nach Abb. 55 b. Ist i_e der Stromverbrauch des Spannungsmessers bei der Anzeige von E Volt, so wird: $R_x = E/(I - i_e)$. In diesem Falle pflegt i_e gegen I vernachlässigbar klein zu werden.

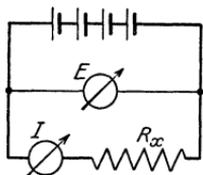


Abb. 55 a.

Widerstandsmessung durch Bestimmung von Strom und Spannung.

Abb. 55 a für größere Widerstände.

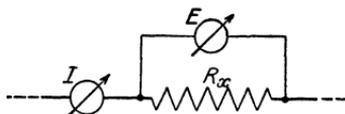


Abb. 55 b.

Abb. 55 b für kleinere Widerstände.

Macht man die Spannungsmessung mit dem Kompensator oder dem Elektrometer, so fällt die eben besprochene Korrektur weg.

(190) Widerstandsmesser. Zu einem direkt zeigenden Widerstandsmesser kommt man, indem man nach der Methode (189) die Strom- und Spannungsmessung nacheinander mit demselben Apparat ausführt. Abb. 56 zeigt die Schaltung. Ist der Schalter nach oben gelegt, so gibt der Apparat einen Ausschlag α prop. E , liegt er nach unten, so geht sein Ausschlag auf β zurück,

wo $\beta: \alpha = R_e / (R_x + R_e)$ ist. (R_e innerer Widerstand des Spannungsmessers.) Also $R_x = R_e \frac{\alpha - \beta}{\beta}$. Der Apparat ist praktisch nur brauchbar, wenn R_x von derselben Größenordnung wie R_e ist. Apparat mit mehreren Meßbereichen ETZ 1914, S. 1079.

Die Kreuzspulenapparate haben ein bewegliches System aus zwei kreuzförmig angeordneten Spulen ohne äußere Richtkraft. Die eine Spule führt einen Strom proportional der Spannung an den Widerstandsklemmen, die andere einen proportional dem Belastungsstrom. Der Ausschlag wird proportional dem Quotient aus beiden, d. h. proportional dem Widerstand.

Bruger: ETZ 1894, S. 333; 1906, S. 533; 1915, S. 478. — Helios F. 1912, S. 42; 1916, S. 304. Keinaeth: Technik elektr. Meßgeräte S. 235, ferner ETZ 1922, S. 18 (Metrohm), und ETZ 1921, S. 1331. Ohmmeter der Velmag: ETZ 1925, S. 694.

(191) Wheatstonesche Brücke. Für große Meßgenauigkeiten wendet man die sogenannten Brückenmethoden an, und zwar für größere Widerstände (etwa größer als 1Ω) die Wheatstonesche Brücke, für kleinere Widerstände die Thomsonbrücke. Das Arbeiten mit den Brückenmethoden, namentlich mit der Thomsonbrücke, erfordert Gewandtheit und Erfahrung, Fehlerquellen werden leicht übersehen und täuschen dem Arbeitenden leicht eine eingebildete Genauigkeit vor. Vor allem ist auf eine tadelfreie Isolation aller Leitungen zu sehen. Mit fest verlegten Leitungen, die sich durch ganze Maschinenhäuser ziehen, wird man keine guten Resultate erwarten dürfen. Wichtig ist die richtige Wahl des Galvanometers für den Nullstrom (166).

Vier Widerstände a, b, c, d (Abb. 57) werden in einer geschlossenen Reihe hintereinander verbunden; man kann diese Verbindung als ein Viereck ansehen, dessen Diagonalen AD und BC sind. Bringt man in die eine Diagonale eine Stromquelle, in die andere ein Galvanometer, so fließt durch das letztere kein Strom, wenn sich verhält

$$a : b = c : d.$$

Kennt man einen dieser Widerstände (c) und das Verhältnis von zwei anderen ($b : d$), so kann man den vierten (a) bestimmen.

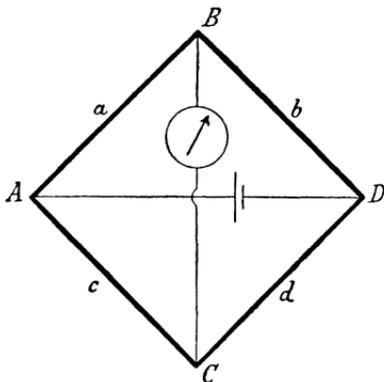


Abb. 57. Wheatstonesche Brücke.

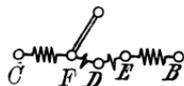


Abb. 58.
Verzweigungsbüchse.

Empfindlichkeit. Am vorteilhaftesten macht man die 4 Widerstände $abcd$ sowie den des Galvanometers und den der Batterie einander gleich. Praktisch erhält man die beste Anordnung, wenn man für die Zweige bd eine sogenannte Verzweigungsbüchse nimmt. Diese besteht aus einer Normalwiderstandsbüchse, die Abzweigungen zu drei Kontaktstücken hat, mit denen abwechselnd eine kleine Kurbel in Berührung gebracht werden kann (Abb. 58). Es ist z. B.

$$CD = DB = 100 \, \Omega \quad \text{bzw.} \quad 1000 \, \Omega$$

$$FD = DE = 0,05 \, \Omega \quad \text{bzw.} \quad 0,5 \, \Omega .$$

Folglich $CF : FB = 1 - 0,001$; $CE : EB = 1 + 0,001$.

Man schaltet nun in c (Abb. 57) einen Widerstand von der Größe ein, daß der Galvanometerausschlag möglichst klein wird, wenn die Kurbel auf D steht, und macht folgende Ablesungen:

Stellung des Stromwenders im Batteriekreis	I	II	II	II
Stellung der Kurbel der Verzweigungsbüchse	D	D	F	E
Galvanometerablesung	α	β	γ	δ

Dann ist der gesuchte Widerstand

$$c \cdot \left(1 - \frac{\alpha - \beta}{\gamma - \delta} \frac{1}{1000} \right) .$$

Es ist praktisch, die Empfindlichkeit so zu wählen, daß $\gamma - \delta = 100$ Skalenteilen ist, dann gibt $\alpha - \beta$ die an c anzubringende Korrektur in Hunderttausendsteln.

Nach Beendigung dieser Messung vertauscht man die Zweige b und d miteinander, indem man die Büchse um 180° dreht, und wiederholt die Messung; dies geschieht, um kleine Ungleichheiten von b und d zu eliminieren. Aus den erhaltenen Resultaten nimmt man das Mittel.

Zur Messung sehr großer Widerstände benutzt man eine ungleicharmige Brücke, und zwar wird in der Regel ein dekadisches Verhältnis ($b : d = 1 : 10$ bzw. $1 : 100$) gewählt. Hierfür sind passende Kästen konstruiert worden (s. Preisliste von S. & H., H. & Br., ferner Zeitschr. Instrk. 1903, S. 301, ETZ 1921, S. 406).

Schleifdraht. Ist die größte Genauigkeit nicht erforderlich, so genügt es, mit einem Schleifdraht zu arbeiten. Die Zweige b und d werden aus einem Draht mit gleichmäßigem Querschnitt gebildet, auf dem im Punkte D ein Schleifkontakt gleitet. Dann verhält sich $a : c$ wie die Längenabschnitte $BD : CD$. Für c pflegt man einen Dekadenkasten (1. 10. 100. 1000) einzusetzen, außerdem wird am Schleifdraht eine Teilung angebracht, an welcher man direkt das Verhältnis der Längen $BD : CD$ abliest. Die Ablesung mit einer Potenz von 10 multipliziert ergibt direkt den gesuchten Widerstand (Universalgalvanometer von S. & H.).

Um durch Benutzung eines längeren Drahtes die Genauigkeit zu steigern, hat F. Kohlrausch den Meßdraht spiralförmig in zehn Windungen auf eine Walze gewickelt; die Walze ist drehbar, während der Kontakt von einem feststehenden Laufrädchen gemacht wird (Walzenbrücke, Hartmann & Braun). Zur weiteren Erhöhung der Genauigkeit kann man beiderseitig Widerstände in Spulenform zuschalten, die passende Vielfache des Schleifdrahtwiderstandes sind, z. B. beiderseitig das 4,5fache des Schleifdrahtes. Tafeln für den Quotienten $n/(1000 - n)$ bei Obach, München 1879 und H. & Br.

Prüfung und Kalibrierung eines ausgespannten Drahtes. An einem Holzklötzchen befestigt man zwei isolierte Metallschneiden in unveränderlichem Abstand voneinander; jede Schneide wird mit einer Klemme eines empfindlichen Galvanometers von großem Widerstande verbunden. Das Schneidenpaar setzt man auf den Widerstandsdraht auf, während der letztere von einem konstanten Strom durchflossen wird. Verschiebt man die Schneiden längs des Drahtes, so sollte sich der Ausschlag nicht ändern, wenn der Draht überall gleich wäre; letzteres ist indes gewöhnlich nicht der Fall; mißt man den Ausschlag des Galvanometers für verschiedene Stellen des Drahtes, so verhalten sich die abgegrenzten Widerstände wie die Ausschläge. Über andere Kalibrierungsmethoden und die Kalibrierung von Widerstandskästen siehe Kohlrausch, F.: Lehrbuch der prakt. Physik, 12. Aufl., S. 470 ff.

(192) **Messung kleiner Widerstände.** Über die Konstruktion s. (186).

a) Vergleich mit dem Kompensator. Der unbekannte Widerstand x und der bekannte a sind mit ihren Hauptstromklemmen in Reihe geschaltet. Mittels des Umschalters U (Abb. 59) wird zuerst der Spannungsabfall an den Abzweigklemmen von x und dann derjenige von a gemessen. Dann verhält sich $x : a$ wie die am Kompensator eingestellten Widerstände. Es empfiehlt sich, die Einstellungen möglichst rasch hintereinander abwechselnd zu wiederholen, um geringe Änderungen des Stromes eliminieren zu können.

b) Thomsonsche Doppelbrücke. Wie bei der vorigen Methode werden x und a zu einem mit starken Strömen belastbaren Kreis vereinigt (Abb. 60). Von den Abzweigklemmen wird dann zu vier größeren Widerständen r_1, r_2, R_1, R_2 abgezweigt. Die Widerstände r_1 und R_1 werden gleich groß gewählt und ebenso $r_2 = R_2$. Man pflegt $r_2 = R_2 = 10, 100$ oder 1000Ω zu machen und $r_1 = R_1$ so zu regeln, daß das Galvanometer den Strom Null anzeigt. Für r_1 und R_1 nimmt man am zweckmäßigsten zwei in einem Kasten untergebrachte Kurbel-

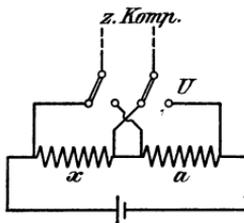


Abb. 59. Widerstandsvergleich mittels Kompensator.

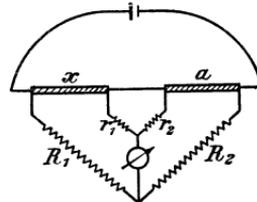


Abb. 60. Thomsonsche Doppelbrücke.

widerstandssätze, deren Kurbeln zwangsläufig miteinander verbunden sind, so daß ihre Gleichheit dadurch selbsttätig gewährleistet ist. Gleichgewichtsbedingung ist: $x : a = R_1 : R_2$.

Doppelbrücke von Siemens & Halske, O. Wolff, Jaeger, Lindeck, Diesselhorst: Zeitschr. Instr. Bd. 23, S. 33 und 65, 1903.

Die Thomsonbrücke eignet sich gut zur Bestimmung der Leitfähigkeit gut leitender Drahtsorten (Kupferschienen). Ein grader Draht von 0,5—1 m Länge wird in einen Petroleumkasten gebracht und mit Klemmbacken zur Stromzuführung versehen. Zwei voneinander isolierte Schneiden, deren Abstand genau gemessen werden kann, werden auf den Draht aufgesetzt; sie bilden die Potentialklemmen. Das Petroleum muß während des Versuches gerührt werden. Der Querschnitt des Leiters wird entweder mit einer Lehre oder durch Wägung eines Stückes in Luft und Wasser gemessen. Daraus findet man dann den spezifischen Widerstand $\rho = \frac{Rq}{l}$. Ist der Petroleumkasten mit einer Heizvorrichtung versehen, so kann man auch den Temperaturkoeffizienten bestimmen. Siehe auch Kupfernomen des Verbandes Deutscher Elektrotechniker. ETZ 1914, S. 366.

(193) **Widerstand von zersetzbaren Leitern.** Wegen der an den Elektroden auftretenden Polarisation sind die für Metallwiderstände angegebenen Methoden nicht ohne weiteres zu gebrauchen.

Mit Gleichstrom kann man den Widerstand eines Elektrolyten in folgender Weise nach der Vertauschungsmethode (188) ermitteln: Man schaltet zunächst zwischen die Elektroden nur ein kurzes Stück des zersetzbaren Leiters und beobachtet den Ausschlag des Galvanometers. Darauf vergrößert man den Abstand der Elektroden und schaltet so viel Rheostatenwiderstand aus, daß der Ausschlag ebenso groß wird wie vorher. Der ausgeschaltete Rheostatenwider-

stand ist gleich der Vermehrung des Widerstandes des Elektrolyten, welche durch die Verschiebung der Elektroden erzielt wurde.

Wechselstrom. (F. Kohlrausch, M. Wien, Apparatur bei H. & Br.) Die Verwendung von Wechselstrom vermeidet das Entstehen einer Polarisation, sofern man die Elektroden (Platin) mit Platinmoor überzieht. Man mißt mit der Wheatstoneschen Brücke, wobei man das Galvanometer durch ein Telephon ersetzt. Es wird darauf eingestellt, daß das Telephon verstummt.

Über Wechselstromquellen für Widerstandsmessungen siehe (208).

Da es meistens auf den spezifischen Leitungswiderstand abgesehen ist, so gebraucht man zu den Bestimmungen ein Gefäß, welches die Berechnung des Widerstandes aus den Abmessungen erlaubt, am besten eine Glasröhre, welche einen möglichst konstanten Querschnitt besitzt. In dieser lassen sich die Elektroden (Platin, platinirtes Silber) bequem verschieben. Tritt bei Gleichstrom Gasentwicklung ein, so verwendet man ein U-förmiges Glasrohr und als Elektroden Drahtnetze oder Spiralen.

Vergleichslösungen. Will oder kann man das Gefäß, in welchem die Bestimmung vorgenommen werden soll, nicht geometrisch ausmessen, so bestimmt man in demselben Gefäß den Widerstand eines Leiters von bekanntem spezifischen Widerstand und vergleicht den der zu untersuchenden Flüssigkeit damit. Als Vergleichsflüssigkeiten benutzt man¹⁾ die in der nachstehenden Tabelle angegebenen Lösungen.

Hat man in demselben Gefäß einmal den Widerstand R einer der Vergleichsflüssigkeiten und dann den Widerstand r der zu untersuchenden Flüssigkeit bestimmt, so ist der gesuchte spezifische Widerstand der letzteren $= \rho R/r$.

Widerstand von Erdleitungen s. (1022), von Akkumulatoren s. (1108).

Vergleichsflüssigkeit	Spez. Gew.	Widerstandskoeffizient, bezogen auf Ohm: $R = \rho \cdot \frac{l}{q}$ l in cm, q in cm ²
Wässrige Schwefelsäure, bestleitend, 30,0% reine Säure	1,223	$\rho = 1,35 [1 - 0,016 (t - 18)]$
Gesättigte Kochsalzlösung, 26,4% ClNa	1,201	$\rho = 4,63 [1 - 0,022 (t - 18)]$
Magnesiumsulfatlösung (normal) 17,4% MgSO ₄ (wasserfrei)	1,190	$\rho = 20,3 [1 - 0,026 (t - 18)]$
Chlorkaliumlösung (normal) 7,46% KCl	1,045	$\rho = 10,2 [1 - 0,020 (t - 18)]$

(194)] Auszug aus den Prüfvorschriften des VDE für die gekürzte Untersuchung elektrischer Isolierstoffe.

(ETZ 1922, S. 446 und 1923, S. 577.)

Probenform. Als Normalformen für die Versuche sind Platten und Flachstäbe mit folgenden Abmessungen anzuwenden:

- Stäbe $1,0 \times 1,5 \times 12,0$ cm³,
- Platten $(1,0 \times 12 \times 15)$ cm³.

¹⁾ Vgl. Kohlrausch, F.: Lehrb. d. pr. Phys. und Kohlrausch, F. und Holborn, L.: Leitvermögen der Elektrolyte. 1898.

A. Mechanische und Wärmeprüfung.

1. Biegefestigkeit.

5 Versuche mit dem Isolierstoff im Anlieferungszustand;

5 Versuche nach 30tägiger Lagerung in Petroleum bei Zimmertemperatur.

Versuchsausführung und Abmessungen nach Abb. 61. Die Kraft P greift in der Mitte zwischen den beiden Auflagern AA mit einer Druckfinne an. Die Be-

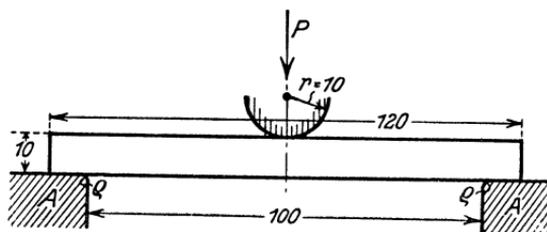


Abb. 61. Bestimmung der Biegefestigkeit.

lastung ist mit gleichmäßiger Geschwindigkeit und zwar um 250 kg/cm^2 in 1 Minute bis zum Bruch zu steigern. Wenn der Stab die Belastung 2 min getragen hat, ohne zu Bruch zu gehen, oder wenn bei stark biegsamen Stoffen die Gesamtdurchbiegung in der Mitte kleiner als 5 mm bleibt, gilt die Beanspruchung als ausgehalten.

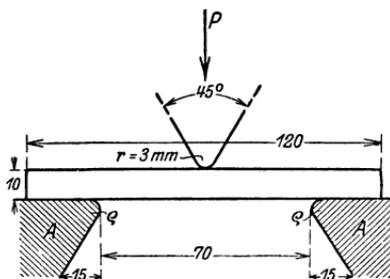


Abb. 62. Bestimmung der Schlagbiegefestigkeit.

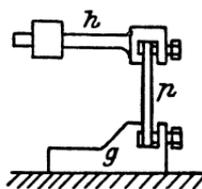


Abb. 63. Bestimmung der Wärmebeständigkeit.

2. Schlagbiegefestigkeit. Abmessungen nach Abb. 62.

Die Schlagbiegeversuche sind mit einem Normalpendelschlagwerk auszuführen. Die Ergebnisse sind in cmkg/cm^2 anzugeben.

3. Kugeldruckhärte. Eine Stahlkugel von 5 mm Durchmesser ($D = 0,5 \text{ cm}$) wird mit einem konstanten Druck von 50 kg in die Probe stoßfrei eingedrückt. Gemessen wird die Eindringtiefe h nach 10 und 60 s. Aus dieser wird der Härtegrad H in kg/cm^2 nach der Formel berechnet:

$$H = \frac{P}{\pi \cdot h \cdot D} = \frac{C}{h}$$

Die Eindrücke sollen in der Mitte der 15 mm breiten Proben liegen. Die Versuche sind bei 18 bis 20° C auszuführen.

4. Wärmebeständigkeit. Die Wärmebeständigkeit ist durch die Martensprobe mit einem Normalapparat festzustellen.

Die in senkrechter Lage von der Grundplatte g (s. Abb. 63) festgehaltenen Proben p werden durch angehängte Gewichtshebel h mit der konstanten Biege-

spannung $\delta = 50 \text{ kg/cm}^2$ belastet und langsam erwärmt. Die Geschwindigkeit der Temperatursteigerung soll 50°C in der Stunde betragen. Es wird der Wärmegrad A gemittelt, bei dem der Hebel h um 3 mm auf 120 mm Länge absinkt, bzw. die Probe bricht.

5. **Feuersicherheit.** Es wird ein horizontal eingespannter Normalstab 1 min lang der Flamme eines mit Leuchtgas gespeisten Bunsenbrenners ausgesetzt. Die Brenneröffnung soll 9 mm, die Flammenhöhe bei senkrecht gestelltem Brenner 10 cm betragen.

Der Brenner ist unter 45° zu neigen und der Stab so in die Flamme zu bringen, daß die untere 1,5 cm breite Stabfläche sich 3 cm über der Brenneroberkante und seine Stirnfläche sich 1 cm in wagerechtem Abstand von der Brennerunterkante befindet.

Das Verhalten der Isolierstoffe ist nach folgenden drei Stufen zu beurteilen:

0. Der Stab brennt nach dem Entfernen der Flamme länger als $\frac{1}{4}$ min weiter.
1. Der Stab brennt nach dem Entfernen der Flamme nicht länger als $\frac{1}{4}$ min weiter.
2. Der Stab entzündet sich nicht in der Flamme.

B. Elektrische Prüfung.

1. **Oberflächenwiderstand.** Der Oberflächenwiderstand wird gemessen auf einer Fläche von $10 \times 1 \text{ cm}$ bei 1000 V Gleichspannung:

- α) im Zustand der Einsendung, jedoch nach Abschleifen der Oberfläche;
- β) nach 24stündiger Einwirkung von Wasser;
- γ) nach 3wöchiger Einwirkung von 25prozentiger Schwefelsäure;
- δ) nach 3wöchiger Einwirkung von Ammoniakdampf.

Bei den Versuchen β bis δ wird die unter der Einwirkung der Flüssigkeiten und Gase etwa eintretende Gewichtsänderung in Prozenten ermittelt. Zur Messung des Oberflächenwiderstandes werden zwei gerade, 10 cm lange, mit Gummi und Stanniol gepolsterte Elektroden einander parallel in 1 cm Abstand auf die Platte gesetzt. Siehe den Normalapparat Abb. 64. — Bei geöffnetem Schalter zwischen Schutzwiderstand und Oberflächenapparat wird mit Hilfe des statischen Spannungsmessers die Gleichspannung auf 1000 V eingestellt. Bei kurzgeschlossenem Galvanometer wird dann der Schalter zu dem Oberflächenapparat geschlossen; sinkt dabei die Anzeige des Spannungsmessers unter 500 V, so beträgt der Oberflächenwiderstand des Isolierstoffs weniger

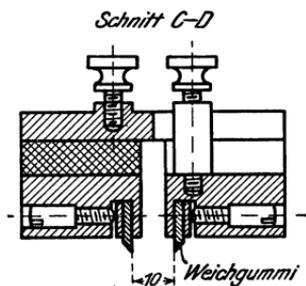


Abb. 64. Schneidenpaar.

als 10000Ω ; bleibt die Spannung über 800 V, so kann mit dem Galvanometer gemessen werden. Der Galvanometerausschlag wird 1 min nach dem Anlegen der Spannung abgelesen.

Über den Einfluß der Unterlage bei Messungen des Oberflächenwiderstandes s. ETZ 1924, S. 132.

Zu β) Nach dem Herausnehmen aus dem Wasser werden die Platten mit einem Tuch abgerieben und vertikal bei Zimmertemperatur in nicht bewegter Luft zwei Stunden stehen gelassen, um die äußerlich anhaftende Feuchtigkeit zu entfernen. Danach wird die Messung vorgenommen.

Zu γ) Nach dem Herausnehmen aus der Schwefelsäure werden die Platten etwa 1 min in fließendem Wasser abgespült, danach wie unter β behandelt.

Zu δ) Die Platten werden in großen Glasgefäßen aufgehängt, auf deren Boden eine gesättigte wässrige Ammoniaklösung sich befindet, die Gefäße werden mit Glasplatten abgedeckt. Von drei zu drei Tagen wird etwas Ammoniak zugefüllt, um die Verluste an Ammoniakdampf zu decken. Nach dem Herausnehmen aus

den Gefäßen werden die Platten nach Feststellung des Aussehens mit einem trockenen Tuch abgerieben und gemessen.

2. **Widerstand im Innern.** Zwei Löcher von 5 mm Durchmesser und 15 mm Mittenabstand sind in die Platte etwa $\frac{2}{3}$ der Plattenstärke tief zu bohren und mit Quecksilber zu füllen. Es wird der Widerstand zwischen den beiden Quecksilberelektroden bei 1000 V Gleichspannung gemessen; ist derselbe kleiner als der bei dem Versuch α ermittelte Oberflächenwiderstand, so ist die Platte bis in tiefere Schichten abzdrehen und unmittelbar nach dem Abdrehen auf ihren Oberflächenwiderstand zu messen.

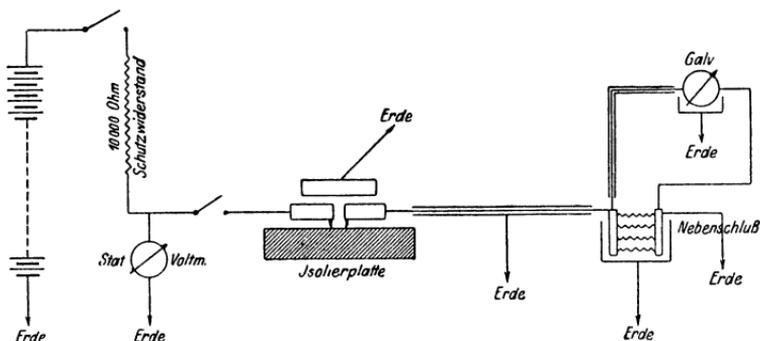


Abb. 65. Bestimmung des Oberflächenwiderstandes.

3. **Lichtbogensicherheit.** Die Platte wird horizontal gelegt und zwei angespitzte Reinkohlen von 8 mm Durchmesser in einem Winkel von etwas mehr als einem Rechten gegeneinander auf die Platte gesetzt, etwa um 60° gegen die Horizontale geneigt. An die Kohlen wird eine Spannung von etwa 220 V gelegt unter Vorschalten eines Widerstandes von 20Ω . Nach Bildung des Lichtbogens zwischen den Kohlen werden diese mit einer Geschwindigkeit, die 1 mm/s nicht überschreiten soll, auseinander gezogen. Es werden dann folgende vier Stufen der Sicherheit gegenüber dem Lichtbogen unterschieden:

0. Unter dem über 20 mm lang ausziehbaren Lichtbogen bildet sich eine leitende Brücke im Isolierstoff, welche auch nach dem Erkalten leitend bleibt.
1. Unter dem über 20 mm lang ausziehbaren Lichtbogen bildet sich eine leitende Brücke im Isolierstoff, welche aber nach dem Erkalten ihre Leitfähigkeit verliert.
2. Der Lichtbogen läßt sich weiter als 20 mm ausziehen, es bildet sich aber keine zusammenhängende leitende Brücke im Isolierstoff.
3. Der Lichtbogen läßt sich nicht über seine normale Länge von etwa 20 mm ausziehen.

(195) **Durchgangswiderstand von Isolierstoffen.** Zur Messung des Durchgangswiderstandes von festen Isolierstoffen eignen sich am besten Platten von etwa $15 \times 15 \text{ cm}^2$ Größe. Eine derartige Platte P (Abb. 66) wird zwischen zwei ebene Metallelektroden gelegt, die am besten mit Staniol gepolstert und mit Gewichten gegeneinander gepreßt werden, damit sie sich der oft nicht ebenen Fläche gut anschmiegen (Hg-Elektroden s. Hei n k e : Handb. d. El., Bd. 2, 1, S. 310). An die Elektroden aa wird die gemessene Gleichspannung E gelegt. Aus E und dem mittels eines Galvanometers G gemessenen Stromes I wird der Isolationswiderstand als E/I berechnet. Um Ströme vom Galvanometer auszuschließen, welche andere Wege als die zu untersuchende Isolationschicht passiert haben, erdet man einen

Pol der Spannungsquelle, legt das Galvanometer in die mit dem geerdeten Pol verbundene Leitung und versieht sämtliche Leitungen vom Isolationsmaterial bis zum geerdeten Pol (einschl. Galvanometer) mit einer metallischen Schutzhülle, die geerdet ist. Ferner legt man um die am geerdeten Pol liegende Elektrode einen Schutzring bb , der ebenfalls geerdet ist und dadurch die Oberflächenströme am Galvanometer vorbeiführt.

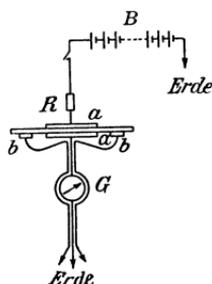


Abb. 66. Isolationswiderstand von Platten.

R ist ein Sicherheitswiderstand aus Jodkadmiumlösung (10% JKa in Amylalkohol).

Ist die Isolation so gut, daß die Empfindlichkeit des Galvanometers nicht mehr ausreicht, so kann man in der Weise verfahren, daß man zunächst die Spannung U an die Elektroden legt, danach eine gemessene Zeit t die eine Elektrode vom Batteriepol trennt und dann von neuem die Spannung U anlegt. Hierbei fließt eine Elektrizitätsmenge Q auf die Elektrode, die gleich dem Ladeverlust in der Zeit t ist und durch ein ballistisches Galvanometer gemessen werden kann (204). Dann ist annähernd der Isolationswiderstand gleich Ut/Q .

Isolationswiderstände gehören nicht dem Ohmschen Gesetz: entgegen diesem Gesetz ist der Wert U/I von der Größe der Spannung und der Dauer ihrer Einwirkung abhängig (92).

Im Augenblick des Einschaltens erfolgt ein kräftiger Stromstoß, der von der Ladung des eine Kapazität bildenden Isolationsmaterials herrührt, und der am Galvanometer durch Kurzschließen vorübergeführt wird. Danach pflegt der Galvanometerausschlag langsam abzunehmen (d. h. der Isolationswiderstand wird scheinbar größer), weil ein Teil der Elektrizität in die Oberfläche des Materials eindringt, ohne es ganz zu durchfließen. Dazu kommt, daß bei feuchten Materialien die Feuchtigkeit infolge der Stromwärme zu verdampfen beginnt und dadurch den Widerstand verändert.

Der Isolationswiderstand ist in der Regel nicht proportional der Dicke des Materials. Es ist deshalb ratsam, die Messungen an Platten von verschiedener Dicke vorzunehmen. Im übrigen empfiehlt es sich, die Platten zunächst in vollständig getrocknetem Zustand und danach nach mehrtägigem Liegen in Wasser (194, B) zu untersuchen. Außer der Feuchtigkeit kann auch die Temperatur einen erheblichen Einfluß haben (93).

Isolierfähigkeit von Lacken wird untersucht, indem man sie auf dünne Metallbleche, auf Papier, Leinen oder Segeltuch aufbringt und den Widerstand wie bei festen Platten mißt. Da die Zufälligkeiten hierbei in Hinsicht der Dicke der Schicht und Güte des Lackierens sehr groß sind, so sind die Resultate in der Regel noch unsicherer als bei festen Materialien.

Isolierrohre werden zum Zweck der Prüfung mit einem Metallmantel versehen oder mit Stanniol bekleidet (äußere Elektrode). Sollen die Röhren trocken geprüft werden, so füllt man sie mit Metallpulver (innere Elektrode), sollen sie aber naß geprüft werden, so werden sie mit leicht angesäuertem Wasser gefüllt. In diesem Falle wird die Messung zweckmäßig über einen längeren Zeitraum regelmäßig wiederholt, bis die Isolationsschicht zerstört ist.

Zuweilen kann man auch als innere Elektrode Quecksilber anwenden; doch ist es ratsam, dabei die Röhren wagrecht zu legen, weil sonst das Quecksilber infolge des hohen Druckes zu leicht die Isolierschicht durchdringt.

Porzellanisolatoren werden trocken und benetzt (im künstlichen Regen) geprüft. Man mißt den Übergangswiderstand vom Drahtlager, in dem ein Leitungsdraht ordnungsmäßig befestigt ist, zur Stütze, ebenso bei Isolatoren für Hochspannung die Überschlagnspannung, die Stütze des Isolators ist zu erden.

Literatur: Wernicke: Die Isoliermittel der Elektrotechnik, Braunschweig 1908. — Håkansson: Die plastischen Isolationsmaterialien, ETZ 1910, S. 953, 997. — Passavant: ETZ 1912, S. 450. — Schweizer Arch. f. El. 2, S. 332 — Gewecke und Krukowski: Arch. El. 6, S. 407. — Über die Prüfung emaillierter Drähte s. Straubel: ETZ 1921, S. 1075. — Grünerwald: Durchschlagsfestigkeit geschichteter Isolierstoffe, Arch. f. El. 12, S. 79. — Demuth: Materialprüfung der Isolierstoffe. Springer, 1923. — Über den Einfluß der Zeit auf den Wert einer Isolationsmessung siehe ETZ 1924, S. 596. — Isolationsmessungen und -meßgeräte: ETZ 1924, S. 1116.

Strom- und Spannungsmessung.

(196) Auszug aus den Regeln des VDE für Meßgeräte.

(ETZ 1922 S. 290, 858 u. 519.)

Es werden bezeichnet mit Klassenzeichen:

E Feinmeßgeräte 1. Kl.	G Betriebsmeßgeräte 1. Kl.
F Feinmeßgeräte 2. Kl.	H Betriebsmeßgeräte 2. Kl.

I n s t r u m e n t ist das Meßwerk zusammen mit dem Gehäuse und gegebenenfalls eingebautem Zubehör.

M e ß g e r ä t ist das Instrument zusammen mit sämtlichem Zubehör, also auch mit solchem, das nicht untrennbar mit dem Instrument verbunden, sondern getrennt gehalten ist.

Der **S t r o m p f a d** des Meßwerks führt unmittelbar oder mittelbar den ganzen Meßstrom oder einen bestimmten Bruchteil von ihm.

Der **S p a n n u n g s p f a d** des Meßgeräts liegt unmittelbar oder mittelbar an der Meßspannung.

N e b e n w i d e r s t a n d ist ein Widerstand, der parallel zu dem Strompfad und diesem etwa zugeschalteten Stromvorwiderstand liegt.

V o r w i d e r s t a n d ist ein Widerstand, der im Spannungspfad liegt.

M e ß l e i t u n g e n sind Leitungen im Strom- und Spannungspfad des Meßgeräts, die einen bestimmten Widerstand haben müssen.

Bezeichnungen der Instrumente.

M 1: Drehspulinstrumente besitzen einen feststehenden Magnet und eine oder mehrere Spulen, die bei Stromdurchgang elektromagnetisch abgelenkt werden.

M 2: Dreheisen- oder Weicheiseninstrumente besitzen ein oder mehrere bewegliche Eisenstücke, die von dem Magnetfeld einer oder mehrerer feststehender, stromdurchflossener Spulen abgelenkt werden.

M 3: Elektrodynamische Instrumente haben feststehende und elektrodynamisch abgelenkte bewegliche Spulen. Allen Spulen wird Strom durch Leitung zugeführt.

M 4: Induktionsinstrumente (Drehfeldinstrumente u. a.) besitzen feststehende und bewegliche Stromleiter (Spulen, Kurzschlußringe, Scheiben oder Trommeln); mindestens in einem dieser Stromleiter wird Strom durch elektromagnetische Induktion induziert.

M 5: Hitzdrahtinstrumente. Die durch Stromwärme bewirkte Verlängerung eines Leiters stellt unmittelbar oder mittelbar den Zeiger ein.

M. 6: Elektrostatistische Instrumente. Die Kraft, die zwischen elektrisch geladenen Körpern verschiedenen Potentials auftritt, stellt den Zeiger ein.

M 7: Vibrationsinstrumente. Die Übereinstimmung der Eigenfrequenz eines schwingungsfähigen Körpers mit der Meßfrequenz wird sichtbar gemacht.

M e ß g r ö ß e ist die Größe, zu deren Messung das Meßgerät bestimmt ist. (Strom, Spannung, Leistung usw.)

A n z e i g e b e r e i c h ist der Bereich, in dessen Grenzen die Meßgröße ohne Rücksicht auf Genauigkeit angezeigt wird.

Meßbereich ist der Teil des Anzeigebereichs, für den die Bestimmungen über Genauigkeit eingehalten werden.

Erweiterte Skalen sind über den Meßbereich hinaus fortgesetzt.

Der Meßbereich umfaßt:

a) bei Instrumenten mit durchweg genau oder angenähert gleichmäßiger Teilung den ganzen Anzeigebereich vom Anfang bis zum Ende der Skale,

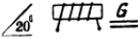
b) bei Instrumenten mit ungleichmäßiger Teilung den besonders gekennzeichneten Teil des Anzeigebereichs, der zusammengedrückte Teile am Anfang und am Ende der Skale ausschließen darf.

Anzeigefehler ist der Unterschied zwischen der Anzeige und dem wahren Wert der Meßgröße, der lediglich durch die mechanische Unvollkommenheit des Meßgerätes und durch die Unvollkommenheit der Eichung, also in der richtigen Lage, bei Bezugstemperatur, bei Abwesenheit von fremden Feldern, bei der Nennspannung und bei der Nennfrequenz verursacht wird. Er wird in Prozenten des Endwertes des Meßbereiches angegeben, sofern nichts anderes bestimmt ist. Ist der angezeigte Wert größer als der wahre Wert, so ist der Anzeigefehler positiv.

Symbole der Meßwerke (Abb. 67).

Lfd. Nr.	Art der Meßwerke	Symbole	
		mit Richtkraft	ohne Richtkraft (Kreuzspule)
M 1	Drehspule		
M 2	Weicheisen oder Dreheisen		
M 3	Elektrodynamisch eisenlos		
	eisengeschirmt		
	eisengeschlossen		
M 4	Induktion		
M 5	Hitzdraht		
M 6	Elektrostatisch		
M 7	Vibration		

Klassenzeichen, Stromart, Lagezeichen.

Bezeichnung	Zeichen	für
Klassenzeichen: neben dem Meßwerk- symbol	E	Feinmeßgerät 1. Kl.
	F	Feinmeßgerät 2. Kl.
	G	Betriebsmeßgerät 1. Kl.
	H	Betriebsmeßgerät 2. Kl.
Stromart: (unter dem Klassen- zeichen)		Gleichstrominstrumente
		Wechselstrominstrumente
		Gleich- und Wechselstrominstru- mente
		Instrumente für: Zweiphasenstrom
		Drehstrom für gleiche Belastung
		Drehstrom für ungleiche Belastung
Lagezeichen: (am Symbol für Meßwerk anfügen)		Senkrechte Gebrauchslage
		Schräge Gebrauchslage
		Wagerechte Gebrauchslage
Beispiele:		Dreheisen, Klasse F Wechselstrom senkrechte Gebrauchslage
		Dreheisen, Klasse G Gleichstrom schräge Gebrauchslage
		Elektrodynamische Klasse E Gleich- und Wechselstrom wagerechte Gebrauchslage

(197) Strommessung mit direkt zeigenden Apparaten. In den meisten Fällen der Praxis verwendet man zur Strommessung Zeigerapparate mit konstanter Empfindlichkeit (162) bis (164) (für sehr schwache Ströme Spiegelgalvanometer). Die Stromkonstante K (Strom/Ausschlag) wird durch die Kompensationsmethode (200 u. f.) oder direkt zeigende Normalstrommesser (164) bestimmt oder kontrolliert. Um die Empfindlichkeit herabzusetzen, verwendet man Nebenwiderstände: wird zum Strommesser vom Widerstand R_g ein Nebenwiderstand R_N gelegt, so wird die Konstante $K(1 + R_g/R_N)$. Beträgt also der Nebenwiderstand $1/9, 1/99, \dots, 1/z$ vom Widerstand des Strommessers, so geht $1/10, 1/100, \dots, 1/z+1$ des gesamten unverzweigten Stromes durch den Strommesser und die Konstante des Strommessers mit Verzweigung wird $10, 100, \dots, z+1$ mal so groß.

Will man das Strommeßgerät durch einen Nebenwiderstand von $R_N \Omega$ k mal so unempfindlich machen, d. h. soll die Konstante des Strommessers mit Nebenschluß kK werden, so muß $R_N = R/(k-1)$ gemacht werden, wo R den Widerstand des Strommessers selber einschl. eines Vorwiderstandes bedeutet.

Beispiel: Ein Milliampereometer mit $K = 0,001$ von $R_N = 3 \Omega$ soll zu Strommessungen bis 300 A brauchbar gemacht werden, d. h. $kK = 2$; $k = 2000$, folglich ist der Nebenwiderstand $3/1999 \Omega$ zu wählen.

Der Widerstand R besteht zum großen Teil aus Kupfer; daher ist ein Strommesser mit Nebenwiderstand von der Temperatur abhängig. Man kann aber geeignete Kompensationen anwenden (vgl. z. B. Kollert: ETZ 1910, S. 1219).

Schließt man die Klemmen eines Strommessers durch einen Widerstand R , welcher die Unterabteilungen r_1, r_2, r_3, \dots besitzt, so werden die Konstanten des Strommessers, wenn man den Hauptstrom an den Enden dieser Unterabteilungen zuführt:

$$\frac{KR}{r_1} \quad \frac{KR}{r_2} \quad \frac{KR}{r_3} \quad \dots$$

Die Empfindlichkeiten verhalten sich also unabhängig davon, was man für einen Strommesser benutzt, wie

$$\frac{1}{r_1} : \frac{1}{r_2} : \frac{1}{r_3} \quad (\text{A y r t o n s c h e r N e b e n s c h l u ß}).$$

Dieser Satz ist wichtig für Spiegelgalvanometer: Ein Widerstandssatz von 100000 Ω mit Unterabteilungen von

$$30\,000, 10\,000, 3000, 1000, 300, 100, 30, 10, 3, 1 \Omega$$

paßt zu jedem Galvanometer und erlaubt, dessen Empfindlichkeit von dem Betrage, den letztere bei Nebenschaltung von 100000 Ω besitzt, herabzusetzen auf

$$1/3, 1/10, 1/30, 1/100, 1/300, 1/1000, 1/3000, 1/10000, 1/30000, 1/100000.$$

(198) Spannungsmessung durch direkt zeigende Apparate. Spannungen werden in der Praxis meist durch direkt zeigende Apparate gemessen und zwar:

a) durch nicht Strom verbrauchende: Elektrometer (173...177). Mit diesen kann man am einfachsten in Doppelschaltung (174,3) die Potentialdifferenz zwischen zwei beliebigen Punkten durch einfaches Anlegen messen. Sie kommen wegen der geringen erreichbaren mechanischen Kräfte nur für höhere Spannungen in Frage.

b) durch Strom verbrauchende. Jeden Strommesser kann man durch einen geeigneten Vorwiderstand zum Spannungsmesser machen. Ist K die Konstante des Strommessers und R der Gesamtwiderstand (einschl. des Vorwiderstandes), so ist RK die Konstante des Spannungsmessers; d. h. die Ablesung mit RK multipliziert ergibt die zu messende Spannung. Beispiel: $1/3000$ A gebe einen Skalenteil Ausschlag des Strommessers, d. h. $K = 1/3000$. Schaltet man so viel Widerstand vor, daß der Gesamtwiderstand des Apparates 1200 Ω wird, so ist $RK = 0,4$. Zeigt also der Apparat 150 SkT Ausschlag, so liegen $150 \cdot 0,4 = 60$ V an seinen Klemmen.

Sollen die Angaben des Spannungsmessers von der Temperatur unabhängig sein, so muß der Vorwiderstand aus Manganin sein und groß gegen den Widerstand der Kupferspule.

Der stromführende Spannungsmesser kann dadurch, daß er an zwei Punkten

angelegt wird, zwischen denen die Spannung gemessen werden soll, die Spannung zwischen diesen Punkten verändern. Es herrscht also, streng genommen, nur so lange, wie er angelegt ist, zwischen diesen Punkten die von ihm angegebene Spannung. Nur wenn der (innere) Widerstand zwischen den Punkten klein ist gegen den Widerstand des Spannungsmessers, ist diese Veränderung vernachlässigbar klein.

(199) Potentialmessung. Um die Potentiale verschiedener Punkte eines Stromkreises gegen einen bestimmten Punkt des letzteren, z. B. gegen Erde zu messen, benutzt man einen Kondensator (Kapazität C), ein Normalelement (EMK E) und ein Galvanometer, welche nach Abb. 68 geschaltet werden. Zuerst eicht man das Galvanometer; der Umschalter u steht nach links (204, a). Berührt die Taste den oberen Kontakt, so nimmt der Kondensator eine Ladung an, die der EMK E proportional ist und beim Niederdrücken der Taste am Galvanometer den ballistischen Ausschlag α hervorbringt, der gleichfalls der EMK E proportional ist. Um nun das Potential U am Punkte P eines Stromkreises, der z. B. die Erde benutzt, zu bestimmen, legt man den Umschalter u nach rechts; dadurch wird der Kondensator auf das Potential U von P geladen. Erhält man jetzt bei Druck der Taste den Ausschlag α_1 , so ist $U: E = \alpha_1 : \alpha$.

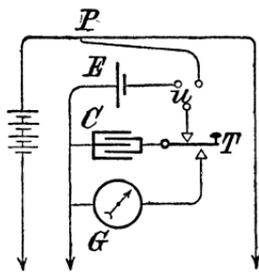


Abb. 68. Potentialmessung.

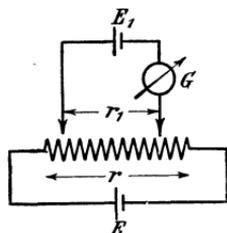


Abb. 69. Schema des Kompensators.

(200) Kompensationsmethode. Die gesetzliche Einheit der Stromstärke ist zwar durch das Silbervoltmeter gegeben; in der Praxis werden aber voltmetrische Versuche überhaupt nicht mehr angestellt. Alle genauen Spannungsmessungen (Eichungen) werden vielmehr mit Kompensationsapparaten ausgeführt. Hierbei dient außer den im Kompensationsapparat befindlichen Widerständen ein Normalelement als Normal. Es wird jetzt fast ausschließlich das Westonelement (182) verwendet.

Das grundlegende Schema für den Kompensationsapparat ist in Abb. 69 dargestellt. Eine Spannung E ist durch den Widerstand r geschlossen; von einem Teil r_1 des letzteren ist eine Abzweigung gemacht, die die EMK E_1 und ein Galvanometer G enthält. Es wird auf Stromlosigkeit des Galvanometers eingestellt; dann ist: $E/E_1 = r/r_1$. Es muß also $E_1 < E$ sein. Man kann diese Methode auf zweierlei Art anwenden:

a) Messung höherer Spannungen. E ist die unbekannte Spannung E_1 ein Kadmiumelement; man macht $r_1 = E_1 \cdot 10^\alpha$ (z. B. $1018,3 \Omega$) und reguliert r so lange, bis G keinen Ausschlag zeigt. Dann ist $E = r/10^\alpha$ (im Beispiel $r/1000$). Bei dieser Anwendung muß also E größer sein als die Spannung des Normalelements.

Der zu messenden Spannung E wird hierbei ein wenn auch nur kleiner Strom entnommen. α wählt man in der Regel gleich 2 oder 3 oder 4.

b) Messung kleinerer Spannungen. E ist eine Hilfs-EMK, die während des Versuchs konstant bleiben muß. Man bringt zunächst an die Stelle E_1 ein Normalelement und macht wieder $r_1 = E_1 \cdot 10^\alpha$; es wird in r reguliert bis G den Ausschlag Null zeigt. Dann wird E_1 durch die unbekannte Spannung E_x ersetzt und nun, ohne den Gesamtwiderstand r zu ändern, der Widerstand r_1 , von dem abgezweigt wird, so lange verändert, bis das Galvanometer wieder einsteht; sei r_x die Größe des so eingestellten Widerstandes, dann ist: $E_x : E_1 = r_x : r_1$ oder $E_x = r_x : 10^\alpha$. In diesem Falle wählt man in der Regel $\alpha = 2$ oder 3 oder 4. Benutzt man wiederum ein Kadmiumelement, so eignet sich diese Methode am besten für einen Meßbereich von $0,001 \dots 1$ V.

Das zuletzt beschriebene Verfahren ist auch am besten geeignet für genaue

Strommessungen. Man hat dazu nur E_x zu ersetzen durch den Spannungsabfall in einem Normalwiderstand R_N (Abb. 70), der von dem zu messenden Strom I durchflossen wird. Es wird $I = r_x : (R_N \cdot 10^a)$.

N pflegt einer ganzzahligen Potenz von 10 gleich zu sein ($= 1/10^b$), so daß $I = r_x \cdot 10^{b-a}$ ist; man liest also an r_x , abgesehen vom Komma, direkt die Stromstärke ab.

Man kann aber die Methode b) auch benutzen, um hohe Spannungen zu messen, sofern man einen Spannungsteiler benutzt. Letzterer besteht aus einem großen Widerstand, der an die zu messende Spannung angeschlossen wird. Er enthält Abzweige, zwischen denen Spannungen bestehen, die ganzzahlige Teile der Gesamtspannung betragen. Der Wert der Teilung ist an den Klemmen vermerkt. Die Teilspannung wird nach dem Verfahren b) gemessen. Ist der Wert der Teilung $1/a$, wo also a eine ganze Zahl, meist sogar eine Potenz von 10 ist, so wird $E = ar_x \cdot 10^a$. Die Teilung wählt man natürlich so, daß E/a etwa 0,1...1 V beträgt.

Als Galvanometer wählt man am besten ein Drehspulen-Spiegelgalvanometer mit kleinem Widerstand und kurzer Schwingungsdauer. Man erreicht damit ohne Schwierigkeit eine Meßgenauigkeit von 0,01 %.

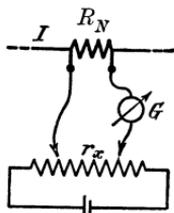


Abb. 70. Strommessung mit Kompensator.

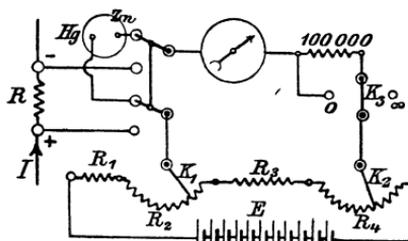


Abb. 71. Kompensationsapparat.

(201) Kompensationsapparate. Die im vorhergehenden beschriebenen Messungen lassen sich mit gewöhnlichen Widerstandskästen ausführen, erfordern dann aber große Aufmerksamkeit. Bequemer sind die Kompensationsapparate, in denen alle zum Gebrauch notwendigen Schaltungen zusammengebaut sind. Das wichtigste ist dabei die Anordnung, vermöge deren man in der Schaltung b) (s. oben) die Abzweigungspunkte auf dem Widerstand r verschiebt, ohne seinen Gesamtwiderstand zu ändern. Dies geschieht in einfacher und doch vollkommener Weise folgendermaßen.

Zwei Kurbeln K_1, K_2 (Abb. 71) schleifen auf den Kontakten von Dekadensätzen R_2 und R_4 . Diese beiden Hebel befinden sich an den Enden des Kompensationswiderstandes R_0 und entsprechen den beiden Kontakten der Abb. 70. Bei Verschiebung dieser Hebel bleibt offenbar der Widerstand im Hauptstromkreis ungeändert, während die Größe des Kompensationswiderstandes der jeweiligen Stellung dieser Hebel entspricht. Auf diese Weise erhält man also ohne weiteres zwei Stellen des Ergebnisses. Um die weiteren Stellen zu erhalten, werden zwei verschiedene Prinzipien benutzt.

Bei dem von Feußner angegebenen, von O. Wolff weitergebildeten Apparat (Zeitschr. Instrk. 1901, S. 227; 1903, S. 301) werden zwischen die beiden Endhebel noch Doppelkurbeln eingefügt, welche selbsttätig den in den Kompensationskreis eingeschalteten Widerstand aus dem Hauptstrom ausschalten und umgekehrt. Die Kurbeln bestehen aus zwei voneinander isolierten Hälften, die auf den Kontakten zweier voneinander unabhängiger Dekadensätze schleifen. Solcher Kurbeln lassen sich beliebig viele zwischen den beiden Endkurbeln anbringen. Ein anderes Prinzip, nämlich das der Abzweigung, benutzt Raps bei den Apparaten der Firma Siemens & Halske; es werden hier zwei weitere Dekaden dadurch gewonnen, daß an die Enddekaden (von je 1000 und je 10 Ω) Nebenschlüsse gelegt werden, durch welche die Unterabteilungen (Dekaden von 100 Ω und von 1 Ω) entstehen (vgl. Zeitschr. Instrk. Bd. 15, S. 215, 1895). Die Apparate anderer Firmen sind grundsätzlich den hier beschriebenen ähnlich.

Vgl. Hartmann & Braun: Phys. Zeitschr. Bd. 1, S. 167, 1900. Franke, R.: ETZ 24, S. 978, 1903, Lindeck und Rothe: Zeitschr. Instrk. 19, S. 249, 1899 und 20, S. 293, 1900. Feußner: ETZ Bd. 32, S. 187 und 215, 1911.

Zur Messung sehr kleiner Spannungen, wie sie z. B. in Thermoelementen auftreten, braucht man Kompensatoren, welche einen kleinen Gesamt Widerstand haben, und bei denen keine Fehler durch Thermokräfte an den Kontaktstellen entstehen können. Über dahingehende Konstruktionen siehe Hausrath: Ann. d. Phys. (4) Bd. 17, S. 735, 1905. White: Zeitschr. Instrk. Bd. 27, S. 211, 1907, 34, S. 71, 107, 142, 1914. Diesselhorst: Zeitschr. Instrk. Bd. 26, S. 173, 1906; Bd. 28, S. 1, 1908.

(202) Technische Kompensationseinrichtungen. Ihr Prinzip sei durch ein Beispiel erläutert. Ein Widerstand R besitzt zwei End- und zwei Abzweigklemmen (Abb. 72). Die Widerstände zwischen diesen verhalten sich wie 3000 : 1019. An den Abzweigklemmen liegt ein Kreis, bestehend aus kleinem Zeigergalvanometer G und Westonelement N . Durch einen vor R geschalteten Regulierwiderstand r wird die Stromstärke in R so eingestellt, daß das Zeigergalvanometer den Ausschlag Null zeigt; dann ist offenbar die Spannung an den Endklemmen von R genau 3 V. An diesen liegt ein Feinspannungsmesser V mit dem Meßbereich 3 V. Stellt sich dessen Zeiger nicht genau auf den Endteilstrich ein, so wird durch eine Reguliervorrichtung das magnetische Feld, in dem die Drehspule sich befindet, so lange geändert, bis der Zeiger auf diesem Teilstrich einsteht. Der Spannungsmesser zeigt dann richtig. Paulus: Elektrotechnik und Maschinenbau, 1907, S. 749 und Brion: Helios 1909, S. 289.

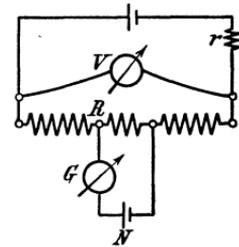


Abb. 72. Technische Kompensationseinrichtung.

Über Kompensationsmethoden für Wechselstrom s. (230).

(203) Messung von Scheitelwerten der Spannung. a) Hohe Spannungen durch Funkenschlagweite. Sehr hohe Spannungen können durch die Funkenschlagweite zwischen zwei Elektroden gemessen werden. Letztere ist von dem Durchmesser der Kugeln, zwischen denen die Entladung erfolgt, abhängig. Bei Anwendung einer nadelförmigen Elektrode setzt die Entladung zwar verhältnismäßig früh ein; da aber die Nadelspitzen eine undefinierte Krümmung besitzen, so hat die Eichung einer Nadelfunkenstrecke keine lange Dauer. Zu empfehlen ist bei Messungen, die einigermaßen auf Genauigkeit Anspruch machen, den sog. „Entladeverzug“ durch Bestrahlung mit violetterem oder ultravioletterem Licht (Bogenlampen) aufzuheben.

Über Zusammenhang von Kugeldurchmesser, Schlagweite u. Spannung s. (58).

Literatur: Starke: Ztschr. f. Instrk. 1903, S. 54. — Toepler, M.: ETZ 1907, S. 998, 1025 und Ann. d. Phys. 29, S. 153; 1909. — Weicker: ETZ 1911, S. 436, 460. Ferner: Peek: Proc. Am. Inst. 33, S. 889/914; 1916. — Estorff: ETZ 1916, S. 61, 76. — Clarkson: El. World 59, S. 1307; 1912.

b) Mit der Glimmlampe. Maß für den Höchstwert der Spannung ist gleichfalls die Erreichung der Durchbruchfeldstärke einer Entladungsstrecke, die hier konstanten Elektrodenabstand hat. Verändert wird der an die Durchbruchstrecke gelegte Verhältnisteil der Gesamtspannung.

Literatur: Palm: Ztschr. f. techn. Phys. 1923 S. 233; ETZ 1924, S. 1252, ferner Jahrbuch f. drahtl. Telegr. 1923 Nr. 1; ETZ 1924, S. 1318.

c) Mit Hochvakuumröhren. Benutzt wird die Ventilwirkung der Elektronenröhren zur Ladung eines Kondensators mittels der zu untersuchenden Wechselspannung. Die Kondensatorspannung steigt auf den Scheitelwert der gleichgerichteten Wechselspannung und kann mit statischen Instrumenten (175) direkt gemessen werden. Schaltung auch zur Messung kurzzeitiger Überspannungen anwendbar. (ETZ 1924, S. 490.)

d) Mit dem Joubertschen Kontaktmacher (236).

Elektrizitätsmenge.

(204) **Messung eines Stromstoßes**, d. i. eines Stromes von sehr kurzer Dauer (154). Wird ein Kondensator durch ein empfindliches Galvanometer entladen, oder schiebt man einen rasch verlaufenden Induktionsstoß durch das letztere, so erhält das bewegliche System einen Stoß. Die Beobachtung des ersten Umkehrpunktes ergibt den sogenannten ballistischen Ausschlag α . Dann ist die durch das Galvanometer geflossene Elektrizitätsmenge Q dem ballistischen Ausschlag proportional:

$$Q = C_{ball} \cdot \alpha.$$

C_{ball} heißt die ballistische Konstante. Diese Gleichung ist nur dann richtig, wenn der Stromstoß praktisch schon vollständig abgelaufen ist, bevor das bewegliche System seine Bewegung infolge des Stoßes beginnt.

C_{ball} ist merklich von der Dämpfung des beweglichen Systems abhängig; hat man also das ballistische Galvanometer geeicht, so darf man während seines Gebrauches die Dämpfung nicht ändern. Darauf ist besonders zu achten bei Drehspulengalvanometern; da hier die Dämpfung von dem Widerstand des Schließungskreises abhängt, der an die Galvanometerklemmen geschlossen ist, so darf dieser Widerstand nicht verändert werden, bzw. für jeden Widerstand des Schließungskreises ist eine besondere Eichung erforderlich. Am besten wählt man den Schließungswiderstand so, daß gerade der aperiodische Grenzzustand (153) eintritt.

Über einen Nebenwiderstand, der die ballistische Empfindlichkeit im gegebenen Verhältnis herabsetzt, ohne die Dämpfung zu ändern s. Volkman n: Ann. d. Phys. 10 S. 217 1903. (Zu beziehen durch S. & H.)

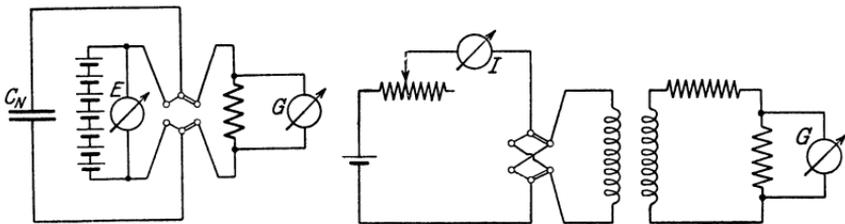


Abb. 73a und b. Eichung des ballistischen Galvanometers.

Abb. 73a durch eine Kapazitätsnormale. Abb. 73b. durch eine Induktivitätsnormale.

Eichung des ballistischen Galvanometers.

Man kann die ballistische Konstante aus der statischen berechnen; dies Verfahren ist aber wegen seiner Umständlichkeit wenig zu empfehlen; vgl. darüber z. B. Kohlrausch: Lehrbuch der praktischen Physik. Besser ist die Eichung durch Normale der Kapazität oder der Induktivität.

a) Eichung durch eine Kapazitätsnormale (Abb. 73a). Sie wird angewandt, wenn mit dem ballistischen Galvanometer Kapazitäten gemessen werden sollen.

Eine Batterie, deren Klemmenspannung durch einen Spannungsmesser E gemessen wird, lädt, wenn der Umschalter nach links gelegt ist, den Normalkondensator C_N , dessen Kapazität (in μF) genau bekannt sei. Wird der Umschalter nach rechts gelegt, so entlädt sich der Kondensator durch das ballistische Galvanometer G , zu dem nötigenfalls ein Nebenwiderstand gelegt ist; der ballistische Ausschlag sei α ; dann ist

$$C_{ball} = C_N E / \alpha.$$

Für verschiedene Nebenwiderstände zum Galvanometer ist wegen der veränderten Dämpfung jedesmal eine besondere Eichung vorzunehmen.

b) Eichung durch eine Induktivitätsnormale. (Schaltung nach Abb. 73 b). Man reguliert eine passende primäre Stromstärke ein und mißt

sie mit dem Strommesser I . Wird nun durch den Umschalter die primäre Stromstärke in der Induktivitätsnormale mit der bekannten Gegeninduktivität M gewendet, so entsteht in dem sekundären Stromkreis ein Stromstoß, der im ballistischen Galvanometer den ballistischen Ausschlag α hervorruft. Dann ist

$$R_2 \cdot C_{ball} = \frac{2MI}{\alpha}.$$

Darin ist R_2 der gesamte Widerstand des sekundären Kreises. C_{ball} ist von der Größe dieses Widerstandes abhängig. Da das Galvanometer beim Gebrauch nur mit genau demselben Schließungswiderstande R_2 gebraucht werden darf, mit dem es geeicht wurde, so geht auch in die Formeln beim Gebrauch nur das Produkt $R_2 \cdot C_{ball}$ ein. Man braucht also nur dafür zu sorgen, daß der Gesamtwiderstand des sekundären Kreises konstant bleibt; seinen absoluten Wert dagegen braucht man gar nicht zu kennen.

(205) Die Elektrizitätsmenge, welche während einer längeren Zeit durch einen Leiter strömt, wird mit dem Voltmeter gemessen. Aus der niedergeschlagenen bzw. aufgelösten Menge kann man mit Hilfe des elektrochemischen Äquivalentes ohne weiteres die Elektrizitätsmenge in Coulomb berechnen (78, 179).

Mittelbar kann man die durchgeströmte Menge bestimmen, wenn man die Stromstärke häufig beobachtet; dies geschieht z. B. beim Laden und Entladen von Akkumulatoren u. a. m. Zu demselben Zweck benutzt man schreibende Strommesser (178) oder Oszillographen (237,3). Die Fläche zwischen Stromkurve und Abszissenachse ist proportional der Elektrizitätsmenge.

Die von Zentralstationen gelieferten Elektrizitätsmengen werden mit besonderen Instrumenten gemessen, vgl. Verbrauchsmessung (287 u. f., Starkstromausgabe).

Wechselstromwiderstände.

(Induktivitäten und Kapazitäten.)

(206) Selbstinduktivitäten. Wird an eine beliebig geartete Spule eine sinusförmige Wechselspannung U gelegt, so entsteht ein Strom I , der in der Phase um den Winkel φ gegen die Spannung nach rückwärts verschoben ist. Man nennt (135):

$R_s = U/I$ den Scheinwiderstand,

$R_w = (U/I) \cos \varphi$ den Wirkwiderstand,

$R_b = (U/I) \sin \varphi$ den Blindwiderstand.

Es ist: $R_s^2 = R_w^2 + R_b^2$; $R_w = R_s \cos \varphi$; $R_b = R_s \sin \varphi$.

Im allgemeinen sind R_w und R_b in mehr oder weniger komplizierter Weise von der Stromstärke und der Frequenz abhängig.

Ist dagegen die Spule so gebaut, daß

a) weder in der Umgebung des Stromleiters sich magnetisierbare Substanzen befinden, noch der Stromleiter selber aus einer magnetisierbaren Substanz besteht,

b) weder in benachbarten Metallteilen, noch in dem Metall des Stromleiters selber Wirbelströme entstehen können,

c) die Spule keine merkliche Kapazität besitzt,

so stimmt R_w mit dem ohmschen Gleichstromwiderstand überein, und R_b ist proportional der Frequenz:

$$R_b = 2\pi f \cdot L$$

L ist in diesem Fall konstant und heißt die Selbstinduktivität der Spule.

Eine „reine“ SI ist z. B. eine auf ein nichtleitendes Material gewickelte Spule, deren Drähte nicht massiv sind, sondern aus einer größeren Zahl feiner, voneinander isolierter Drähte zusammengedrillt sind; vgl. (120 und 121).

Im allgemeinen müssen Wirk- und Blindwiderstände mit der Stromstärke und der Frequenz gemessen werden, mit der sie gebraucht werden sollen.

(207) Messung der Induktivität aus Strom I , Spannung U und Leistung N (Schaltung s. Abb. 74 a u. b). Aus den abgelesenen Werten von U , I und N ergibt sich

$$R_w = N/I^2; \quad R_s = U/I; \quad R_b = \sqrt{R_s^2 - R_w^2}.$$

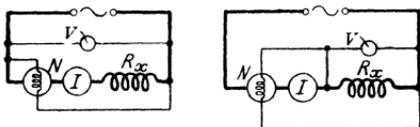


Abb 74 a und b Schaltungen für Leistungsmessungen.

von N abziehen $r_i I^2$,

von U abziehen $I(r_i \cos \varphi + x_i \sin \varphi)$, wo $\cos \varphi = \frac{N}{UI}$ ist.

Schaltung b) Spannungsmesser und Spannungskreis des Leistungsmessers haben zusammen den Wirkleitwert g_e und den Blindleitwert y_e . Dann ist als

Korrektion von N abziehen $g_e U^2$,

von I abziehen $U(g_e \cos \varphi + y_e \sin \varphi)$.

Über Berücksichtigung der Kurvenform s. Bull. Bur. of Stand. 1, S. 125, 1905.

(208) Die Wheatstonesche Brücke wird unter Verwendung von Wechselstrom gebraucht um Widerstandsoperatoren miteinander zu vergleichen. Sind:

$$z_1 = s_1 e^{j\theta_1} \dots z_4 = s_4 e^{j\theta_4}$$

die Operatoren der vier Zweige, so ist die Bedingung dafür, daß die Brücke stromlos bleibt:

$$s_1 : s_2 = s_3 : s_4 \text{ und}$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \varphi_3 - \varphi_4$$

d. h. eine Doppelbedingung, weil der Spannungsabfall in den Zweigen 1 und 3 nicht nur der Größe, sondern auch der Phase nach übereinstimmen muß.

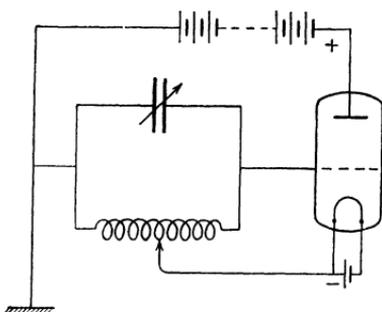


Abb. 75. Hochvakuumröhre als Wechselstromgenerator.

In den Hauptzweig kommt eine Wechselstromquelle, welche zweckmäßig so eingerichtet ist, daß sie während der Versuche konstante, im übrigen aber stark veränderbare Frequenzen hervorbringen kann. Dazu eignen sich a) Saitenunterbrecher, bei denen die Schwingungen einer abstimmbaren Saite zur Unterbrechung eines Gleichstroms benutzt werden (Wien, M.: Wied. Ann. Bd. 44, S. 683, 1891), b) Summer (Dolezalek: Zeitschr. Instrk. Bd. 23, S. 243, 1903), Larsen: ETZ 1911, S. 284, c) kleine Hochfrequenzmaschinen (Wien, M.: Ann. d. Phys. (4) Bd. 4, S. 426, 1901, Dolezalek (a. a. O.); Hartmann & Braun: Phys. Zeitschr.

Bd. 10, S. 1018, 1909 und Arch. f. El. Bd. 3, S. 75, d) Hochvakuumröhren s. (98). Diese liefern in der Schaltung nach Abb. 75 bei niedrigem Heizstrom eine von Heizstrom und Anodenspannung praktisch unabhängige Frequenz von so großer Konstanz, daß man die Anordnung unter Verwendung verschiedener Spulen und Kondensatoren als Normaltonskala benutzen kann (Zeitschr. f. Instrk. 1920, S. 120).

In den Brückenweig der Wheatstoneschen Brücke schaltet man ein Hörtelefon oder, wenn die Einstellung von der Frequenz abhängig ist, besser ein Vibrationsgalvanometer (171).

Um Störungen, die durch die Kapazität der ganzen Meßanordnung entstehen können, auszuschließen, bringt man den Brückenweig auf das Potential Null gegen Erde ohne im übrigen die Stromverteilung zu stören. Am einfachsten wird dies dadurch erreicht, daß man zu der ganzen Verzweigung einen weiteren Zweig parallel schaltet, der aus denselben Wechselstromwiderständen, wie die parallelen Zweige der Brückenordnung besteht und in diesem Zweige die Stoßstelle der beiden Widerstände erdet (Abb. 76, Punkt A) (Wagner, K. W.: ETZ 1911, S. 1001). Über das Abbiegen von Oberschwingungen durch Kettenleiter (147) s. Wagner, K. W.: Arch. f. El. Bd. 3, S. 74. Über Hochfrequenzbrücke ETZ 1922, S. 1390.

a) Vergleich zweier Selbstinduktivitäten (Abb. 76). Zweig 1 enthält die unbekannte Selbstinduktivität, deren „wirksame“ SI x sei, Zweig 2 eine „reine“ bekannte SI vom Betrage L ; zu Zweig 1 oder 2 kann nach Bedarf ein induktionsloser Widerstand zugeschaltet werden; es sei r_1 der gesamte wirksame Widerstand von Zweig 1, r_2 der gesamte ohmsche Widerstand von Zweig 2. Zweig 3 und 4 bestehen aus induktionslosen Widerständen r_3 und r_4 . Dann lautet die Nullbedingung für den Brückenweig x : $L = r_1 : r_2 = r_3 : r_4$.

Für L nimmt man entweder Normalrollen (vgl. Wien, M.: Wied. Ann. Bd. 58, S. 553, 1896 und Dolezalek: Ann. d. Phys. (4) Bd. 12, S. 1142, 1903) oder Selbstinduktivitätsvarioren (vgl. Wien, M.: Wied. Ann. Bd. 57, S. 249, 1896; Hausrath: Zeitschr. Instrk. Bd. 27, S. 302, 1907; Land- und Seekabelwerke, Köln-Nippes: Bull. Bur. of St. 1916, S. 569). Diese bestehen aus einem festen und einem um einen Durchmesser des ersteren drehbaren Spulensystem; jeder gegenseitigen Lage, die an einem Teilkreis abgelesen wird, entspricht ein bestimmter Wert der Selbstinduktivität. Zweig 3 und 4 wird zweckmäßig durch einen Schleifdraht gebildet, der für genauere Messungen durch Zusatzwiderstände an den Enden gewissermaßen verlängert werden kann (191).

Durch abwechselndes Verschieben des Schleifkontaktes und Drehen der Variorenschleife oder, wenn statt der Varioren eine Normalspule benutzt wird, durch Regulieren des zwischen Zweig 1 und 2 geschalteten induktionslosen Widerstandes wird die Nulleinstellung herbeigeführt. Dann wird x aus Lr_3/r_4 berechnet.

Ist die zu messende SI nicht rein, so ist auf die Stromstärke und bei Wechselstrom auch auf die Frequenz zu achten. Erstere findet man am bequemsten durch einen geeigneten Strommesser im Hauptzweig; gibt dieser den Strom I an, so ist, wenn die Brücke abgeglichen ist, der Strom im Zweige 1 gleich $Ir_4/(r_3+r_4)$, gleichgültig, ob mit Gleichstrom oder Wechselstrom gemessen wird.

Wird mit Wechselstrom gemessen, so findet man den wirksamen Widerstand der Spule aus $r_1 = r_2 r_3/r_4$. Macht man nach Beendigung der Wechselstrommessung eine Gleichstrommessung, so muß man r_2 um den Betrag δ verkleinern, um das in die Brücke geschaltete Galvanometer stromlos zu machen, d. h. der ohmsche Widerstand der Spule ist gleich $(r_2 - \delta) r_3/r_4$. Der Wert $\delta r_3/r_4$ mit dem Quadrate des die Spule ursprünglich durchfließenden Wechselstromes (effektiv gemessen) multipliziert, ergibt somit die in der Sekunde durch Hysterese und Wirbelströme verloren gehende Energie in Watt.

Besondere Aufmerksamkeit wegen der zahlreichen Fehlerquellen erfordert die Messung sehr kleiner SI, z. B. einfacher Drahtringe, gerader Drähte, wie sie u. a. bei der drahtlosen Telegraphie gebraucht werden. Auch hierfür ist die vorstehende

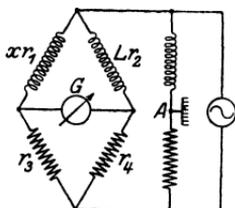


Abb. 76. Vergleich zweier Selbstinduktivitäten.

Methode brauchbar, wobei man zweckmäßig mit dem Brückenverhältnis 1 : 10 bis 1 : 100 arbeitet (vgl. Prerauer: Wied. Ann. Bd. 53, S. 772, 1894). Über die Messung kleiner SI bei verhältnismäßig großen Widerständen s. Giebe: Ann. d. Phys. (4) Bd. 24, S. 941, 1907. Wagner und Wertheimer: Phys. Zschr. 1912, S. 368. Schering u. Schmidt: Arch. f. El. 1, S. 423. Grover u. Curtis: Bull. Bur. of. St. 8, Nr. 3, 1912. Über die Anwendung der Thomsonbrücke zur Messung kleiner Induktivitäten s. Schering: ETZ 1917, S. 421, 436. — Meßbrücken für große und kleine SI nach Dolezalek von Siemens & Halske: Zeitschr. Instrk. Bd. 23, S. 246, 1903. — Brückenmessungen mit dem Phasenschlitten: Dequisne: Arch. f. El. Bd. 14, S. 481, 1925; ETZ 1925, S. 970.

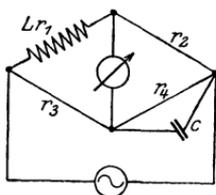


Abb. 77. Vergleich einer Selbstinduktivität mit einer Kapazität.

b) Vergleich einer SI L mit einer Kapazität C (Abb. 77). Zweig 1 enthält die SI L vom Widerstand r_1 ; die übrigen Zweige enthalten induktionslose Widerstände $r_2 r_3 r_4$; zu r_4 , das dem Zweige 1 gegenüberliegt, ist die Kapazität C parallel geschaltet. Der Brückenstrom ist gleich Null, wenn

$$r_1/r_2 = r_3/r_4 \text{ und } L/C = r_2 r_3 \text{ ist.}$$

Mit dieser Methode lassen sich dieselben Messungen wie unter a) ausführen, nur daß man als Normal statt einer Induktionsrolle einen Kondensator benutzt.

(209) Vergleich zweier Selbstinduktivitäten mit dem Differentialtelefon. Auf einen Eisenkern sind zwei genau einander gleiche Wicklungen (1, 2) zusammen aufgewickelt (Abb. 78). Werden beide Wicklungen mit entgegengesetzter Strom-

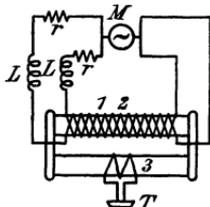


Abb. 78. Vergleich zweier SI mit Differentialtelefon.

richtung an eine Wechselstrommaschine M angeschlossen, so wird die Induktion im Eisen aufgehoben, wenn Selbstinduktionen LL und Widerstände rr in den beiden äußeren Kreisen einander gleich sind; das Verschwinden der Induktion wird an einer tertiären (3) Wicklung mittels Telephons T beobachtet. Man kann auf diese Weise eine unbekannte SI mit einem Normal vergleichen. Gibt man den beiden primären Wicklungen verschiedene Windungszahlen, so müssen sich SI und Widerstände wie die Windungszahlen verhalten. Die Methode eignet sich zur Messung der Induktivität eisenhaltiger Spulen in Maschinen und Transformatoren (s. Hausrath: Unters. elektr. Systeme, S. 61. Jul. Springer. Berlin 1907. Land- und Seekabelwerke, Köln-Nippes.)

(210) Gegeninduktivitäten. a) Man schickt in die primäre Wicklung den gemessenen Gleichstrom I , wendet den Strom und mißt mittels ballistischen Galvanometers den Stromstoß Q , der in der sekundären Wicklung induziert wird. Ist R_2 der Gesamtwiderstand des sekundären Kreises, so ist die Gegeninduktivität $M = Q \cdot R_2 / 2 I$. Über die Eichung des ballistischen Galvanometers s. (204).

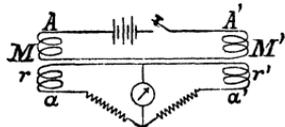


Abb. 79. Vergleich zweier Gegeninduktivitäten.

Einen direkten Vergleich von zwei Gegeninduktivitäten erhält man auf folgendem Wege:

Die Gegeninduktivität der Rollen A und a sei bekannt und $= M$; diejenige der Rollen A' und a' unbekannt $= M'$; M' soll mit M verglichen werden. Man schaltet nach Abb. 79. Sollen die Induktivitäten für stationäre Zustände ver-

gleich werden, so benutzt man eine Gleichstromquelle und ein ballistisches Galvanometer; beim Vergleich mit Wechselstrom eine Wechselstromquelle und ein Telephon oder Vibrationsgalvanometer. Man stellt auf verschwindenden Strom ein; Bedingung dafür ist $M : M' = L : L' = r : r'$; darin sind L und L' die Selbstinduktivitäten der sekundären Spulen. Man muß also unter Umständen zu a und a' Ballastvariatoren hinzufügen.

b) Ist M die Gegeninduktivität zweier Spulen, deren Selbstinduktivitäten L_1 und L_2 sein mögen, so mißt man zunächst nach einer der Methoden (207, 208) die Selbstinduktivität L' der hintereinander geschalteten Spulen, wobei die Ströme in beiden Spulen einander gleichgerichtet sein sollen; dann ist $L' = L_1 + L_2 + 2M$. Dreht man die Stromrichtung in einer der Spulen um, so findet man auf demselben Wege $L'' = L_1 + L_2 - 2M$; daraus ergibt sich: $M = (L' - L'')/4$. Die Methode ist nicht zu brauchen, wenn L_1 und L_2 sehr verschieden groß sind.

Über andere Methoden, namentlich solche mit Hilfe von Variatoren für Gegeninduktivitäten Campbell: Nat. phys. Lab. coll. res. Bd. 4, S. 223, 1908.

(211) Vergleich einer Gegeninduktivität mit einer Kapazität. Schaltung nach Abb. 80 Die unbekannte Gegeninduktivität M wird mit dem Normalkondensator C verglichen.

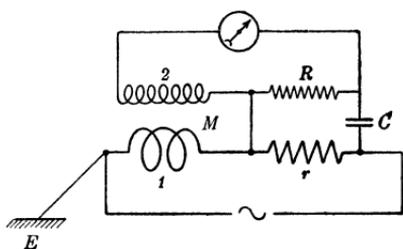


Abb. 80. Vergleich einer kleinen Gegeninduktivität mit einer Kapazität.

Die Methode ist für kleine ωM (bis zu 4Ω) brauchbar. r ist ein fester Widerstand. R wird reguliert bis das Vibrationsgalvanometer zur Ruhe kommt; r muß klein gegen $\frac{1}{\omega C}$ bleiben. Dann ist: $M = C \cdot r \cdot R$.

Für größere Induktivitäten eignet sich besser die Schaltung nach Abb. 81. R muß groß gegen ωL , ωC groß gegen $\frac{1}{\omega q}$ sein. q ist ein fester Widerstand, der Nullstrom des Galvanometers wird durch Regeln von R herbeigeführt. Dann ist

$$M = R q C.$$

In R ist der Spulenwiderstand eingeschlossen. (Schering und Engelhardt: Zeitschr. f. Instrk. 1920, S. 122; 1921, S. 139.)

(212) Vergleich von Kapazitäten. Die beiden Kondensatoren werden miteinander verbunden, um sie auf gleiches Potential zu bringen; sie werden geladen und voneinander getrennt. Darauf entlädt man sie nacheinander durch ein ballistisches Galvanometer (204). Die Ausschläge des Galvanometers geben das Verhältnis der Kapazitäten an.

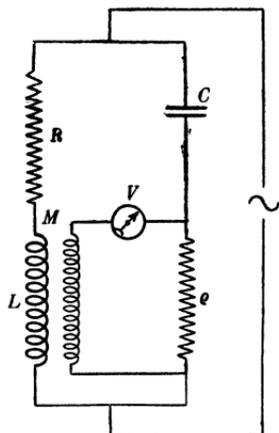


Abb. 81. Vergleich einer großen Gegeninduktivität mit einer Kapazität.

Oder man mißt nur die Differenz ihrer Kapazitäten nach der Schaltung Abb. 82 (Thomson'sche Methode); r_1 und r_2 sind große Widerstände, e ein verschiebbarer Erdkontakt. Zunächst

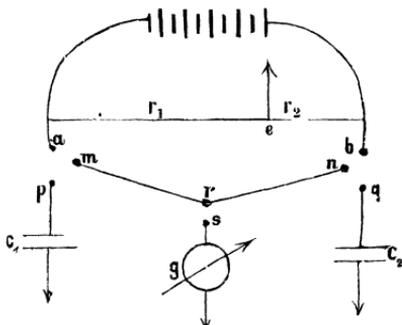


Abb. 82. Vergleich zweier Kapazitäten mit Galvanometer.

werden die Verbindungen ap und bq hergestellt und die Kondensatoren geladen. Dann werden diese Verbindungen aufgehoben und pm und nq verbunden; die Ladungen gleichen sich bis auf einen Rest aus, der gemessen wird, indem man r mit s verbindet. Verschiebt man e so lange, bis der Rest gleich null ist, so gilt $C_1 : C_2 = r_2 : r_1$.

(213) Messung der Kapazität in der Wheatstoneschen Brücke mit Wechselstrom. Der Vergleich zweier Kapazitäten miteinander wird in der Wheatstoneschen Brücke nach Abb. 83 unter Benutzung von Wechselstrom ausgeführt.

$C_1 : C_2 = r_4 : r_3$ ist die Bedingung für Schwingen des Telefons. Dabei ist vorausgesetzt, daß im Kondensator keine Energieverluste auftreten (dielektrische Hysterese). Ist letzteres der Fall, so kann man sich einen solchen Kondensator durch einen verlustlosen von der Kapazität C ersetzt denken, dem ein Widerstand ρ (Verlustwiderstand) vorgeschaltet ist. Statt der Verlustwiderstände gibt man häufig die Verlustwinkel δ an, wo $\delta = \omega C \rho$ ist (ω Kreisfrequenz). (50, 95).

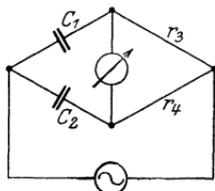


Abb. 83. Vergleich zweier Kapazitäten mit Wechselstrom.

Es sei in Zweig 1 der unbekannte mit Verlusten behaftete Kondensator; man bringt in Zweig 2 einen verlustfreien Luftkondensator und schaltet parallel zu r_4 einen verlustfreien Drehkondensator C_4 ; dann ist mit genügender Genauigkeit die Gleichgewichtsbedingung:

$$C_1 : C_2 = r_4 : r_3$$

$$\delta_1 = \omega C_4 r_4.$$

Fehler, die durch Eigenkapazitäten der einzelnen Zweige gegen Erde, Induktivität der für die Abgleichung erforderlichen Widerstände usw. auftreten

können, werden bei einer Austauschmethode vermieden. Man vertauscht in der zuletzt angewandten Schaltung den Verlustkondensator C_x in Zweig 1 durch einen regelbaren verlustfreien Normalkondensator C_n . Man bringt die Brücke durch Regeln von C_n und C_4 ins Gleichgewicht. Ist ΔC_4 die Änderung, die beim Übergang von C_x auf C_n in C_4 erforderlich ist, so tritt wieder Gleichgewicht ein, wenn $\delta x = \omega r_4 \Delta C_4$ ist. Diese Methode ist besonders für Verlustmessungen geeignet (Giebbeu, Zickner: Arch. f. El. 11. S. 109, 1922). Geyger: Arch. f. El. Bd. 12, S. 370. — Verlustwinkel- und Kapazitätsmessungen an Porzellanisolatoren s. ETZ 1925, S. 683. Über die Messung von Teilkapazitäten von mehradrigen Kabeln s. Wagner, K. W.: ETZ 1912, S. 635.

Die Betriebskapazität kann nach K ü p f m ü l l e r (ETZ 1922, S. 461) nach Abb. 84a gemessen werden. C_1 ist die Teilkapazität zwischen den Leitern eines zweiadrigen Kabels, $C_2 C_3$ sind die Teilkapazitäten gegen den Mantel. Um die Punkte a und b auf entgegengesetzt gleiches Potential zu bringen, benutzt man die Hilfsbrücke (Abb. 84b) aus zwei gleichen Widerständen $R_1 R_T$ und den regulierbaren Kapazitäten $C_1 C_2$ nebst zwischengeschaltetem Widerstand r . Nachdem die Stromquelle symmetriert ist, wird in der Hauptbrücke durch r_0, C_0 der Fernhörer zum Schwingen gebracht. Die Messungen werden nach Vertauschung der Teilkapazi-

täten gegen Erde miteinander wiederholt und die Ergebnisse gemittelt. Dann ist $C_0 = C_1 + C_2 C_3 / (C_2 + C_3)$ die Betriebskapazität, r_0 der Verlustwiderstand des Kabels. Eine andere Schaltung bei J o r d a n, ETZ 1922, S. 10.

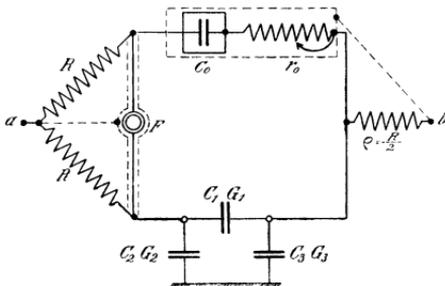


Abb. 84 a. Messung einer Betriebskapazität.

Über die absolute Messung einer Kapazität s. Maxwell (Electr. II, § 557), Thomson, J. J.: Phil. Tr. Bd. 174, S. 707, 1883; G i e b e: Zeitschr. Instrk. 1909, S. 205, 269, 301. — Bestimmung der Betriebskapazität von Kabeln: K u h l e: ETZ 1922, S. 1205, ferner ETZ 1923, S. 115, ETZ 1923, S. 457.

(214) Resonanzmethode. Bei Anwendung von Wechselströmen höherer Frequenz benutzt man am besten eine Resonanzmethode. Man schließt die zu messende Kapazität und eine passende Induktivität zu einem Kreise und erregt diesen mit Hochfrequenz [am besten durch eine Hochvakuumröhre (98) u. (208)]; die Resonanzlage wird z. B. durch Detektor mit Galvanometer festgestellt. Dann ersetzt man die unbekannte Kapazität durch einen geeichten Drehkondensator und stellt mit diesem die Resonanzlage wiederum ein. — Über Messung kleiner Kapazitäten nach dem Resonanzschwebungsverfahren s. Phys. Zeitschr Bd. 23, S. 544, 1922; ETZ 1924, S. 468.

(214a) Ermittlung von Kapazitäten aus der Ladezeit. 1. Mittels Elektronenrohren (vgl. ETZ 1925, S. 923; ferner: v. H i p p e l: „Die Elektronenröhre in der Meßtechnik“. Leipzig 1924).

2. Mittels Glümmrelais (G e f f k e n u. R i c h t e r: Z. techn. Physik 1924, Bd. 11, S. 511).

(215) Kapazität von Spulen. Größere Spulen besitzen eine gewisse Eigenkapazität; sie verhalten sich bis zu hohen Frequenzen wie Spulen ohne Kapazität, denen ein Kondensator von der Kapazität C parallel geschaltet ist. Hat die Spule den Wirkwiderstand R und die Induktivität L , so ist der Operator angenähert:

$$z = R(1 + 2\omega^2 LC) + i\omega L(1 + \omega^2 LC).$$

Man bestimmt C , indem man die Spulenklmnen durch ein Heliumröhrchen überbrückt und den so gebildeten Kreis mit einem Hochfrequenzgenerator von regulierbarer Frequenz induktiv koppelt. Man bestimmt die Wellenlänge λ , bei der das Röhrchen aufleuchtet (Resonanz) durch einen geeigneten Wellenmesser, dann ist:

$$C = \lambda^2 / 36\pi^2 \cdot 10^{10} L.$$

C in μF , λ in m, L in H (Ann. d. Phys. Bd. 41, S. 543).

(216) Die Dielektrizitätskonstante ϵ wird bestimmt durch die Vergleichung eines Plattenkondensators, der erst mit Luft und dann mit dem zu untersuchenden Stoffe gefüllt ist, mit einem anderen, ihm nahezu gleichen Kondensator. Zur Vermeidung der Streuung müssen die Endplatten dem gleichen Pol angehören (G r ü n e i s e n u. G i e b e: Verh. d. phys. Ges. 1912, S. 921).

Ist C_0 die Kapazität des mit Luft gefüllten Kondensators, C diejenige des mit dem zu untersuchenden Dielektrikum gefüllten, so ist $\epsilon = C/C_0$. Dabei ist voraus-

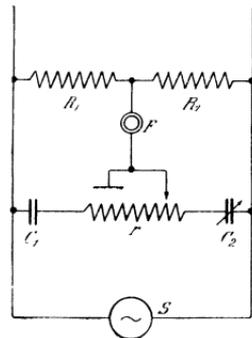


Abb. 84 b. Hilfsbrücke zum Abgleich der Endpotentiale.

gesetzt, daß das Dielektrikum den Raum zwischen den Platten vollständig ausfüllt. Dies ist bei Flüssigkeiten immer der Fall, bei festen Körpern in der Regel nicht. Besitzt der Kondensator einen Plattenabstand a , und ist die Dicke des eingeschobenen festen Körpers d , so ist: $1/\epsilon = 1 - (a/d) \cdot (C - C_0)/C$.

Die Resultate werden fehlerhaft, wenn die Dielektriken nicht vollkommen isolieren.

(217) Dielektrizitätskonstanten von unvollkommenen Isolatoren werden nach Methoden von Nernst gefunden.

a) **Kompensation des Leitvermögens.** Die Schaltung ist im wesentlichen die gleiche wie in (216). Der Versuchskondensator c (Abb. 85), dessen Boden zur Erde abgeleitet ist, besitzt einen konstanten Plattenabstand. Er kann entweder zu dem konstanten Hilfskondensator c_2 oder zu dem meßbar variierbaren Kondensator c_1 parallel geschaltet werden. Letzterer besteht aus einem Plattenkondensator mit verschiebbarer Glasplatte; die Abhängigkeit der Kapazität von der Stellung der Glasplatte

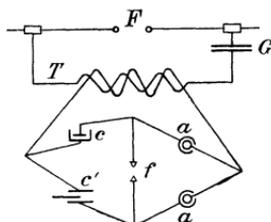
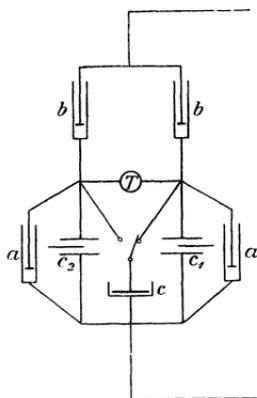


Abb. 85 und 86. Dielektrizitätskonstante unvollkommener Isolatoren.

ist durch besonderen Versuch bestimmt. Den Kondensatoren parallel geschaltet sind regulierbare Flüssigkeitswiderstände $a a$, welche ein eventuelles Leitvermögen des Dielektrikums kompensieren sollen. Die übrigen beiden Zweige der Wheatstoneschen Brücke werden ebenfalls durch zwei regulierbare, einander gleiche Flüssigkeitswiderstände $b b$ gebildet. Man schaltet zunächst c luftgefüllt parallel zu c_2 und reguliert c_1 und die Widerstände, bis das Telefon schweigt. Danach wird c parallel zu c_1 geschaltet und von neuem eingestellt. Durch die Verschiebung der Glasplatte von c_1 wird das Doppelte der Kapazität c einschl. Zuleitungen gefunden.

Füllt man nun den Kondensator mit einer Flüssigkeit von der bekannten Dielektrizitätskonstanten ϵ_0 , so findet man durch dieselbe Methode die Kapazität c_0 . Schließlich wird die Kapazität c_x des mit einer Flüssigkeit von der Dielektrizitätskonstanten ϵ_x gefüllten Kondensators gemessen; dann folgt

$$2\epsilon_x - 1 = (\epsilon_0 - 1) \cdot (c_x - c) / (c_0 - c).$$

b) **Messung in der Wheatstoneschen Brücke** mittels sehr schneller Schwingungen (Abb. 86). Die raschen Schwingungen werden mittels Induktors, Funkenstrecke F , Glasplattenkondensators G und Lufttransformators T erzeugt. Zwei Zweige der Wheatstoneschen Brücke werden durch zwei einander annähernd gleiche Leidener Flaschen $a a$ gebildet. c ist der Versuchskondensator, c' der mittels der Glasplatte regulierbare (vgl. 217a). Als Indikator der Stromlosigkeit in der Brücke dient eine Funkenstrecke f , die durch zwei fein einstellbare, aufeinander senkrechte Platinschneiden gebildet wird.

Es wird ebenso wie unter a) eine Messung an dem mit Luft gefüllten Kondensator gemacht. Dann wird der Kondensator mit einer Flüssigkeit von bekannter

Dielektrizitätskonstanten gefüllt und schließlich mit der zu untersuchenden Flüssigkeit. Die Berechnung erfolgt nach derselben Formel wie unter a). S. auch Phys. Zschr. 17, S. 117.

Literatur: Orlich: Kapazität und Induktivität. Braunschweig 1909. — Bestimmung der Dielektrizitätskonstante keramischer Massen, ETZ 1925. S. 563.

Wechselstrommessungen.

(218) Spannung, Strom, Leistung. Effektive Spannung und effektive Stromstärke (129) werden wie bei Gleichstrom durch geeignete Spannungs- und Strommesser gemessen. Während aber bei Gleichstrom die Leistung durch einfache Multiplikation der getrennt gemessenen Werte von Strom und Spannung erhalten wird, ist bei Wechselstrom zu beachten, daß, sobald Strom und Spannung in der Phase um den Winkel φ gegeneinander verschoben sind, die Leistung gleich $UI \cos \varphi$ ist; vgl. (130). Die Messung der Leistung von Wechselströmen erfordert somit besondere Methoden und Apparate.

(219) Methoden der Leistungsmessung. Die Leistung eines Wechselstromes $UI \cos \varphi$ wird am einfachsten durch geeignete Leistungsmesser ermittelt, die gewöhnlich aus zwei Stromkreisen bestehen: dem Strompfad, der vom Arbeitsstrom I durchflossen wird, und dem Spannungspfad, an den die Spannung U gelegt wird. Die Leistungsmesser werden je nach Art der zu messenden Leistung verschieden geschaltet. [Vgl. auch (189)].

a) Einphasiger Wechselstrom. Es bedeute N die Angabe des Leistungsmessers, p_s den Eigenverbrauch des Leistungsmessers im Spannungspfad (z. B. beim Dynamometer $I^2 \times$ Gesamtwiderstand des Spannungspfad), p_h den Eigenverbrauch des Leistungsmessers im Strompfad (beim Dynamometer $I^2 \times$ wirksamer Widerstand des Strompfades); dann ist:



Abb. 87a und 87b. Schaltung von Leistungsmessern.

Schaltung Abb.	Abgegebene Leistung der Energiequelle	Verbrauch im Nutzkreis
87 a	$N + p_s$	$N - p_h$
87 b	$N + p_h$	$N - p_s$

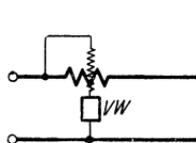


Abb. 88a.
Richtige Schaltung
des Vorwiderstandes eines Leistungsmessers.

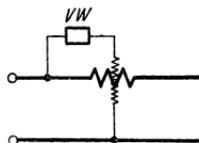


Abb. 88 b.
Falsche Schaltung
des Vorwiderstandes eines Leistungsmessers.

Über die Zweckmäßigkeit der einen oder der anderen Schaltung s. v. Stud-niarski: ETZ Bd. 30, S. 821.

b) Zur Messung der gesamten Leistung eines beliebig belasteten Drehstromsystems sind zwei Leistungsmesser erforderlich, die nach Abb. 89 angeordnet werden, und zwar gleichgültig, ob die Belastung in Stern oder in Dreieck geschaltet ist. Die Gesamtleistung ist gleich der Summe der Angaben der Leistungsmesser. Im Diagramm (Abb. 90) sind die für die Leistungsmessungen

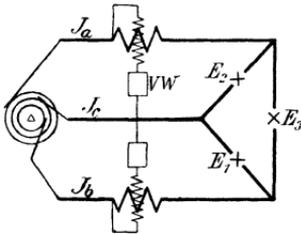


Abb. 89. Drehstromleistung (Aronsche Schaltung).

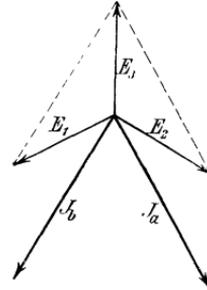


Abb. 90. Drehstromdiagramm für induktionslose Last.

in Betracht kommenden Teilspannungen E_1 E_2 sowie die Teilströme I_b I_a für den Fall einer gleichmäßigen induktionslosen Belastung in allen drei Phasen eingezeichnet. Wird die Belastung gleichmäßig und induktiv, so hat man die Ströme I_b I_a gegen das Spannungskreuz um den der induktiven Belastung entsprechenden Phasenwinkel φ zu verschieben. Für $\varphi = 60^\circ$ wird der Ausschlag des einen Leistungsmessers gleich Null ($\angle E_2 I_a = 90^\circ$); ist φ noch größer, so hat man die Richtung des Spannungsstromes in diesem Leistungsmesser umzudrehen und seine Angaben negativ in Rechnung zu setzen. Es sind Umschalter konstruiert worden (S. & H.), durch welche derselbe Leistungsmesser nacheinander in zwei der Hauptleitungen gelegt wird. Sind bei gleichmäßiger Belastung in den drei Phasen N_1 und N_2 die in der Schaltung Abb. 89 gemessenen Teilleistungen, so wird die Phasenverschiebung zwischen Strom und zugehöriger Spannung in der Belastung berechnet aus:

$$\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{3} \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2}.$$

Gleichbelastetes Drehstromsystem. Sind die Belastungen in den drei Zweigen nach Stromstärke und Phase einander gleich, so genügt zur Messung der Gesamtleistung ein Leistungsmesser, der nach Abb. 91 geschaltet wird.

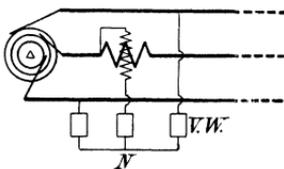


Abb. 91. Leistung eines gleichmäßig belasteten Drehstromsystems.

Die Spannungsspeile liegt in dem sog. Sternschaltungswiderstand; die drei Widerstände zwischen den drei Polen der Drehstromleitung und dem „künstlichen Nullpunkt“ N sind einander gleich. Beträgt jeder R Ω und ist K die Konstante des dynamometrischen Leistungsmessers (223), so ist die Gesamtleistung des gleichmäßig belasteten Drehstromsystems gleich $3KR \cdot \alpha$.

c) Drehstromsystem mit vierem Leiter. Besitzt das Drehstromsystem einen vierten „neutralen Leiter“, der vom Sternpunkt der Energiequelle ausgeht, so braucht man für eine strenge Messung der Gesamtleistung 3 Leistungsmesser, deren Strompfade in die 3 Außenleiter gelegt werden, während die Spannungspfade zwischen Außenleitern und neutralem Leiter liegen. Vereinfachte Schaltungen s. ETZ 1901, S. 214, und 1903, S. 976. Genaue Formeln bei Orlich: ETZ 1907, S. 71.

(220) Methode der drei Spannungsmesser. Um die zwischen den Punkten ab (Abb. 92) eines Stromkreises verbrauchte Leistung N zu finden, wird hinter dem Verbrauchskreis zwischen die Punkte b und c der induktionslose Widerstand R geschaltet. Die Spannung zwischen ac sei gleich U , zwischen ab gleich U_1 , zwischen bc gleich U_2 . Diagramm in Abb. 93. Dann ist

$$\cos \varphi = \frac{U^2 - U_1^2 - U_2^2}{2 U_1 U_2}$$

und daher die gesuchte Leistung $N = (U^2 - U_1^2 - U_2^2)/2R$. Der Eigenverbrauch der Spannungsmesser ist zu berücksichtigen (vgl. ETZ 1901, S. 98).

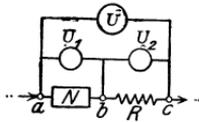


Abb. 92. Leistung aus drei Spannungsmessungen.

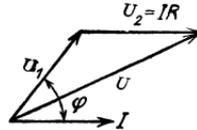


Abb. 93. Diagramm der Methode der drei Spannungsmesser.

(221) Methode der drei Strommesser (Fleming). Schaltet man zum Verbrauchskreis einen induktionslosen Widerstand R parallel, nennt den unverzweigten Strom I , die Ströme in der Verbrauchsleitung und in dem induktionslosen Widerstand bzw. I_1, I_2 , so ist die gesuchte Leistung gleich $1/2 R (I^2 - I_1^2 - I_2^2)$.

(222) Die Wechselstrommeßapparate zur Messung von Spannung, Stromstärke und Leistung zerfallen in zwei Klassen:

I. Diejenigen Apparate, die für Gleichstrom und Wechselstrom die gleichen Angaben machen. Die mit Gleichstrom geprüften Apparate können ohne weiteres mit Wechselstrom gebraucht werden; zuweilen ist eine berechenbare Korrektur erforderlich. Hierhin gehören die Dynamometer, Elektrometer und Hitzdrahtapparate.

II. Diejenigen Apparate (bzw. Hilfsapparate), die nur auf Wechselstrom ansprechen. Die im beweglichen System fließenden Ströme werden durch Induktion erzeugt; das bewegliche System bedarf somit keiner Zuleitungen. Die Angaben sind mehr oder weniger von der Frequenz abhängig; diese Apparate müssen in der Regel mittels der Apparate der vorhergehenden Klasse geprüft werden. (Induktionsmeßgeräte, Strom- und Spannungswandler.)

(223) I. Apparate für Gleichstrom und Wechselstrom. a) Die Dynamometer [vgl. (167) bis (169)] sind als Spannungsmesser, Strommesser und Leistungsmesser ausgebildet worden.

Sämtliche Spulen des dynamometrischen Spannungsmessers sind hintereinander geschaltet; die Kraftwirkung der Spulen aufeinander ist somit proportional dem Quadrat des effektiven Spannungsstromes. Wird also dem Dynamometer ein induktionsloser Widerstand vorgeschaltet, so erhält man einen Apparat zur Messung der effektiven Spannungen; da aber für Wechselstrom nicht der ohmsche Widerstand des Spannungspfades R , sondern der Scheinwiderstand $\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$ in Frage kommt, so ist eigentlich eine Korrektur erforderlich. Diese Korrektur ist aber meistens, namentlich bei der Messung höherer Spannungen, zu vernachlässigen, weil die Selbstinduktivität der Spulen (gewöhnlich von der Größenordnung 0,01...0,1 H) gegenüber dem induktionslosen Vorwiderstand zu gering ist. Die Abweichung ist bei einem Strom von der Frequenz 50 Hz kleiner als ein Tausendstel, wenn $L \leq 6 \cdot 10^{-6} R$ ist.

Es werden direkt zeigende dynamometrische Spannungsmesser für Gleich- und Wechselstrom gebaut, bei denen feste und bewegliche Spule mit einem induktionslosen Widerstand hintereinander geschaltet sind. Die bewegliche Spule ist

in Spitzen gelagert und trägt einen über einer ungleichmäßigen Skale spielenden Zeiger. Der Strom wird der beweglichen Spule durch zwei flache Spiralfedern zugeführt, die gleichzeitig die Richtkraft liefern (ETZ 1900, S. 399 und 894).

Der kleinste Meßbereich, für den direkt zeigende Spannungsmesser gebaut werden, ist 15 V; der Stromverbrauch dieser Apparate beträgt etwa 0,5 A.

Dynamometrische Strommesser. Größere Vorsicht erfordert die Verwendung des Dynamometers im Nebenschluß als Strommesser. Man kann es zweckmäßig in der Weise verwenden, daß man feste und bewegliche Spule unter Vorschaltung geeigneter Widerstände in beiden Zweigen einander parallel schaltet. Die Angaben eines derartig geschalteten Dynamometers sind von der Frequenz unabhängig und können nach der für die Gleichstromrechnung in dieser Schaltung gefundenen Konstanten berechnet werden, wenn das Verhältnis von Widerstand zur Selbstinduktion für beide parallel geschaltete Zweige dasselbe ist (vgl. Wien, M.: Wied. Ann., Bd. 63, S. 390; Journ. Inst. El. Eng. 48, S. 515, 1912).

Diese Schaltung wird angewandt bei den direkt zeigenden Feinstrommessern für Gleich- und Wechselstrom von Siemens & Halske und der AEG. (ETZ 1900, S. 399 und S. 894); diese sind für maximale Ströme von 0,03 A bis 200 A konstruiert und können zwei mittels Stöpsel umschaltbare Meßbereiche enthalten, die sich wie 1 : 2 verhalten. Über eine besondere Form von Dynamometern mit Spanndrahtaufhängung und nahezu gleichmäßiger Skale zur Strommessung (Meßbereiche 0,015 A bis 5 A) s. Bruger: ETZ 1904, S. 822 (Hartmann & Braun).

Dynamometrische Leistungsmesser. Man schickt den Hauptstrom I durch die festen Spulen und schließt die bewegliche unter Vorschalten eines geeigneten induktionslosen Widerstandes wie einen Spannungsmesser an die Spannung an. Bedeutet R den Gesamtwiderstand des Spannungskreises, so ist, wenn man die SI der Spannungsspule vernachlässigt, der Spannungsstrom $i = U/R$.

Ist K (167), die dynamometrische Konstante, gemäß der Gleichung $K \cdot \alpha = I i$ gemessen, wo α den Ausschlag bedeutet, so ist die zu messende Leistung gegeben durch die Gleichung $N = K R \cdot \alpha$. Die Dynamometerkonstante mit dem jeweiligen Gesamtwiderstand des Spannungskreises (Spule + Vorschaltwiderstand) multipliziert ergibt also die Leistungsmesserkonstante.

Die so gefundene Konstante ist auch für Wechselstrommessungen gültig; enthält aber der Spannungspfad eine größere SI L , so ist das Resultat noch zu multiplizieren mit $(1 \pm \frac{\omega L}{R} \cdot \text{tg} \varphi)$, wo φ die Phasenverschiebung zwischen Spannung und Hauptstrom bedeutet. Das negative Zeichen gilt, wenn der Strom in der Phase hinter der Spannung zurückbleibt, das positive, wenn er vorausleilt.

Fehlerquellen können bei der Verwendung mit Wechselstrom durch Wirbelströme zustande kommen, die in benachbarten Metallteilen oder in der Hauptstromspule selbst erzeugt werden. Deshalb ist es ratsam, möglichst nur die Stromleiter aus Metall herzustellen und stärkere Stromleiter in geeigneter Weise zu unterteilen.

Bei den direkt zeigenden dynamometrischen Leistungsmessern kann es durch geeignete Form bzw. Abmessung der Spulen erreicht werden, daß die Skale eine fast gleichmäßige ist; das bewegliche System besitzt meist eine Luftdämpfung, der Spannungsstrom beträgt in der Regel maximal 0,03 A.

Diese Apparate werden für Hauptstromstärken von 0,5 bis zu 400 A gebaut; die Hauptstromspule kann aus zwei oder vier einander gleichen Wicklungen hergestellt werden, die nebeneinander oder hintereinander geschaltet werden können. Man erhält somit Strommeßbereiche mit dem Verhältnis 1 : 2 : 4 (z. B. Siemens Zschr. 1922, S. 421). Die Selbstinduktivitäten der Spannungsspulen sind so gering, daß die durch sie verursachte Korrektur praktisch vernachlässigt werden kann. Namentlich bei höheren Spannungen ist darauf zu achten, daß nur eine verhältnismäßig geringe Potentialdifferenz zwischen Spannungsspule

und Hauptstromspule besteht; dementsprechend ist der Vorwiderstand des Spannungskreises zu schalten. Vgl. Abb. 88 auf S. 169. Siemens-Zschr. 1922, S. 494.

Über ferrodynamische Leistungsmesser s. Dolivo-Dobrowolsky: ETZ 1913, S. 113. Über Leistungsmesser mit eisengeschlossenem System s. Skirl: Siemens Zschr. 1921, S. 167.

Nähere Einzelheiten in Skirl: Meßgeräte und Schaltungen für Wechselstrom-Leistungsmessungen, Berlin 1920.

(224) b) **Elektrometer** eignen sich zu Spannungs- und Leistungsmessungen. Zu Spannungsmessungen wird das Elektrometer in der idiostatischen oder Doppelschaltung angewandt (vgl. 174, 3). Um einen kommutierten Ausschlag zu erhalten, hat man die Verbindungen nach Abb. 94 auszuführen. Eine mit Gleichspannung gemessene Konstante des Apparates ist für die Wechselstrommessungen ohne weiteres anwendbar, sofern nicht der Widerstand des Aufhängedrahtes zu groß ist (173). Mit einem Platinfaden von 0,005 mm Durchmesser kann man bei 2 m Skalenabstand für 1 V 130 Skalenteile kommutierten Ausschlag erhalten (Zeitschr. Instr. 1904, S. 143). Über statische Spannungsmesser als direkt zeigende Apparate s. (175); sie zeichnen sich dadurch aus, daß sie keine Energie verbrauchen.

Eine Spannung, die über den Meßbereich des Spannungsmessers hinausgeht, mißt man, indem man sie durch einen großen Widerstand R schließt und den Spannungsmesser an einen Teil von R_1 anschließt. Die Angaben sind dann mit R/R_1 zu multiplizieren.

An Stelle eines Widerstandes kann man auch eine Reihe hintereinander geschalteter Kondensatoren nehmen (175). Doch kann man aus den Kapazitäten nur dann die Spannungen berechnen, wenn Kondensatoren sowohl wie Elektrometer einen sehr hohen Grad von Isolation besitzen. Ist die Kapazität des Elektrometers nicht verschwindend gegenüber den Kapazitäten der verwandten Kondensatoren, so ist sie in Rechnung zu setzen.

Über die Messung kleiner Wechselspannungen mit Transformator und Elektrometer s. Gewecke: Arch. f. El. Bd. 7, S. 203. — Elektrometrische Messung schwacher Wechselspannungen mittels Elektronenröhren s. Ztschr. techn. Physik Bd. 9, S. 370; ETZ 1924, S. 596; ferner: v. Hippel: „Die Elektronenröhre in der Meßtechnik“. Leipzig 1924.

(225) **Leistungsmessungen mit dem Elektrometer** (Abb. 95), zweckmäßig nur mit dem Spiegel-elektrometer. Entsteht beim Wenden des Umschalters der Ausschlag a , so ist die zu messende Leistung gleich $Ka/R - \frac{1}{2}I^2R$, worin K die Elektrometrikonstante, R den NW bedeutet. K wird in der Quadrantenschaltung mit Gleichspannung gefunden, wobei die Nadelspannung numerisch gleich der Betriebsspannung des Wechselstromes sein muß. $\frac{1}{2}I^2R$ ist in der Regel nur eine Korrektion (vgl. Orlich: Zeitschr. Instr. 1903, S. 97; 1909, S. 33 und ETZ 1909, S. 435, 466), Petersen: Arch. f. El. Bd. 1, S. 95; Journ. Inst. El. Eng. 51, S. 294, 1913.

Die Messungen mit dem Elektrometer kommen nur für Laboratorien in Frage. Ihr Vorteil besteht darin, daß in Verbindung mit einem geeigneten Satz von Widerständen mit demselben Elektrometer Messungen bei beliebig hohen Spannungen und großen Strömen gemacht werden können.

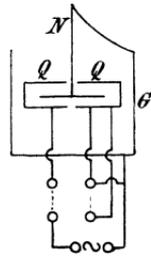


Abb. 94. Spannungsmessung mit Elektrometer.

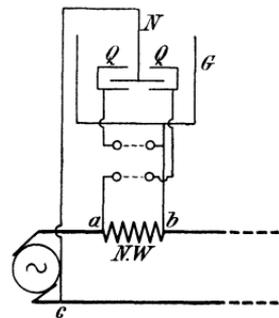


Abb. 95. Leistungsmessung mit Elektrometer.

$N.W.$ induktionsfreier Normalwiderstand.

QQ Quadrantenpaar.

NG Nadel und Gehäuse.

(226) c) Hitzdrahtapparate (172) werden unter Verwendung geeigneter Vor- und Nebenwiderstände als Strom- und Spannungsmesser gebraucht. Mit Gleichstrom geprüft, bedürfen ihre Angaben bei Wechselstrommessungen keiner weiteren Korrektur.

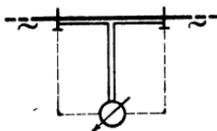


Abb. 96 Nebenwiderstand für Wechselstrom.

Doch ist die erreichbare Genauigkeit nicht so groß wie bei den dynamometrischen Apparaten. Bei Hitzdrahtapparaten mit Nebenwiderständen ist, namentlich wenn es sich um höhere Frequenzen oder große Stromstärken handelt, sorgfältig auf die Leitungsführung zu achten, Abb. 96 (ausgezogene Linie richtige Leitungsführung, punktierte Linie falsche Leitungsführung). Vgl. auch (186).

Bei den Apparaten, welche thermoelektrische Kräfte benutzen (172 c) kommt unter Umständen durch den Peltiereffekt ein kleiner Unterschied zwischen den Angaben für Gleichstrom- und Wechselstrom zustande (Schering a. a. O.). Die Apparate können in Verbindung mit geeigneten Nebenwiderständen zur Messung jeder beliebigen Wechselstromstärke benutzt werden.

Über einen Hitzdrahtleistungsmesser s. ETZ 1903, S. 530.

(227) d) Weicheisenapparate machen im allgemeinen für Gleichstrom und Wechselstrom nicht die gleichen Angaben. Bei neueren Apparaten jedoch ist dieser Unterschied selbst bei Anwendung höherer Frequenzen nicht vorhanden. Die Apparate haben daher, zumal sie verhältnismäßig billig und unempfindlich gegen Überlastung sind, die weiteste Verbreitung gefunden. Mit mehreren Meßbereichen s. ETZ 1922 S. 122.

(228) II. Apparate, die nur auf Wechselstrom ansprechen. a) Drehfeldmeßgeräte beruhen auf der Herstellung eines künstlichen Drehfeldes (Ferraris). Es kommen dabei dieselben Schaltungen wie bei den Induktionszählern in Frage (291, Starkstr.), außerdem die 90°-Schaltung nach G ö r g e s und S c h r o t t k e (ETZ 1901, S. 657), welche eine Wheatstonesche Brückenverzweigung benutzt, und von G ö r n e r (ETZ 1399, S. 750). Die Schaltungen werden zur Konstruktion von Strom-, Spannungs- und Leistungsmessern angewandt. Die Apparate zeichnen sich durch Unempfindlichkeit gegen störende Magnetfelder und große Drehmomente für die beweglichen Systeme aus. Sie sind deshalb besonders als schreibende Meßgeräte (178) zu gebrauchen.

(229) Spannungs- und Stromwandler dienen bei Wechselstrommessungen denselben Zwecken, wie bei Gleichstrommessungen Vorwiderstände für Spannungsmesser und Nebenwiderstände für Strommesser (197, 198). Regeln für die Bewertung und Prüfung von Meßwandlern s. ETZ 1921, S. 209 u. 836; daselbst auch Einteilung in verschiedene Klassen je nach Belastbarkeit und zulässigen Fehlergrenzen. Bedingungen für die Beglaubigung von Meßwandlern ETZ 1915, S. 358.

Spannungswandler werden vorzugsweise zur Messung von Hochspannung verwandt. Die zu messende Hochspannung wird an die primäre Wicklung des Spannungswandlers angeschlossen, ein passender Niederspannungsmesser an die sekundäre Wicklung; die Spannung wird im Verhältnis der Windungszahlen herabgesetzt. Werden primäre und sekundäre Wicklung gut voneinander isoliert, so erreicht man den Vorteil, daß das Meßinstrument selber nicht mit der Hochspannungsleitung in Berührung ist.

Bei den Stromwandlern wird der Hauptstrom durch die primäre Wicklung geschickt, während an die sekundäre die Stromspule eines Strommessers angeschlossen ist. Die Sekundärwicklung ist demnach fast kurz geschlossen, und die Ströme verhalten sich umgekehrt wie die Windungszahlen.

Stromwandler werden zur Messung hoher Stromstärken und zur Trennung der Strommesser von Hochspannungsleitungen angewandt. Leistungsmesser werden mit Strom- und Spannungswandlern ausgerüstet.

Das Übersetzungsverhältnis der Strom- und Spannungswandler stimmt infolge von Energieverlusten und Streuung nicht genau mit dem Sollwert überein. Auch sind die Ströme bzw. Spannungen des sekundären Kreises in der Phase nicht genau entgegengesetzt gerichtet denen des primären, sondern weichen um einen kleinen Winkel ab. Die Größe dieser Abweichungen hängt von der Größe der Belastungen der sekundären Kreise ab. Besonders empfindlich sind darin die Stromwandler. Die Phasenverschiebung in den Meßwandlern macht sich bei der Leistungsmessung bemerklich. Sei ein Leistungsmesser mit Strom- und Spannungswandler ausgerüstet, und seien δ_i und δ_e die kleinen Winkel (in Minuten gemessen), um welche die sekundären Vektoren gegen die primären nach vorwärts verschoben sind; dann sind zu den Angaben des Leistungsmessers

$$2,9 (\delta_e - \delta_i) \cdot \operatorname{tg} \varphi \text{ vH.}$$

zu addieren. Dabei ist $\cos \varphi$ der Leistungsfaktor der mit dem Leistungsmesser zu messenden induktiven Belastung. Es entsprechen sich die Werte:

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= 1, 0,9, 0,8, 0,7, 0,6, 0,5, 0,4, 0,3, 0,2, 0,1 \\ \operatorname{tg} \varphi &= 0, 0,45, 0,75, 1,02, 1,33, 1,73, 2,29, 3,18, 4,90, 9,95. \end{aligned}$$

Bei normalem Betriebe ist die Kraftliniendichte im Stromwandler sehr gering. Wird er dagegen, während er primär von Strom durchflossen wird, sekundär geöffnet, so steigt die magnetische Induktion sehr stark und kann ihn so stark erwärmen, daß er beschädigt wird. Da auch eine kurze Öffnung des sekundären Kreises eine Änderung von Übersetzungsverhältnis und Phasenabweichung zur Folge haben kann, so darf ein primär erregter Stromwandler sekundär nie offen sein.

Man kann an Meßwandler gleichzeitig mehrere Apparate anschließen; die Spannungspfade der Apparate werden an die Spannungswandler einander parallel, die Hauptstrompfade an die Stromwandler in Reihe geschlossen.

Abb. 97 stellt eine viel gebrauchte Schaltung dar; Spannungsmesser V , Leistungsmesser N , Zähler Z und Strommesser A sind gleichzeitig an einen Spannungswandler und einen Stromwandler angeschlossen.

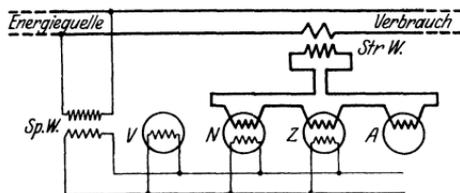


Abb. 97. Meßschaltung für einen Hochspannungskreis.

Die Phys.-Techn. Reichsanstalt prüft Wandler und gibt die Abweichungen des Übersetzungsverhältnisses und der Phase in Abhängigkeit von der Belastung an.

Ein vereinfachter Strommesser für rohe Messungen ist der Anleger von Dietze (Hartmann & Braun): ETZ 1902, S. 843; 1911, S. 35; 1916, S. 235; s. a. Starkstromausgabe (280), Abb. 114.

Literatur: Lloyd u. Agnew, Agnew u. Fisch. Bull. of the Bur. of Stand, Bd. 6, S. 273, 281, 1909; Bd. 7, S. 422; Bd. 10, S. 419. — Sharp u. Crawford. Proc. of the Amer. Inst. of Electr. Eng., Bd. 29, S. 1207, 1910; Proc. of Am. Inst. El. Eng. 28, S. 1004, 1909. — Orlich: Helios, Bd. 1912, S. 225. — Keina th: Diss. München 1909. — Möllinger u. Gewecke: ETZ 1911, S. 922 u. 1912, S. 270. ETZ 1915 S. 253. — Alberti und Vieweg: Arch. f. El. 2, S. 209. — Schering u. Alberti: Arch. f. E. 2, S. 263. — Wirz: ETZ 1915 S. 450, 467, 532; Arch. f. El. 6, S. 23. — Schering: Arch. f. El. 7 S. 47. — H. & Br., Ztschr. f. Instrk. 1913, S. 368; ETZ 1914, S. 854; 1915, S. 272. — Schrader: Kurzschlußsichere Stromwandler ETZ 1922, S. 1478. — Keina th: ETZ 1920, S. 788. Kettenstromwandler für sehr große Stromstärken.

(230) **Kompensationsmethode.** Vgl. (200). Wechselspannungen können auch kompensiert werden, und zwar muß dies sowohl der Amplitude wie der Phase nach geschehen. Dafür sind zwei Methoden angegeben:

α) Frankesche Maschine (ETZ 1891, S. 447 und 1913, S. 433. Drysdale: Phil. Mag. Bd. 17, S. 402, 1909). Die Maschine besitzt zwei gleiche, eisenfreie Anker; der Feldmagnet dreht sich. Der eine Anker kann meßbar aus dem Felde gezogen und damit die Amplitude seiner EMK geändert, der andere in der Phase gegen den ersteren verschoben werden; außerdem kann man Teile der Ankerwicklung aus- und einschalten. Mit dem einen Anker (I) schickt man Strom in den zu untersuchenden Stromkreis ABDE (Abb. 98), der andere (II) wird an diejenigen Punkte AB gelegt, deren Spannung zu messen ist; ein Telephon dient zur Einstellung, indem man in I die Amplitude, in II die Phase des Stromes ändert.

β) Komplexer Kompensator (Larsen: ETZ 1910, S. 1039. Drysdale: Electr. Bd. 75, S. 157. Déguisne: Arch. f. El. Bd. 5, S. 303). Um die unbekanntene Spannung U (Abb. 99) zu messen, schließt man eine gleichperiodische bekannte Spannung E durch einen Widerstand AB und die feste Spule BB' eines Variators für gegenseitige Induktion. Durch den Abzweig CD am Widerstand AB wird die Amplitude, durch Drehen der beweglichen Spule des Variators die Phase der unbekanntenen Spannung kompensiert. Es wird auf Verschwinden des Tones im Telephon eingestellt.

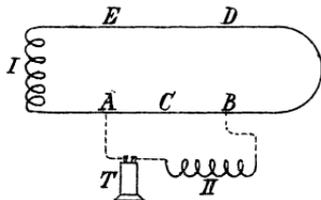


Abb. 98. Kompensation bei Wechselstrom.

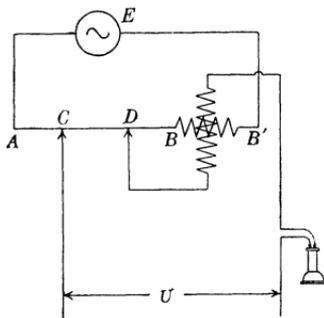


Abb. 99. Komplexer Kompensator.

Neuer Wechselstromkompensator: Geyger: Arch. f. El. Bd. 13, S. 80 1924; ETZ 1924, S. 692, 1348. — Über Kompensationsmessungen: Geyger: Arch. f. El. Bd. 15, S. 174, S. 560, 1925.

(231) Messung der Phasenverschiebung. Um die Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom zu messen, hat man im allgemeinen Spannung U , Strom I und Leistung N zu messen; dann ist definitionsgemäß $(130) \cos \varphi = N/UI$.

Der Phasenmesser von Bruger (Phys. Zeitschr. Bd. 4, S. 881, 1903; ETZ 1913, S. 998 u. 1915, S. 595, Verfertiger H. & Br.) besteht aus einer Hauptstromspule, in deren Felde eine Spannungsspule in Spitzen drehbar gelagert ist. Letztere besteht aus vier halbkreisförmigen Spulen, die mit der geraden Seite an der Achse so befestigt sind, daß ihre Ebenen um je 90° gegeneinander versetzt sind. Der Spannungskreis besteht aus zwei parallel geschalteten Zweigen, von denen der eine aus zwei um 90° versetzten Teilspulen und einem induktionslosen Widerstand besteht (hintereinander geschaltet), der andere aus den beiden anderen Teilspulen und einem hohen induktiven Widerstand (ebenfalls hintereinander geschaltet.) Das bewegliche System enthält keine Richtkräfte, hat also unbelastet keine eindeutige Ruhelage. Bei Belastung hängt seine Einstellung lediglich vom Phasenwinkel zwischen Strom und Spannung ab, ist dagegen von der Größe von Strom und Spannung unabhängig. Über andere Phasenmesser s. Tuma: Zeitschr. Elektrotechn. Wien 1898, S. 14, 235, Martienssen: ebenda, S. 93, 108, 117. — Westonges.: ETZ 1912, S. 1147; 1914, S. 450. — Keinaht: ETZ 1915, S. 28. — Gruhin: ETZ 1913, S. 998. Leistungsfaktor bei Drehstrom (219) durch Doppelmeßgerät: ETZ 1921, S. 149. Leistungsfaktormesser für Drehstrom bei ungleicher Belastung: ETZ 1924, S. 1429. Vgl. ferner ETZ 1923, S. 312; ETZ 1924, S. 1002.

(232) Frequenz. Die Frequenz findet man aus der Drehzahl der erzeugenden Maschine. Ist diese nicht zugänglich, so kann man die Umläufe eines kleinen synchronen Hilfsmotors zählen. Die Drehzahl mißt man mit dem Tachometer.

Sehr verbreitet sind die auf dem Resonanzprinzip beruhenden Apparate (Hartmann & Braun), ETZ 1901, S. 9 und 1904, S. 44, Vibrationstachometer nach Frahm, Siemens & Halske; s. auch (263). Eine Reihe von Schaltungen sind auf Töne abgestimmt, deren Schwingungszahlen arithmetisch fortschreiten. Ein vom Wechselstrom erregter Elektromagnet steht dem Zungenkamm gegenüber und bringt die Zunge gleicher Schwingungszahl zum Schwingen.

Martensen schließt eine Maschinenspannung durch eine eisen-geschlossene kleine Drosselspule und einen dahinter geschalteten Kondensator; dann ist bei richtiger Wahl der Abmessungen die Klemmenspannung der Drosselspule innerhalb eines gewissen Bereiches nahezu unabhängig von der Maschinen-spannung, dagegen steigt sie in demselben Spannungsbereich proportional mit der Frequenz. Ein Spannungsmesser an der Drosselspule kann somit nach Frequenzen geeicht werden. Der Apparat kann auch als Registrierapparat gebraucht werden. (Siemens & Halske: ETZ 1910, S. 204. Keina th: ETZ 1916, S. 271.)

Eine Stromverzweigung nach Art der Wheatstoneschen Brücke benutzt die Westongesellschaft: ETZ 1912, S. 1149, Gruhn: ETZ 1914, S. 39. Schering und Engelhardt: Zschr. f. Instr. 1920, S. 87. Velander: ETZ 1922, S. 352. Zusammenfassender Bericht über Frequenzmesser s. Zschr. f. Feinmechanik Bd. 23, S. 67, 86, 94, 101, 111, 118 und Zschr. f. Fernmeldetechnik 1921, S. 5, 19, 105, 121. Auf einer Resonanzmethode beruht der direkt zeigende Frequenzmesser von Clinker: ETZ S. 1235, 1428. — Registrierende Frequenzmeßgeräte von H. u. B.: ETZ 1924, S. 303. Absolute Messung der Frequenz elektrischer Schwingungen: Giebe u. Alberti: Ztschr. f. techn. Phys. 1925, Nr. 3; 92; Nr. 4, 135.

Prüfung von Spannungs-, Strom- und Leistungsmessern.

(233) α Gleichstrom. Für die Spannungsmesser und Spannungskreise der Leistungsmesser braucht man eine vielzellige Akkumulatoren-Batterie von kleiner Kapazität. Durch einen geeigneten Vorschaltwiderstand (Ruhstrat) stellt man den Zeiger des Apparates genau auf den Teilstrich ein, den man zu prüfen wünscht, und mißt die zugehörige Spannung mit dem Kompensator (200, 201). Strommesser und Hauptstromspulen von Leistungsmessern schaltet man mit einem passenden Normalwiderstand in Reihe, an dessen Potentialklemmen man mittels Kompensators den Spannungsabfall und damit den Strom mißt.

Man prüft zweckmäßig zuerst eine Reihe von Punkten bei wachsendem Ausschlag, läßt den Apparat eine Stunde lang mit maximaler Last eingeschaltet, wiederholt danach die erste Reihe in umgekehrter Reihenfolge und beobachtet die Nulllage des unbelasteten Apparates. Hierdurch zeigt sich der Einfluß von elastischen Nachwirkungen der Federn und von der Stromwärme. Man muß den Einfluß des Erdfeldes bzw. fremder magnetischer Felder (Zuleitungen) beachten.

(234) β Wechselstrom. Als Stromquelle ist am meisten eine Drehstromdoppelmaschine (Ph.-Techn. Reichsanstalt, Zschr. Instrk. Bd. 22, S. 124, 1902; Stern: ETZ 1902, S. 774; Hans Boas: ETZ 1912, S. 853) zu empfehlen. Die eine der Drehstrommaschinen ist normal gebaut, die andere dagegen hat einen mit Zahnstange und Trieb drehbaren Ständer. Bei der Prüfung von Leistungsmessern speist die eine Maschine den Spannungskreis, die andere den Hauptstromkreis des Leistungsmessers. Die gewünschten Spannungen und Ströme werden durch Zwischenschalten geeigneter Transformatoren erzeugt; die Regulierung erfolgt am bequemsten durch die Erregungen der Maschinen. Die Phasenverschiebung wird durch Verstellen des beweglichen Ständers auf den gewünschten Wert gebracht. Für Spannungs- und Leistungsmesser sind elektrometrische Methoden (224, 225),

für Strommesser Prüfung durch Thermogalvanometer mit Nebenschlüssen (Schering, 226) zu empfehlen. Hingang, Dauereinschaltung, Rückgang wie unter (233).

(235) Prüfung eines Stromwandlers. In den primären und sekundären Strom des Stromwandlers *Str. W.* (Abb. 100) wird je ein Normalwiderstand N_1 bzw. N_2 eingeschaltet. Um die nach Größe und Phase verschiedenen Spannungen $i_1 N_1$ und $i_2 N_2$ miteinander vergleichen zu können, wird N_1 durch die Parallelwiderstände $r_1 + r_2$ überbrückt und durch Kondensator C die Phase der Stoßstelle von r_1 und r_2 verschoben. Man macht nun die Spannungen an r_1 und N_2 nach Größe und Phase einander gleich unter Benutzung des Vibrationsgalvanometers VG. Gleichgewichtsbedingung ist:

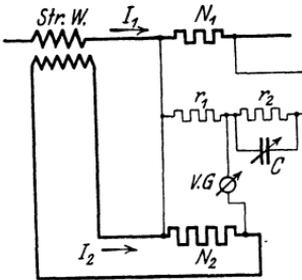


Abb. 100. Prüfung eines Stromwandlers.

$$I_1/I_2 = \frac{N_2(r_1 + r_2)}{N_1 r_1} \quad \text{und}$$

$$\text{tg}(I_1/I_2) = \omega C r_2^2 / (r_1 + r_2)$$

Schering und Alberti; Arch. f. El. Bd. 2, S. 263.
— Vgl. ferner ETZ 1925, S. 898.

Aufnahme von Stromkurven und deren Analyse.

Die Aufnahme einer periodischen Stromkurve kann experimentell entweder in der Weise erfolgen, daß man zunächst aus einer Reihe von Perioden nur eine einzelne Phase herausgreift, den Augenblickswert des Stromes in dieser Phase mißt und dann zu anderen Phasen übergeht, bis die Kurve punktförmig aufgenommen ist, oder es wird der ganze Verlauf der Kurve innerhalb einer jeden Periode aufgenommen.

(236) A. Punktförmige Aufnahme nach Joubert. Der Achse der Maschine, welche den aufzunehmenden Wechselstrom liefert, ist eine Scheibe aus isolierendem Material aufgesetzt, in deren Rand an einer Stelle des Umfangs ein wenige mm breiter Metallstreifen eingesetzt ist. Eine feststehende Bürste, die auf dem Rande schleift, macht dadurch jedesmal in derselben Phase Kontakt mit dem Metallstreifen. Werden Streifen und Bürste mit der aufzunehmenden Spannung und einem Kondensator verbunden, so erfährt der Kondensator eine dem betreffenden Augenblickswert der Spannung proportionale Ladung, die man durch Entladen durch ein ballistisches Galvanometer messen kann. Setzt man die Bürste auf einen mit der Maschine konzentrischen Teilkreis, so kann man durch langsames Drehen dieses Kreises die Augenblickswerte für jede einzelne Phase messen. Ist die Maschinenachse nicht zugänglich, so wird der Kontaktmacher auf die Achse eines von derselben Wechselstromquelle getriebenen Synchronmotors gesetzt.

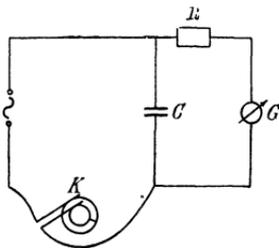


Abb. 101. Kurvenaufnahme mit Kontaktmacher.

Die aufzunehmende Wechselspannung wird durch den Kontaktmacher K , durch ein Galvanometer G und einen Widerstand R geschlossen. Parallel zu Widerstand und Galvanometer ist ein Kondensator C geschaltet (Abb. 101). Während des Kontaktes lädt sich der Kondensator, um sich gleich darauf durch das Galvanometer zu entladen; die periodischen Stromstöße verursachen im Galvanometer einen dem Augenblickswert der Spannung proportionalen konstanten Ausschlag. Bei der Aufnahme von niedrigen Spannungen (z. B. Spannungsabfall an einem Normalwiderstand) wird die Methode leicht unzuverlässig.

Nach dieser Methode sind vollständige Kurvenapparate konstruiert von R. Franke (ETZ Bd. 20, S. 802, 1899 und Zeitschr. Instrk. Bd. 21, S. 11, 1901), Land- und Seekabelwerke, Köln-Nippes und von Hospitalier (Zeitschr. Instrk. Bd. 12, S. 166, 1902). — Messung von Scheitel- und Augenblickswerten hoher Wechselspannungen: Schimpf: ETZ 1925, S. 75.

(237) B. Stetige Aufnahme. 1. Braunsche Röhre. Eine Vakuumröhre erhält an einem Ende eine Erweiterung, in der ein fluoreszierender Schirm angebracht wird. Die Kathodenstrahlen erzeugen auf letzterem einen hellen Fleck, der Schwingungen ausführt, wenn eine von dem zu untersuchenden Wechselstrom durchflossene Spule neben der Röhre angebracht wird; die Kraftlinien der Spule sollen den Weg der Kathodenstrahlen kreuzen. Die Bewegungen des Flecks kann man im rotierenden Spiegel betrachten. Strom- und Spannungsspule gleichzeitig liefern Lissajoussche Figuren, aus denen man die Phasendifferenz bestimmen kann. (Wied. Ann. Bd. 60, S. 552.) Betr. photographischer Darstellung vgl. Zenneck (Wied. Ann. Bd. 69, S. 838, 1899) und Wehnelt und Donath (Wied. Ann. Bd. 69, S. 861, 1899). Rogowski: Arch. f. El. 9. S. 115. Benzinger: Phys. Ztschr. 22, S. 491. Rogowski u. Flegler: Arch. f. El. Bd. 15, S. 297. Rogowski u. Grosser: Arch. f. El. Bd. 15, S. 377. Gabor: Oszillographieren von Wanderwellen. Arch. f. El. Bd. 16, Heft 4.

2. Glimmlichtoszillograph (Gehrcke: Zeitschr. Instrk. Bd. 25, S. 33, 278, 1905). Eine Entladungsröhre mit Stickstoff von 7...8 mm Druck hat Elektroden aus zwei schmalen, etwa 10 cm langen Nickelblechen, die in derselben Ebene in der Achse der Röhre liegen. Geht ein Strom durch die Röhre, so überzieht sich die Kathode mit einer Lichthaut, deren Länge, vom freien Ende des Bleches an gemessen, proportional der Stromstärke ist, die durch die Röhre fließt. Die Einstellung folgt momentan; betrachtet man im rotierenden Spiegel die von einem Wechselstrom durchflossene Röhre, so erblickt man seine Kurvenform. Die Röhre wird in der Funktelegraphie zur Messung der Frequenz gebraucht. Aufnahme schwacher Ströme mit dem Glimmlichtoszillographen: v. Engelhardt u. Gehrcke: Zeitschr. f. techn. Phys. 1925, 9, S. 438.

3. Oszillographen sind Galvanometer mit außerordentlich kleinen beweglichen Systemen. Ist deren Eigenfrequenz sehr groß gegen die Frequenz des aufzunehmenden Wechselstromes, so ist der Ausschlag des Galvanometers in jedem Augenblick proportional dem jedesmaligen Augenblickswert des Wechselstromes. Literatur s. Zeitschr. Instrk. Bd. 21, S. 239, 1901; Bd. 23, S. 63, 1903.

a) Nadeloszillographen. Zwischen den messerförmigen Polen eines starken Magnets oder Elektromagnets befindet sich das bewegliche System in Form eines schmalen dünnen Eisenbandes, das entweder in Spitzen gelagert oder zwischen zwei Backen ausgespannt ist. Das quermagnetisierte Eisenband erhält durch zwei vom Wechselstrom durchflossene Spulen, die dicht an das Eisenband herangeschoben werden, eine hin- und herdrehende Ablenkung. Mittels eines winzigen Spiegels (1 mm²) werden die Schwingungen sichtbar gemacht. Ein Nachteil dieser Oszillographen ist, daß durch die ablenkenden Spulen eine Selbstinduktivität in den Stromkreis eingefügt wird, der Vorzug in der einfachen Behandlung gegenüber den unter b) genannten. Die Eigenschwingungen des beweglichen Systems können nach Blondels Angabe bis auf 40 000 Per/s gesteigert werden (Blondel).

b) Bifilare Oszillographen. Zwischen den Polen eines kräftigen Magnets oder Elektromagnets ist ein schmales Kupferband hin- und hergezogen, so daß die beiden Teile der Schleife parallel und dicht nebeneinander liegen. Durch das Band wird der aufzunehmende Wechselstrom geschickt; der Apparat ist also ein Spulen-galvanometer mit nur einer Windung. Durch ein Spiegelchen (0,5 mm²), das quer über beide Bänder geklebt ist, werden die Schwingungen der Bänder sichtbar gemacht. Über einen bifilaren Oszillographen für Hochspannungsmessungen s. Ramsey: Electrician, Bd. 57, S. 884, 1909.

Oszillographen mit bedeutend größeren Systemen s. Abraham: Zeitschr.

Instrk. Bd. 18, S. 30, 1898; ETZ 1901, S. 207. Projektionsapparat nach diesem Prinzip s. Journ. de phys., Bd. 8, S. 265, 1909.

Aufnahme von Hochfrequenzstrom s. Arch. f. El. Bd. 5, S. 314 u. Bd. 6, S. 161.

(238) Analyse von Wechselstromkurven. Vgl. (132). Eine Wechselstromkurve, welche unterhalb der Abszissenachse ebenso verläuft, wie oberhalb derselben, im übrigen aber eine beliebige Form hat, kann mathematisch durch eine Fouriersche Reihe dargestellt werden in der Form: $A_1 \sin \omega t + A_3 \sin 3 \omega t + A_5 \sin 5 \omega t + \dots + B_1 \cos \omega t + B_3 \cos 3 \omega t + B_5 \cos 5 \omega t + \dots$ oder $I_1 \sin (\omega t + \alpha_1) + I_3 \sin (3 \omega t + \alpha_3) + I_5 \sin (5 \omega t + \alpha_5) + \dots$ wobei die Amplituden mit geradzahligem Index verschwinden. (131).

Um die Fouriersche Reihe für einen Wechselstrom zu bestimmen, kann man entweder die nach (236, 237) aufgenommenen Kurven auf mathematischem Wege analysieren, oder man kann die Koeffizienten der Reihe direkt experimentell messen.

Für die mathematische Analyse kommen in der Praxis folgende Methoden in Frage.

a) Die Methode von Fischer-Hinnen (ETZ 1901, S. 396). Enthält die Reihe nur die ungeradzahligten Oberschwingungen, so grenzt man auf der Abszissenachse eine einer vollen Periode entsprechende Länge l ab, teilt diese nacheinander in $n=3, 5, 7, 9, \dots$ Teile und entnimmt die zugehörigen Ordinaten der Wechselstromkurve. Dann wird für jedes n der Mittelwert e_n der Ordinaten (Vorzeichen berücksichtigen) gebildet. Danach wird eine zweite Reihe von n Mittelwerten in derselben Weise genommen, nachdem der Anfang der Periode um den Betrag $l/4$ n verschoben worden ist; die so entstehenden Mittelwerte werden mit e_n' bezeichnet. Dann ist:

$$I_n = \sqrt{e_n^2 + e_n'^2} \quad \sin \alpha_n = \frac{e_n}{\sqrt{e_n^2 + e_n'^2}} \quad \text{für } n=7, 9, 11, 13, 15$$

und

$$\begin{aligned} I_3 \sin \alpha_3 &= e_3 - e_9 - e_{15} & I_5 \sin \alpha_5 &= e_5 - e_{15}, \\ I_3 \cos \alpha_3 &= e_3' + e_9' - e_{15}' & I_5 \cos \alpha_5 &= e_5' + e_{15}', \\ I_1 \sin \alpha_1 &= e_1 - e_3 - e_5 - e_7 - e_{11} - e_{13} + e_{15}, \\ I_1 \cos \alpha_1 &= e_1' - e_3' - e_5' - e_7' - 2e_9' - e_{11}' - e_{13}' - e_{15}'. \end{aligned}$$

Man kann diese Methode dahin vervollständigen, daß man l in $n=6, 10, 14, \dots$ Teile teilt, das Vorzeichen der zu den früheren neu hinzutretenden Ordinaten umkehrt, und im übrigen genau so rechnet, wie vorher (s. Encycl. der math. Wissensch. Teubner 1904. Bd. II, 1, S. 652 und Thompson, S.: Proc. Phys. Soc. 23, S. 334, 1911). Ferner: Beattie: Electrician, Bd. 67, S. 326, 370, 847, 1911.

b) Methode von Runge: ETZ 1905, S. 247. Man teilt eine halbe Welle in 12 gleiche Teile und errichtet in den 11 Teilpunkten die Ordinaten, deren Längen mit $a_1 a_2 \dots a_{11}$ bezeichnet werden mögen. Dann bildet man:

$$\begin{aligned} m_1 &= \frac{1}{2} (a_1 + a_{11}) & m_2 &= \frac{1}{2} (a_2 + a_{10}) \dots m_6 = a_6, \\ n_1 &= \frac{1}{2} (a_5 - a_7) & n_2 &= \frac{1}{2} (a_4 - a_8) \dots n_6 = 0. \end{aligned}$$

Daraus findet man:

$$\begin{aligned} A_1 &= 0,0863 m_1 + 0,1667 m_2 + 0,2358 m_3 + 0,2887 m_4 + 0,3220 m_5 + 0,1667 m_6, \\ A_3 &= 0,2358 m_1 + 0,3333 m_2 + 0,2358 m_3 && - 0,2357 m_5 - 0,1667 m_6, \\ A_6 &= 0,3220 m_1 + 0,1667 m_2 - 0,2357 m_3 - 0,2886 m_4 + 0,0863 m_5 + 0,1667 m_6, \\ A_7 &= 0,3220 m_1 - 0,1667 m_2 - 0,2357 m_3 + 0,2886 m_4 + 0,0863 m_5 - 0,1667 m_6, \\ A_9 &= 0,2358 m_1 - 0,3333 m_2 + 0,2357 m_3 && - 0,2358 m_5 + 0,1667 m_6, \\ A_{11} &= 0,0863 m_1 - 0,1667 m_2 + 0,2358 m_3 - 0,2887 m_4 + 0,3220 m_5 - 0,1667 m_6. \end{aligned}$$

Setzt man in diese Formeln an Stelle der m die entsprechenden n , so erhält man $B_1, -B_3, B_5, -B_7, B_9, -B_{11}$.

Dieselbe Methode kann zur Berechnung von je 36 Koeffizienten angewandt werden (vgl. L o p p é (Ecl. él. Bd. 16, S. 525), R u n g e: Zeitschr. f. Math. u. Phys. 1902, S. 443, P r e n t i s s: Phys. Rev. Bd. 15, S. 257, 1902). Weitere Methoden ähnlicher Art bei S c h l e i e r m a c h e r (ETZ 1910, S. 1246). P i c h e l m a y e r u. S c h r u t k a: ETZ Bd. 33, S. 129, 1912. H a k: ETZ 1921, S. 484.

c) Harmonische Analysatoren sind Apparate, welche — beruhend auf der Formel für die Koeffizienten einer Fourierschen Reihe — die Analyse der Kurven mechanisch (nach Art der Planimeter) ausführen; dahin gehören die Apparate von L o r d K e l v i n (Proc. Roy. Soc., London, Bd. 24, S. 266, 1876), C o r a d i (vgl. H e n r i c i: Phil. Mag., Bd. 38, S. 110, 1894), M i c h e l s o n und S t r a t t o n (Amer. Journ. of Science Bd. 5, S. 1, 1898; Zschr. Instrk. 1898. S. 93). M a d e r (ETZ Bd. 30, S. 847, 1909).

d) Über die Resonanzmethode s. P u p i n (Amer. Journ. of Sc. 1894, S. 379, 473), A r m a g n a t (Journ. de phys. (4) Bd. 1, S. 345, 1902), R o t h (Arch. f. El. Bd. 6, S. 359, 388).

L i t e r a t u r: O r l i c h: Aufnahme und Analyse von Wechselstromkurven. Braunschweig 1906. — H a u s r a t h: Helios 1912. — G a l l e: Die mathematischen Instrumente. Teubner. — G r i x: Helios 1921, S. 145. — Experimentelle Analyse mit dem Wellenmesser, s. ETZ 1923. S. 757.

Magnetische Messungen.

(239) Bestimmung eines magnetischen Momentes mit dem Magnetometer.

Der zu untersuchende Magnet wird in dem großen Abstände r von einer Bussole mit Kreisteilung oder Spiegelablesung in der ersten oder zweiten Hauptlage (S. 34)³⁵ aufgestellt und die Ablenkung der Bussole beobachtet, wenn man den Magnet um 180° dreht; die Hälfte dieses Winkels sei $= \varphi$. Hierbei wirkt auf die Nadel in erster Hauptlage einmal das vom Magnet mit dem Moment \mathfrak{M} ausgeübte Drehmoment $2\mathfrak{M}\mathfrak{M}'\cos\varphi/r^3$ (34), andererseits das Drehmoment der senkrecht zur Nadel gerichteten Komponente der Horizontalstärke \mathfrak{H} des Erdmagnetismus $\mathfrak{M}'\mathfrak{H}\sin\varphi$. Da die Nadel unter der Wirkung beider Drehmomente in Ruhe bleibt, müssen diese gleich sein, und es folgt daraus für die erste Hauptlage $\mathfrak{M} = \frac{1}{2} \cdot r^3 \mathfrak{H} \operatorname{tg} \varphi$, für die zweite entsprechend $r^3 \mathfrak{H} \operatorname{tg} \varphi$. Sollen die Formeln auf 1 % genau sein, so muß der Abstand r sechsmal so groß sein wie die Länge des Magnetes; ist r nur dreimal so groß wie diese Länge, so beträgt der Fehler etwa 4 %. Genauere Formeln s. K o h l r a u s c h: Praktische Physik, oder G u m l i c h: Leitfaden der magnet. Messungen.

Bei langen Stäben kann man eine andere Methode verwenden. Im Abstand r von der Bussole wird der Stab von der Länge l senkrecht aufgestellt, und zwar der eine Pol in der Höhe der Nadel, der andere entfernt von der letzteren; man verschiebt den Magnet in der Achsenrichtung, bis der Ausschlag φ ein Maximum wird. Dann ist $\mathfrak{M} = 5/6 \cdot l r^2 \mathfrak{H} \operatorname{tg} \varphi$. Soll die Formel auf 1 % genau sein, so darf der Abstand r nicht mehr als $1/5$ der Magnetlänge betragen; ist $r = 1/3$ der Magnetlänge, so beträgt der Fehler etwa 5 %.

Bei der Untersuchung von Eisenstäben in stromdurchflossener Spule hat man die Wirkung der Magnetisierungsspule zu berücksichtigen; dies geschieht am besten durch Ausgleichung, indem man eine vom magnetisierenden Strome durchflossene Hilfsspule der Bussole so gegenüberstellt, daß sie die Wirkung der Magnetisierungsspule ohne Eisenstab genau aufhebt.

A s t a s i e r t e s M a g n e t o m e t e r. Bei der Messung kurzer Stäbe mit kleinem magnetischen Moment muß man, da man den Stab der Magnetometernadel nicht beliebig nähern darf, zur Erzielung hinreichend großer Ausschläge φ die erdmagnetische Richtkraft \mathfrak{H} schwächen, entweder mittels geeignet angebrachter Hilfsmagnete oder besser mittels einer ringförmigen stromdurchflossenen Spule, deren Ebene in der magnetischen Meridian gestellt wird und die die Magnetometernadel aufnimmt. Hiermit läßt sich durch bloße Regulierung des Stroms jede beliebige Empfindlichkeit (nötigenfalls auch geringere!) herstellen (G u m l i c h: Leitfaden).

Störungsfreies Torsionsmagnetometer. Je größer die Empfindlichkeit, desto größer auch die Störungen durch Erdströme, Stromschleifen, elektrische Bahnen usw.; diese vermeidet das störungsfreie Torsionsmagnetometer von Kohlrausch und Holborn. Hier ist die Magnetonadel ersetzt durch ein System von zwei genau gleich starken, durch eine leichte Stange von etwa 2 m Länge verbundene Magnetstäbchen, die entgegengesetzt gerichtet sind, so daß die Erdrichkraft überhaupt nicht wirkt; sie wird ersetzt durch die Torsionskraft des dünnen Aufhangedrahtes aus Platiniridium, mit dem das gegen Luftströmungen geschützte System an der Zimmerdecke befestigt ist. Aus dem beobachteten Ablenkungswinkel φ erhält man das Moment \mathfrak{M} mittels der Formel $\mathfrak{M} = C \cdot 1/2 \cdot r^3 \varphi (1 + 1/2 \varphi^2 + \dots)$. Hierin bedeutet C eine Konstante, die von der Torsionskraft des Fadens abhängt und in ähnlicher Weise mittels eines stromdurchflossenen Hilfskreises zu ermitteln ist, wie beim gewöhnlichen Magnetometer. Da der Probekörper nicht nur auf den unteren, sondern in geringem Maße auch auf den oberen Magnet wirkt, so ist eine von der Beschaffenheit des Instruments und dem Abstand des Probekörpers abhängige Korrektur anzubringen. Die Ruhelage ist um so besser, je weiter die Störungsquelle, deren Stärke eine geringere Rolle spielt, vom Instrument entfernt ist (Kohlrausch und Holborn: Ann. d. Phys. R. 4, Bd. 10, S. 287; 1903; Gumlich: Leitfaden).

(240) Die Stärke der Magnetisierung \mathfrak{Z} wird gefunden, indem man das nach dem Vorigen bestimmte Moment des Stabes bzw. eines Ellipsoids durch $5/6$ des Volumens bzw. durch das ganze Volumen dividiert.

Die zugehörige Feldstärke \mathfrak{H} ergibt sich nach (39) aus $\mathfrak{H} = \mathfrak{H}' - N\mathfrak{Z}$. Man kann somit nach dem magnetometrischen Verfahren auch absolute Magnetisierungskurven bestimmen, genau jedoch nur mit Rotationsellipsoiden, bei denen die Magnetisierung im Innern gleichmäßig und N (vgl. Tab. S. 42) konstant ist, was bei kürzeren Stäben nicht der Fall ist. Bei diesen gilt die Formel für \mathfrak{H} genau nur dann, wenn \mathfrak{Z} Null ist, d. h. bei der Koerzitivkraft. Diese für die Charakterisierung des Materials so wichtige Größe läßt sich also mit dem Magnetometer auch an Stäben von beliebiger Gestalt genau und rasch folgendermaßen ermitteln:

(241) Bestimmung der Koerzitivkraft mit dem Magnetometer: Man magnetisiert den Probestab in der Spule reichlich hoch (bei weichem Material bis zu $\mathfrak{H} = 150$, bei hartem bis zu mindestens $\mathfrak{H} = 300$), läßt den Strom auf Null abnehmen, kommutiert ihn und läßt ihn so lange wieder anwachsen, bis der Ausschlag der scheinbaren Remanenz verschwunden ist, das Magnetometer also wieder auf Null steht. Aus der hierzu nötigen Stromstärke IA und der Spulenkonstante K ergibt sich der Wert der Koerzitivkraft zu $\mathfrak{H} = \mathfrak{H}' = 0,4\pi KI$ (36).

(242) Bestimmung der Horizontalstärke \mathfrak{h} . Nur bei ungenaueren Messungen kann man \mathfrak{h} einer Tafel (Deutsche Seewarte) entnehmen, bei genaueren muß man es bestimmen, am besten und einfachsten mit Hilfe eines elektrischen Stromkreises von großem Radius ρ mit einer oder wenigen (w) Windungen, etwa einer Tangentenbussole. Dieser wird so aufgestellt, daß seine Ebene in den magnetischen Meridian fällt und das in seinem Mittelpunkt errichtete Lot die Mitte des Magnetometermagnets trifft. Ein Strom von IA erzeugt dort ein Feld $F_1 \perp \mathfrak{h}$, das die Ablenkung φ_1 hervorbringen möge; dann gilt $F_1 = \mathfrak{h} \cdot \operatorname{tg} \varphi_1$;

hieraus folgt \mathfrak{h} ; dabei ist $F_1 = \frac{0,2\rho^2\pi w \cdot I}{\sqrt{(r^2 + \rho^2)^3}}$.

(243) Messung einer Kraftlinienmenge mit dem Schwingungsgalvanometer. Eine bequeme und verbreitete Methode der magnetischen Untersuchung des Eisens besteht darin, daß man einen Probestab durch den Strom magnetisiert und die erzeugte oder bei Stromunterbrechung verschwindende Kraftlinienmenge mit einer Prüfspule mißt; das Nähere s. (244, 245). Die entstehende oder ver-

schwindende Kraftlinienmenge Φ bringe am Schwingungsgalvanometer den Ausschlag α_1 hervor, dann gilt

$$\Phi = \frac{R_2}{w_2} \cdot g \cdot \frac{t}{\pi} \cdot \alpha_1 \cdot k^{\frac{1}{\pi} \arctg \frac{\tau}{\delta}},$$

worin R_2 und w_2 Widerstand des ganzen sekundären Kreises und Windungszahl der Prüfspule, t die Dauer der Halbperiode der Nadel im ungedämpften Zustand, k ihr Dämpfungsverhältnis (153); $\delta = \log \text{nat } k$, g eine Galvanometerkonstante. Um die umständliche Rechnung zu vermeiden, mißt man mit demselben Galvanometer den Induktionsstoß aus einer Normalspule, d. i. einer langen Magnetisierungsspule von K Windungen auf 1 cm und einer genau bekannten Windungsfläche S ; diese umgibt man mit einer kurzen Sekundärspule von w_s Windungen, welche mit dem Galvanometer zu einem Kreis vom Widerstand R_s verbunden ist. Kommutiert man den primären Strom I , so durchfließt das Galvanometer die Elektrizitätsmenge $8\pi K I S w_s / R_s$, welche den Ausschlag α_2 hervorruft; es ist dann

$$\frac{S \pi K I S w_s}{R_s} = g \cdot \frac{t}{\pi} \alpha_2 \cdot k^{\frac{1}{\pi} \arctg \frac{\pi}{\delta}}$$

und hieraus (204)

$$\Phi = \frac{R_2}{R_s} \cdot \frac{w_s}{w_2} \cdot \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \cdot 8\pi K S \cdot I = C \cdot I \cdot \frac{\alpha_1}{\alpha_2}.$$

Hierbei ist darauf zu achten, daß in beiden Fällen der Schließungswiderstand des Galvanometers der gleiche ist, da sich sonst das Dämpfungsverhältnis ändert.

Die Normalspulen sind sehr sorgfältig herzustellen und auszumessen; sie können von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt geeicht werden. Man beachte, daß in all diesen Formeln die elektrischen Größen im absoluten (CGS) Maße einzusetzen sind.

(244) Messung der Feldstärke §. Mit der Prüfspule, nach dem Vorigen. Die als sekundäre Spule benutzte Drahtrolle wird in dem zu messenden Felde aufgestellt, so daß ihre Windungsebene zur Richtung des Feldes senkrecht steht. Das Feld wird nun plötzlich erzeugt, aufgehoben oder um 180° gedreht; oder die Prüfspule wird rasch aus dem Felde gezogen oder darin um 180° gedreht. Man erhält wie in (243) Φ , die Gesamtmenge der durch die Spule gehenden Kraftlinien, welche man noch durch den Spulenquerschnitt S zu dividieren hat, um § zu erhalten.

Mit dem magnetischen Spannungsmesser. Der kleine Apparat, der auf dem Satz beruht, daß das Linienintegral der magnetischen Feldstärke Null oder $4\pi w I$ ist, je nachdem der Integrationsweg keine oder $w I AW$ umschließt, besteht aus einem biegsamen Eisenkern von gleichmäßigem Querschnitt, dessen Bewicklung aus zahlreichen Windungen mit dem Schwingungsgalvanometer verbunden ist. Die Spule wird entweder aus dem zu messenden Feld herausgezogen oder das Feld kommutiert. Der Galvanometeraussschlag entspricht entweder direkt dem zu messenden Feld, falls der Spannungsmesser keine Magnetisierungswindungen umschließt, oder, wenn dies der Fall ist, der Differenz zwischen dem scheinbaren, durch die Durchflutung gegebenen und dem wahren Feld, also der sogenannten Scherung. Der leicht zu eichende Apparat kann auch da Verwendung finden, wo andere Methoden versagen, z. B. bei der Messung eines Teiles des magnetischen Kreises einer Dynamomaschine (Rogowski und Steinhäus: Arch. f. Elektr. Bd. 1, S. 141).

Mit der Wismutspirale. Ein gepreßter und zur flachen Spirale gewundener Wismutdraht wird, mit der Windungsebene senkrecht zur Richtung der Kraftlinien, in das Feld gebracht. Der Draht ändert im Felde seinen Widerstand; diese Änderung muß für jede Spirale besonders ermittelt werden.

Eisenuntersuchung.

(245) **Hystereseschleife.** A. Am Probestab nach der Jochmethode. 1. Mit dem Schwingungsgalvanometer. Von der zu untersuchenden Eisensorte wird ein Probestab in genau zylindrischer Form (oder ein Dynamoblech-Bündel) vom Querschnitt q und der Länge l hergestellt; er wird in seinem mittleren Teil möglichst dicht umschlossen von der Prüfspule (Windungszahl w_2) und umgeben mit der Magnetisierungsspule (Windungszahl w_1 , Länge l_1), die so zu bemessen ist, daß ein Strom I_1 , der $\mathfrak{H} = 0,4 \pi w_1 I_1 / l_1$ zu 300 macht, noch keine starke Erwärmung hervorruft. Der Probestab wird in ein Schlußstück (Joch) aus Eisen mit möglichst hoher Anfangspermeabilität (38, 246) eingesetzt, welches seine beiden Enden magnetisch möglichst gut verbindet (Klemmbacken oder besser noch Kugelkontakte); die Form des Joches ist nicht wesentlich; sein Querschnitt soll groß, die Länge des Kraftlinienweges klein sein; der Querschnitt (oder die Summe der parallel geschalteten Querschnitte) q' möglichst größer als 200 q . Die Magnetisierungsspule wird mit einer Sammelbatterie, Regulierwiderständen, Strommesser und Stromwender zu einem Stromkreis verbunden, die Prüfspule mit dem Schwingungsgalvanometer nach (243). Man beginnt mit einem Strom, der \mathfrak{H} etwa zu 150 für Eisen, 300 für Stahl macht, und mißt die Kraftlinienmengen, welche induziert werden, wenn man den magnetisierenden Strom um geeignete Beträge (ohne Stromunterbrechung) plötzlich ändert. Ist der Strom Null geworden, so wechselt man seine Richtung und läßt ihn zu dem vorigen höchsten Betrag wieder ansteigen, dann wieder zu Null abnehmen, wechselt die Richtung und läßt ihn wieder bis zum höchsten Betrag wachsen. Für jeden Schritt in der Widerstandsänderung erhält man einen Ausschlag, der der Änderung der Kraftlinienmenge $\Delta \Phi$ proportional ist; es ist jedoch darauf zu achten, daß die einzelnen Sprünge nur klein sein dürfen, da durch große Sprünge die Form der Magnetisierungskurve nicht unbeträchtlich beeinflusst werden kann. Von der gefundenen Kraftlinienmenge muß man genau genommen diejenige Menge abziehen, die auf den Raum zwischen der Prüfspule und dem Eisen entfällt; umschlingt die Prüfspule den Querschnitt q_1 , und ist der Querschnitt des Eisens q , so ist abzuziehen $(q_1 - q) \Delta \mathfrak{H}$; bei mäßigen Feldstärken kann jedoch, wenn die Prüfspule den Stab eng umschließt, diese Korrektur meist vernachlässigt werden. Summiert man alle (berichtigten) $\Delta \Phi$ zwischen zwei entgegengesetzt gleichen höchsten Stromwerten, so ist die Hälfte davon die höchste erzielte Kraftlinienmenge. Aus der Stromstärke I erhält man $\mathfrak{H} = 0,4 \pi K I$ (36), aus der Kraftlinienmenge Φ die Induktion $\mathfrak{B} = \Phi/q$. Die Beobachtungen liefern je einen Zuwachs (Abnahme) von \mathfrak{B} für eine Vergrößerung (Verkleinerung) von \mathfrak{H} und sind demgemäß aufzutragen. Man erhält eine Kurve wie in Abb. 18, S. 37. Diese Kurve ist nun allerdings noch keine absolute Magnetisierungskurve, wie sie ein gleichmäßig bewickelter, geschlossener Ring oder ein Ellipsoid liefern würde, da beim Joch in den Weg der Induktionslinien noch Widerstände durch die Jochteile selbst, hauptsächlich aber durch die Luftschlitze eingeschaltet sind, deren Überwindung eine gewisse magnetische Spannung erfordert. Die mit dem Joch erhaltene Kurve hat daher eine zu gestreckte Gestalt und muß mit Hilfe einer Scherung auf die absolute Kurve reduziert werden.

Zur Bestimmung dieser Scherungswerte dreht man einen im Joch untersuchten Stab zum Ellipsoid ab und untersucht dieses mit dem Magnetometer (239). Die Differenzen zwischen entsprechenden Werten der so gewonnenen absoluten Kurve und der Jochkurve geben die Verbesserungen für die beim Joch beobachteten Werte der Feldstärke; man trägt sie am besten graphisch als sogenannte Scherungskurve auf. Ist man nicht in der Lage, magnetometrische Beobachtungen mit dem Ellipsoid durchzuführen, so untersucht man einen Stab im Joch, dessen absolute Kurve bekannt ist; die Reichsanstalt liefert oder untersucht derartige Stäbe.

Da die Scherung in hohem Maße von der Natur des zu untersuchenden Materials abhängt, so kann man nicht dieselbe Scherungskurve für weiches Eisen (Stahlguß, Schmiedeeisen, Dynamoblech), Gußeisen, weichen und harten Stahl verwenden;

man bedarf vielmehr für jede dieser Arten mindestens einer besonderen Scherungskurve. Bei genaueren Messungen empfiehlt es sich, für jeden Stab die wahre Koerzitivkraft noch gesondert mit dem Magnetometer zu bestimmen (241). Kennt man sie, so kennt man auch die Jochscherung für den Punkt der Koerzitivkraft genau und kann die Scherungskurve in geeigneter Weise durch diesen Punkt hindurchlegen (Gumlich und Schmidt: ETZ 1901, S. 695). Scherungskurven sind für jeden auf dem Jochprinzip beruhenden Apparat notwendig.

2. Mit dem kompensierten Doppeljoch von Burrows (Circ. Bureau of Standards Nr. 17; 1916). Zwei zu vergleichende Stäbe, ein Normalstab und ein gleich dicker Stab aus dem zu untersuchenden Eisen, werden durch zwei kraftige Joche zu einem magnetischen Kreis verbunden; jeder Stab ist mit einer Magnetisierungsspule umgeben. Es wird versucht, durch zusätzliche Magnetisierungswindungen, welche um das Joch und um die Enden beider Probestäbe gelegt sind und einen besonderen Stromkreis bilden, die zusätzlichen Widerstände von Jochteilen und Luftspalten zu überwinden; in diesem Falle bedarf man keiner Scherung für die Feldstärke $\mathfrak{H} = 0,4\pi KI$. Ist der Zweck erreicht, dann tritt keine Streuung ein, der Induktionsfluß ist also über die ganze Länge der Stäbe konstant. Man erkennt dies mit Hilfe mehrerer, in der Mitte und in bestimmten Abständen davon angebrachter Prüfspulen, welche beide Stäbe umschließen und entweder direkt mit dem Schwingungsgalvanometer verbunden oder gegeneinander geschaltet werden, je nachdem es sich darum handelt, zwei Stäbe aus dem gleichen Material absolut zu untersuchen oder die Eigenschaften des Probestabs mit den bekannten des Normalstabs zu vergleichen. Die Methode gibt unzweifelhaft genauere Werte als die gewöhnliche Jochmethode mit der etwas willkürlichen Scherung, ist aber sehr verwickelt und zeitraubend.

3. Mit dem Permeameter von Fahy, das sich im Prinzip dem Burrowschen Doppeljoch nähert (El. World Bd. 69, S. 315, 1917; Jahrb. 1917, S. 163). Es besteht aus einem I-förmigen Jochteil, an dessen wagrechte Balken auf der einen Seite der zu untersuchende Vierkantstab, auf der anderen Seite ein bekannter Vergleichsstab angeklemt wird, die beide von je einer Induktionsspule umgeben sind. Der im mittleren Jochteil durch eine Magnetisierungsspule erzeugte Induktionsfluß verzweigt sich durch die beiden Stäbe und kann hier ballistisch gemessen werden. Haben beide Stäbe nahezu gleiche Permeabilität, so stimmt die zugehörige Feldstärke für den Probestab mit derjenigen des Vergleichsstabs überein und kann dessen bekannter Magnetisierungskurve entnommen werden, andernfalls muß man durch passend geschaltete Kompensationsspulen dafür sorgen, daß die Streuflüsse beim Übertritt aus dem Joch in den Stab beiderseits gleich sind. — Zur Ausführung von absoluten Messungen beseitigt man den Normalstab, führt die Kompensation ebenso aus, wie vorstehend angegeben, und mißt die an der Stelle des Normalstabes herrschende Feldstärke direkt mit einer Prüfspule von der Länge des Stabes (Meßgenauigkeit etwa 5% nach Angabe des Bureau of Standards).

Für technische Messungen soll eine vereinfachte Form des Instruments dienen, bei der das Joch nur einseitig ausgebildet ist: (Chem. Met. Eng. 19, Nr. 5—6; 1918. — Jahrb. d. M. 1918, S. 186). Der zu untersuchende, mit einer Prüfspule umgebene Stab wird wieder an die horizontalen Backen angeklemt und schließt den durch die Magnetisierungsspule im Joch erzeugten Induktionsfluß. Die jeweilige Induktion im Stab wird ballistisch mittels der Prüfspule gemessen, die zugehörige Feldstärke durch eine neben dem Stab angebrachte leere Prüfspule (stetiger Übergang der Tangentialkomponente des Feldes). Große Genauigkeit ist von dieser vereinfachten Form nicht zu erwarten.

4. Mit der Drehspule (Koepsel). Der mit der Magnetisierungsspule umgebene Probestab (Dynamoblech-Bündel) ist durch ein einfaches Joch geschlossen; dies Joch wird an einer Stelle durch einen Luftzwischenraum in Gestalt einer zylindrischen Bohrung unterbrochen, deren Achse senkrecht zu den Kraftlinien steht, und die durch Eisen bis auf einen Zwischenraum von 1 mm wieder ausgefüllt ist; der ausfüllende Kern ist umgeben von einer Spule nach Art der im

Drehspulengalvanometer verwendeten, deren Ebene durch Spulfedern parallel zu den Kraftlinien gestellt wird. Durch die Drehspule schiebt man einen konstanten, vom Querschnitt des Probestabes abhängigen Strom. Die am Zeiger abzulesende Ablenkung ist diesem Strom und der Feldstärke im Luftzwischenraum proportional und gibt demnach bei bestimmtem Querschnitt sogleich die Induktion \mathfrak{B} im Eisen. Um die Wirkung der Magnetisierungsspule auf das Joch aufzuheben, trägt letzteres einige Windungen, die zu der Magnetisierungsspule in Reihe und mit entgegengesetzter Wirkung geschaltet sind. Bei der Aufstellung des Apparates ist der Erdmagnetismus zu beachten; auch sonst sind stärkere äußere magnetische Einflüsse (z. B. von Strom- und Spannungsmessern) fernzuhalten. Der Apparat wird von Siemens & Halske gebaut und ist bei einer für technische Zwecke meist hinreichenden Genauigkeit (Scherung notwendig!) sehr bequem.

5. Durch die Zugkraft (du Bois'sche Wage) Der mit der Magnetisierungsspule umgebene wagrecht gestellte Probestab wird durch ein einfaches halbkreisförmiges Joch geschlossen, das durch einen wagrechten Schnitt nahe beim Probestab zwei gleichgroße Trennungsflächen erhält. Der obere Teil ist auf einer seitwärts von der Mittelebene des Joches angebrachten Schneide gelagert, so daß die beiderseits gleichen Zugkräfte in den Trennungsflächen ungleiche Drehmomente ausben; der Unterschied wird durch verschiebbare Laufgewichte gemessen. Man erhält aus der Wägung den Wert von \mathfrak{J} oder von \mathfrak{B} . Die Scherungslinien werden mit einem beigegebenen Probestab bestimmt; nach deren Ermittlung darf die Stellschraube, welche die Bewegung des beweglichen Jochteils begrenzt, nicht mehr verstellt werden. Der Erdmagnetismus ist durch einen Hilfsmagnet zu kompensieren. (Zeitschr. f. Instr. 1900, S. 113, 129.)

Eine gute Wage gibt recht genaue Resultate, ist aber gegen Erschütterungen sehr empfindlich; sie eignet sich daher kaum für technische Messungen. Nach Einschleifen von zwei Eisenplatten in die Luftschlitze des Jochs und Einführung einer den Stab umschließenden Prüfspule ist sie auch für ballistische Messungen zu verwenden.

B. Untersuchung an größeren Blöcken, Permeameter von Drysdale. Aus dem zu untersuchenden Block wird mit einem Hohlbohrer ein Loch ausgebohrt, in dessen Mitte ein kleiner zylindrischer Zapfen stehen bleibt, der als Probeobjekt dient. In den Hohlraum der Bohrung wird ein Stöpsel eingeführt, der eine Magnetisierungs- und eine Prüfspule enthält. Den Rest der Öffnung verschließt ein Eisenkern, der zwischen Zapfen und umgebender Eisenmasse einen magnetischen Schluß herstellt. (Bull. Soc. Intern. d. El. 1902, S. 729.)

C. Untersuchung am fertigen Stück. Denso (Inaug.-Dissert.) untersucht fertige Gußstücke, z. B. das Eisengerüst einer Dynamomaschine. An einer Stelle, wo keine Streuung stattfindet, wird eine Spule, die senkrecht zum Eisen schmal ist, dicht an das Eisen angelegt und hier \mathfrak{J} bestimmt (stetiger Übergang der Tangentialkomponente des magnetischen Feldes!), darauf mit umgelegter Prüfspule \mathfrak{B} im Eisen; die der Remanenz entsprechende Induktion muß besonders bestimmt werden, z. B. bei einer Dynamomaschine aus der Ankerspannung bei stromlosen Schenkeln. Die Windungsfläche der schmalen Spule ergibt sich durch Vergleich mit einer ausmeßbaren Spule im gleichmäßigen Feld.

D. Magnetisierbarkeit größerer Proben von Eisenblech in Epstein'scher Anordnung (S. 189) für 25 bis 300 AW.

1. Meth. Epstein: Messung der mittleren Induktion durch Sekundärspulen über die ganzen Bündel, der AW/cm durch $w l / l$ (l = mittlere Eisenlänge 200 cm) (ETZ 1911, S. 334). Luftschlitze und Streuung verursachen Fehler, die etwas geringer werden, wenn man für l statt der Eisenlänge die Spulenlänge setzt (Sumec, ETZ 1915, S. 145).

2. Meth. Gumlich-Rogowski: Messung von Induktion und Feldstärke in der (streuungsfreien) Mitte der Bündel durch Induktions- und Feldstärkenspulen; letztere sind, wie bei Denso (C) parallel zur Blechoberfläche angeordnet. (ETZ 1912, S. 262; Gumlich-Leitfaden.)

3. Meth. van Lonkhuyzen (S. & H., Wernerwerk): Vergleichung der Proben mit Normalbündeln, deren Eichung die PTR nach 2 ausführt. Die Messung ist sehr bequem. (ETZ 1911, S. 1131.)

(246) Messungen bei sehr kleinen Feldstärken (Anfangspermeabilität). Hauptbedingung ist außerordentlich gute Entmagnetisierung der Probe (251). Jochmethoden sind hier nicht anwendbar, da der remanente, schwer zu beseitigende Magnetismus des Jochs starke Fehler verursachen kann. Messungen entweder mit dem Magnetometer oder ballistisch an bewickeltem Ring oder Ellipsoid (gestrecktem Stab) mit Probepule von hoher Windungszahl in offener Magnetisierungsspule. Stabmessungen sind auf solche am Ellipsoid mit bestimmtem Dimensionsverhältnis zu beziehen. (Gumlich u. Rogowski: ETZ 1911, S. 613.)

(247) Messungen bei hoher Feldstärke. (Sättigungswert.) 1. Nach der verbesserten Ewingschen Isthmusmethode (Gumlich: ETZ 1909, S. 1065). Zwei Polstücke eines kräftigen Elektromagnets sind konisch abgedreht und durch eine Messingfassung verbunden (Abb 102). Das zu untersuchende Stäbchen von etwa 30 mm Länge und 3 mm Durchmesser wird beiderseits in die einige mm tiefe Bohrung an der Spitze der Kegel eingeschoben. Es ist umgeben von einer doppelten, mit dem Schwingungsgalvanometer verbundenen Prüfspule, deren innere das Stäbchen eng umschließt, während zwischen der inneren und äußeren Spule ein etwa 1 mm breiter Zwischenraum bleibt. Das ganze Probestück läßt sich um eine zwischen den Polen des Elektromagnets angebrachte Achse um 180° drehen. Hierbei entspricht der Galvanometer-Ausschlag, den die innere Spule allein gibt, der Induktion im Stäbchen, der Ausschlag bei Gegeneinanderschaltung beider Spulen der zugehörigen Feldstärke. Die Windungszahlen beider Spulen müssen gleich, die Windungsflächen genau bekannt sein; die zwischen Spule und Stäbchen verlaufenden Kraftlinien sind zu berücksichtigen. Auch aus Dynamoblech lassen sich derartige Stäbchen herstellen.

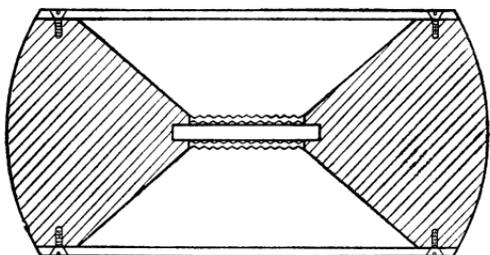


Abb. 102. Isthmusmethode nach Ewing.

2. Nach der Joch-Isthmus-Methode (Gumlich: Arch. f. El. Bd. 2, S. 465, 1914 und Leitfaden). Zu den Messungen dient der zylindrische Probestab der gewöhnlichen Jochmessungen; er wird in einen ins Joch passenden Einsatz eingeführt, der aus zwei Hohlzylindern aus weichem Eisen von etwa der halben Jochlänge, 25 mm äußerem und 6 mm innerem Durchmesser besteht. Beide Eisenzylinder sind durch einen etwa 12 mm breiten Zwischenraum getrennt, in welchem vier konzentrisch angeordnete, durch kleine Zwischenräume voneinander getrennte Meßspulen liegen, von denen, wie bei 1., die innerste Spule bei der Kommutierung des Stroms in der Jochspule die Induktion im Stab mißt, während bei Gegeneinanderschaltung der Spulen $1/2$; $2/3$; $3/4$ der Galvanometerausschlag dem in den Zwischenräumen der betreffenden Spulen vorhandenen Kraftlinienfluß, also der dort herrschenden Feldstärke entspricht, die sich ziemlich stark ändert. Trägt man die gewonnenen Werte graphisch auf, so findet man durch Extrapolation auch die an der Oberfläche des Stabes herrschende, also die gesuchte Feldstärke mit ziemlicher Genauigkeit. Für gewöhnliche Messungen kann man sich mit der Bestimmung der Feldstärke durch die Spulen $1/3$ und einer mittels genauer Vergleichsversuche gewonnenen Korrektur (Scherung) begnügen. Erwärmung des Stabes durch den Magnetisierungsstrom ist zu vermeiden (Sinken

des Sättigungswertes mit steigender Temperatur). Die Anordnung in der Reichsanstalt liefert Feldstärken von 7...8000 Gauß; sie läßt sich auch auf kürzere Stäbe mit Ansatzstücken, auf Ellipsoide und bei Verwendung eines anderen Einsatzes auch auf Dynamoblech anwenden. Weiches Material (Schmiedeeisen, Stahlguß usw.) ist etwa von $\mathfrak{S} = 2000$ ab gesättigt, hartes (Stahl usw.) erst bei noch höheren Feldstärken. Die Reichsanstalt bestimmt Sättigungswerte [vgl. auch (39)] von festem Material und Dynamoblech.

(248) Nullkurve, jungfräuliche Kurve. Wenn man den Probestab zunächst entmagnetisiert (251) und ihn dann in einem Untersuchungsapparat der von Null aus ohne Unterbrechung bis zum Maximum ansteigenden Magnetisierung unterwirft, so erhält man eine Kurve wie in Abb. 18 strichpunktiert.

(249) Kommutierungskurve. Man beginnt mit dem unmagnetischen Zustand (251); der magnetisierende Strom wird auf einen bestimmten Wert eingestellt, mehrmals kommutiert und schließlich der Ausschlag des Schwingungsgalvanometers bei der Kommutierung abgelesen (243); auf diese Weise geht man bis zum Maximum des Stromes; der Ausschlag entspricht dem doppelten Wert der Induktion. Die Kommutierungskurve liegt i. allg. etwas über der Nullkurve.

(250) Untersuchung von Dynamoblech mit Wechselstrom. Aus dem zu untersuchenden unterteilten Eisen stellt man einen geschlossenen magnetischen Kreis her. Mittels einer Spule vom Widerstande R_1 und eines Wechselstromes von der Stärke I und Frequenz f (in Per/s) wird dieser Eisenkreis magnetisiert. Ein an die Enden der Spule angelegter Spannungsmesser dient zur Bestimmung der Induktion (S. 189). Von der Leistung N , welche ein eingeschaltetes Wattmeter angibt, zieht man den Energieverbrauch durch den Strom in der Magnetisierungsspule $I^2 R_1$ sowie den Verbrauch im Spannungsmesser E^2/R_2 und in der Spannungsspule des Wattmeters E^2/R_3 ab, dann ist der Verlust im Eisen vom Volumen V :

$$N_e = N - (I^2 R_1 + E^2/R_2 + E^2/R_3) = fV(\eta \cdot \mathfrak{S}^{1,6} + f \cdot \xi \cdot \mathfrak{S}^2) 10^{-7}.$$

In der Formel für N_e entspricht das erste Glied rechter Hand dem Hystereseverlust, das zweite dem Verlust durch die im Eisen entstehenden Wirbelströme; durch mehrere Messungen bei derselben Induktion, aber verschiedener Periodenzahl kann man den Hysterese- und den Wirbelstromverlust und somit auch die beiden Koeffizienten η und ξ einzeln ermitteln. Am einfachsten geschieht dies graphisch, indem man die gefundenen Werte von N_e/f als Funktionen von f aufträgt; man erhält dann eine Gerade, deren Abschnitt auf der Ordinatenachse den Hystereseverlust $V \cdot \eta \cdot \mathfrak{S}^{1,6} \cdot 10^{-7}$ ergibt, während die Tangente des Neigungswinkels mit der Abszissenachse den Wirbelstromverlust $V \cdot \xi \cdot \mathfrak{S}^2 \cdot 10^{-7}$ liefert. Zur Bestimmung der Verluste in 1 kg Eisen hat man die obige Gleichung noch mit $10^3/sV$ zu multiplizieren ($s = \text{spez. Gewicht}$).

Der gesamte Leistungsverbrauch bei der Ummagnetisierung von 1 kg Eisenblech bei 50 Perioden, $\mathfrak{S} = 10\,000$ bzw. 15 000 und einer Temperatur von 20° heißt Verlustziffer [V_{10} bzw. V_{15}]. Im Durchschnitt findet man für die Verlustziffern etwa folgende Werte:

normales Blech	$d = 0,5 \text{ mm}$	$V_{10} > 3,0;$	$V_{15} > 7,0$	$s = 7,80$
schwach legiertes Blech	$d = 0,5 \text{ mm}$	$V_{10} = 2,6-3,0;$	$V_{15} = 6-7$	$s = 7,75$
mittel legiertes Blech	$d = 0,5 \text{ mm}$	$V_{10} = 1,85-2,6;$	$V_{15} = 4-6$	$s = 7,65$
hoch legiertes Blech	$d = 0,5 \text{ mm}$	$V_{10} < 1,85$	$V_{15} < 4$	$s = 7,55$
hoch legiertes Blech	$d = 0,3 \text{ mm}$	$V_{10} < 1,6$	$V_{15} < 3,6$	$s = 7,55$

Einige Kurven für Verlustziffern sind in Abb. 103 nach Messungen in der Reichsanstalt wiedergegeben; die punktierten Werte über $\mathfrak{S} = 16000$ sind extrapoliert. η liegt bei hochlegierten Transformatorenblechen bei etwa $0,6 \cdot 10^{-3}$ und steigt mit abnehmendem Si Gehalt bis zu etwa $1,8 \cdot 10^{-3}$; ξ ist ungefähr umgekehrt proportional dem Quadrat der Blechdicke d ; ξ/d^2 ist bei hochlegierten Blechen von der Größenordnung $0,4 \cdot 10^{-6}$ und steigt mit abnehmenden Si-Gehalt bis zu etwa $1,6 \cdot 10^{-6}$; hierbei ist das Volumen in cm^3 , N und N_e in Watt, I in Ampere, R in Ohm zu messen.

Empfehlenswerte Versuchsanordnungen sind angegeben von:

1. Epstein (Lahmeyer A.-G.): Vier Magnetisierungsspulen von 42 cm Länge, in quadratischer Anordnung auf einem Brett befestigt, nehmen je 2,5 kg Eisenblech in Gestalt von 50 cm langen und 3 cm breiten Streifen auf; die aus den Spulen herausragenden Enden der Blechbündel werden durch Klammern fest gegeneinander gepreßt. Die einzelnen Blechstreifen müssen wegen der Wirbelströme durch Papier oder dergl. gegeneinander isoliert sein. Bequeme Anordnung nach van Lonkhuyzen (ETZ 1912, 531).

2. Möllinger (Siemens - Schuckertwerke). Die Probestücke werden als geschlossene Ringe, deren Breite klein ist im Verhältnis zum Durchmesser, ausgestanzt, mit Papierzwischenlagen übereinander geschichtet und festgepreßt. Die Magnetisierungsspule wird gebildet durch 100 Windungen aus dickem, biegsamem Kabel, die durch Steckkontakte in Reihenschaltung geschlossen werden können.

3. Richter (Siemens & Halske). Eine aus Holzleisten bestehende zylinderförmige Trommel von 1 m Höhe und 2 m Umfang trägt außen die Magnetisierungswindungen aus starkem Kupferdraht, in welche vier ganze Blechtafeln von 100×200 cm Größe eingeschoben werden können. Die durch Papiermanschetten isolierten Enden der Tafeln werden abwechselnd übereinander gelegt und durch eine Leiste festgedrückt. Der Apparat gestattet Messungen ohne Materialverlust, ist aber nur für Tafeln bestimmter Maße zu verwenden.

4. Lloyd (in England und Amerika viel verwendet). Die Anordnung unterscheidet sich von der Epstein'schen im wesentlichen durch geringere Länge der Probestücke (25 cm) sowie durch Einführung rechtwinklig gebogener Eckstücke aus ähnlichem Material, welche zwischen die Fugen der einzelnen Bleche eingesetzt werden, um den Übergangswiderstand der Luftschlitze zu verringern; ihr Einfluß muß bei der Messung berücksichtigt werden.

Bei diesen Messungen hängt die EMK mit der Induktion \mathfrak{B} zusammen durch die Formel: $E = \mathfrak{B} \cdot q \cdot w \cdot 4f \cdot \alpha \cdot 10^{-8}$. Hierin bedeutet q den Querschnitt der Blechprobe, w die Windungszahl der Magnetisierungsspule, f die Frequenz und α den sogenannten Formfaktor, d. h. das Verhältnis der effektiven zur mittleren Spannung. α soll = 1,11 sein (sinusförmige Spannungskurve); hat der Formfaktor einen anderen Wert, so ist der aus den Beobachtungen berechnete Koeffizient ξ noch mit $(1,11/\alpha)^2$ zu multiplizieren; dementsprechend ist auch der Wert der Verlustziffer zu reduzieren. Mit wachsender Temperatur nimmt der Wirbelstromverlust ab, und zwar bei den gewöhnlichen Blechsorten für 1 Grad ungefähr um 0,5 %. Die oft recht beträchtliche Erwärmung macht sich bei der Berechnung von η und ξ dadurch geltend, daß die Werte von N_e/f scheinbar nicht genau auf einer geraden Linie, sondern auf einer nach unten konkaven Kurve liegen; die Abweichung verschwindet bei Berücksichtigung der Temperatur (Messung am sichersten mit dem Thermoelement). Neuerdings ist es gelungen, magnetisch vorzügliche Eisensorten mit hohem Leitungswiderstand und entsprechend geringem Wirbelstromverlust herzustellen [sog. legiertes Blech (39)]. Mit wachsendem Siliziumgehalt sinkt auch der Temperaturkoeffizient des Widerstands entsprechend folgender Tabelle und damit die Korrektur des Wirbelstromverlustes wegen der Temperatur; bei höheren Legierungen ist sie ganz zu vernachlässigen (Gumlich: Wiss. Abh. der PTR IV, H. 3, und Leitfaden).

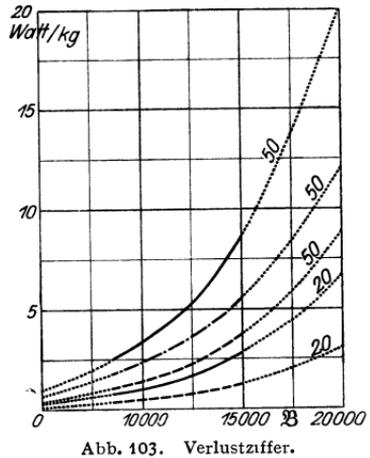


Abb. 103. Verlustziffer.

Silzium in Hunderteln	0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Temperaturkoeffizient	57	33	24	15	11	8	$6 \cdot 10^{-4}$

Methoden zur Untersuchung der Hysterese: Searle (Electrician Bd. 36, S. 800) umwickelt die ringförmige Eisenprobe vom Querschnitt q mit zwei Spulen; die primäre hat K Windungen auf 1 cm Länge und wird von einem Strom I durchflossen, der auch durch die feststehende Spule eines Dynamometers geht; die sekundäre Spule hat w Windungen und ist mit der beweglichen Spule des Dynamometers, deren Schwingungsdauer t ist, verbunden; der Widerstand dieses sekundären Kreises R ist annähernd induktionsfrei. Läßt man nun den magnetisierenden Strom mit Hilfe eines geeigneten Schalters die Werte von $+I$ durch 0, $-I$, 0, $+I$ nicht zu rasch durchlaufen, so erfährt die bewegliche Spule des Dynamometers einen Stoß, der den Ausschlag α hervorbringt. Wenn darauf die konstanten Ströme i_1 und i_2 durch die beiden Spulen des Dynamometers gesandt werden, so bringen sie eine Ablenkung α_0 (Einstellung) hervor. Dann ist die durch Hysterese verbrauchte Energie für diese springende Änderung der Magnetisierung, welche jedoch von dem Verbrauch bei stetiger Änderung nicht unbedeutend abweichen kann,

$$\frac{1}{4\pi} \int \mathfrak{H} d\mathfrak{B} = \frac{KR}{wq} \cdot \frac{t}{2\pi} \cdot i_1 i_2 \cdot \frac{\alpha}{\alpha_0}.$$

Zeigt das Dynamometer Dämpfung, so ist nach (243) zu verfahren.

Schickt man in die primäre Spule einen Wechselstrom I von f Per/s, so ist in der vorhergehenden Formel $t/2\pi$ durch f zu ersetzen. Hier ist α eine Einstellung; Schwingungsdauer des Dynamometers und Einfluß der Dämpfung fallen weg.

In den Apparaten von Ewing (ETZ 1895, S. 292) und von Blondel-Carpentier (ETZ 1898, S. 178) wird eine kleinere Menge des zu untersuchenden Eisenbleches in das Feld eines kräftigen Stahlmagnets gebracht. In Ewings Apparat wird die Eisenprobe, ein längliches Päckchen aus Blechen ($1,5 \times 8$ cm), gedreht, und der Stahlmagnet folgt der Drehung; in dem Blondelschen Apparat wird der Magnet gedreht, und die Eisenprobe folgt. Aus dem Ausschlag kann man die Hysterese berechnen. Jeder Apparat ist nur für eine bestimmte Induktion zu benützen. Die Angaben sind wenig genau und haben nur Vergleichswert.

(251) Entmagnetisieren von Eisenproben. Den angenähert unmagnetischen Zustand erreicht man durch wechselnde Magnetisierungen mit abnehmender Stromstärke; man magnetisiert mit Wechselstrom, den man durch Einschalten von Widerstand allmählich schwächt, oder mit Gleichstrom, den man wendet und gleichzeitig schwächt.

Völlige Entmagnetisierung ist nur durch besondere Vorsichtsmaßregeln, namentlich ganz gleichmäßige Abnahme des Entmagnetisierungsstromes zu erreichen (vgl. ETZ 1911, S. 180).

Literatur: Du Bois: Magnetische Kreise, deren Theorie und Anwendung. Berlin 1894. Jul. Springer. — Ewing: Magnetische Induktion in Eisen und verwandten Metallen, deutsch von Holborn und Lindeck. Berlin 1892. Jul. Springer. — Gumlich, E.: Leitfaden der magnetischen Messungen. Braunschweig 1918. Fried. Vieweg u. Sohn. — Schmidt, Erich: Die magnetische Untersuchung des Eisens und verwandter Metalle. Halle a. S. 1900. Wilh. Knapp.

Anmerkung des Herausgebers.

Bis hierher ist mit geringfügigen Änderungen die Starkstromausgabe benutzt worden; die Nummern der Paragraphen und Abbildungen stimmen dort und hier überein. In der Starkstromausgabe folgen nun (252) bis (998) und Abb. 104 bis 560; daher hat hier die nächste Abbildung die Nummer 561; bei den Paragraphennummern sind (999) und (1000) ausgelassen worden, um wieder mit 1 in (1001) fortzufahren.

Technische Messungen.

Messungen an Telegraphen- und Fernsprechanlagen, Aufsuchen, Beseitigen und Verhüten von Betriebsstörungen.

Messungen an Kabeln.

(1001) Prüfung der Kabel während der Fabrikation und Verlegung. 1. Leitfähigkeit. Der Widerstand eines Drahtstückes von 0,5 oder 1 m Länge wird nach einer der in (192) angegebenen Methoden bestimmt. Wiegt dieses Drahtstück von l m Länge m g, besitzt es einen Widerstand von R Ohm bei t° C, und ist der Widerstands-Temperaturkoeffizient α (70), so ist die Leitfähigkeit bei 15°

$$\gamma = 8,93 \cdot \frac{l^2}{Rm} \cdot [1 - \alpha(t - 15)]$$

8,93 ist die Dichte des Kupferdrahtes. Für α ist 0,004 anzunehmen, wenn der Temperaturkoeffizient der Probe nicht besonders bestimmt wird. Man verlangt von gutem Kupfer, sog. Leitungskupfer, eine Leitfähigkeit von mindestens 57 (spez. Widerstand 0,0175).

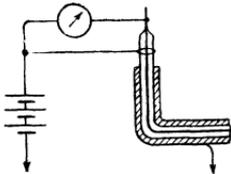


Abb. 561. Schutzring bei Isolationsmessungen.

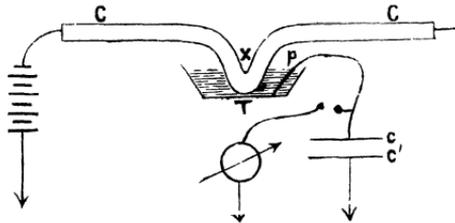


Abb. 562. Prüfung von Lotstellen.

2. Isolation. Die mit der Isolationshülle umgebenen Kupferlitzen oder -drähte werden auf hölzerne Trommeln gewickelt und in Wasserbottiche versenkt, wo sie mindestens 24 Stunden lang bei einer gleichbleibenden Temperatur von 25° C belassen werden. Nach Verlauf dieser Zeit wird der Isolationswiderstand nach der in (188) angegebenen Methode gemessen; s. (1005). Hierbei wird auch der Kupferwiderstand der Adern in der Wheatstoneschen Brücke bestimmt. Auch die zu einem Bündel verseilten Adern werden in dieser Art behandelt. Endlich wird das fertige Kabel in derselben Weise, wie für die Adern angegeben, geprüft.

Schutzring. Um den Stromübergang über die Oberflächen an den Enden des Kabels oder am Rande einer zu untersuchenden Scheibe eines Isolationsstoffes zu vermeiden, bringt man nach Abb. 561 einen Schutzring an, der auf das Potential der Meßbatterie gebracht wird; das Galvanometer mißt nur den durch die Masse der Isolation gehenden Strom.

3. Prüfung von Lötstellen (Abb. 562). Die Lötstelle x wird in einen mit Wasser gefüllten, gut isolierten Trog gebracht, der mit einer Belegung c eines an der zweiten Belegung c' geerdeten Kondensators verbunden ist. Das Kabel

wird an einem Ende isoliert, am anderen mit einer Stromquelle verbunden. Nach einigen Minuten wird der Kondensator durch ein zur Erde abgeleitetes Galvanometer entladen, so daß eine etwa durch die Lötstelle in den Kondensator übergegangene Elektrizitätsmenge durch das Galvanometer abfließt. Nimmt man anstatt der Ader mit der Lötstelle ein gut isoliertes Aderstück und wiederholt den Versuch unter denselben Bedingungen, so ergibt das Verhältnis der in beiden Fällen übergegangenen Elektrizitätsmengen, wie vielen Metern Kabellänge die Lötstelle gleichwertig ist.

4. Prüfung während der Legung. Diese erstreckt sich zunächst auf die Isolationsmessung der auszulegenden Kabelstücke sowie der eben ausgelegten Stücke, auf die Prüfung der gefertigten Lötstellen und endlich auf Messungen des Kupferwiderstandes, der Isolation und der Kapazität. Es wird sowohl von der Strecke, als auch von demjenigen Amte aus, in welches das Kabel bereits eingeführt ist, nach den angegebenen Methoden gemessen.

Die Kabelkarren der Deutschen Reichspost enthalten eine Batterie von 75 Trockenelementen, und zwar 3 größere und 72 kleinere, welche nebeneinander in einem flachen Kasten untergebracht sind; die großen Elemente dienen für die Messung kleinerer Widerstände (Kupfermessung); die kleineren, in Stufen oder in ganzen zu schalten, für die Messung größerer Widerstände; zu Isolationsmessungen wird die ganze Batterie gebraucht. Es ist auf vorzüglich isolierte Aufstellung und Aufbewahrung zu sehen, da die Elemente sich sonst vorzeitig erschöpfen; wenn die Batterie nicht gebraucht wird, unterbricht man ihre Verbindungen an mehreren Stellen, damit Entladungen über Stellen geringer Isolation möglichst wenig Schaden tun.

(1002) Messungen an Unterseekabeln. 1. Während der Fabrikation. Die einzelnen Längen, aus denen das Telegraphenkabel zusammengesetzt wird, werden während ihrer Herstellung auf Güte und vertragsmäßige Beschaffenheit durch Messung des Isolations- und Kupferwiderstandes sowie der Kapazität nach den (1003) bis (1006) angegebenen Methoden geprüft. Bei der Schlußprüfung eines größeren Kabelstückes wird vor der Verlegung eine über einen Zeitraum von je 30 Minuten sich erstreckende Isolationsmessung mit jedem Batteriepole gemacht. Kapazitätsmessungen lassen sich mit Rücksicht auf die erheblichen Zeitkonstanten an den in den Tanks aufgespulten Kabeln in der Regel nicht mehr ausführen.

2. Während der Verlegung. Von beiden Enden, der Landstation und dem Schiffe aus, wird das Kabel dauernd überwacht. Eine auf dem Schiffe befindliche, einpolig geerdete Batterie von 100 bis 150 V sendet durch ein Galvanometer mit passenden Nebenschlüssen Strom in das am Lande isolierte Kabel; die Stromrichtung wird alle 30 Minuten gewechselt. Während der Lichtschein des Galvanometers infolge von Erdströmen und von Induktionswirkungen durch die Schiffsbewegungen in weiten Grenzen hin und her schwankt, ergeben die Mittel aus den Umkehrpunkten während je 5 Minuten bei gutem Zustande des Kabels periodisch wiederkehrende Werte. Die Landstation lädt kurz vor dem Ende der 30 Minuten aus dem Kabel einen Kondensator, durch dessen Entladung sich das Potential des Kabelendes kontrollieren läßt, während der in der Schiffstation zu beobachtende Stromstoß bei der Ladung des Kondensators den unverletzten Zusammenhang des Kupferleiters nachweist.

(1003) Bestimmung der Eigenschaften von Kabeln. Leitungswiderstand. a) Mehradrige Kabel. Die gesuchten Widerstände der Adern seien R_1, R_2, \dots, R_n . Auf dem Endamt werden je zwei Adern zur Schleife verbunden, während auf dem Meßamt die beiden Enden der Schleife an die Wheatstonesche Brücke gelegt werden. Die übrigen Adern werden auf beiden Ämtern isoliert gehalten. Aus den für die Schleifen gemessenen Werten lassen sich die Einzelwiderstände bestimmen. Der Stromübergang durch die Isolation läßt den Kupferwiderstand zu gering erscheinen. Ist die Isolation hoch und gleichmäßig, so ist der gemessene Widerstand R_2 einer Schleife noch um $R_2^2/3R_1$ zu vergrößern, worin R_1 den nach (1005) bestimmten Isolationswiderstand bedeutet.

Um die ermittelten Widerstände auf die Normaltemperatur umzurechnen, ist der Faktor F zu bestimmen, mit dem die gefundenen Widerstandswerte R_1, \dots, R_n zu multiplizieren sind. Es sei R_0 der nach den Abnahmemessungen in der Fabrik bestimmte Normalwiderstand (bei 15°C) aller Adern zusammen. Dann ist der Faktor:

$$F = \frac{R_0}{R_1 + R_2 + \dots + R_n}.$$

b) Einadrige Kabel werden unter Benutzung der Erde gemessen. Man verwendet die Wheatstonesche Brücke, Abb. 57, S. 145. Die Leitung bildet den Zweig b und wird am fernen Ende (Punkt D) an Erde gelegt; auch das zweite Ende von d und der zweite Batteriepol werden geerdet. Die Berichtigung wegen des durch die Isolation übergehenden Stromes ist dieselbe wie unter a).

(1004) Einfluß des Erdstromes bei Widerstandsmessungen (Kempe 1908, S. 285). Um den Widerstand einer Telegraphenleitung zu messen, in der ein Erdstrom fließt, benutzt man die in (1005) beschriebene Schaltung; den Sitz des Erdstromes nimmt man in der fernen Erdleitung an. Ist die unbekannte EMK des Erdstromes E_1 , die der Batterie E , so verschwindet der Strom im Galvanometer, wenn

$$\frac{E_1}{E} = \frac{ad - bc}{a(d+r) + c(a+r)},$$

worin r der Widerstand des Batteriezwertes ist. Dies kann man für zwei Meßmethoden benutzen:

a) Man gleicht mit beiden Polen der Meßbatterie ab. Ergeben sich dabei für d die Werte d_1 und d_2 , so folgt

$$b = \frac{a}{c} \cdot \frac{d_1(d_2+k) + d_2(d_1+k)}{(d_1+k) + (d_2+k)},$$

worin

$$k = r + \frac{c}{a}(a+r).$$

b) Man macht die Brückenarme a und c gleich und bestimmt für zwei Werte a_1 und a_2 mit demselben Batteriepole die zugehörigen d_1 und d_2 (Mance). Dann ergibt sich

$$b = \frac{d_1(2r+a_2) - d_2(2r+a_1)}{(a_2+d_2) - (a_1+d_1)}.$$

c) Falscher Nullpunkt. Neben die Batterie wird ein Widerstand gelegt, der dem der Batterie gleich ist; eine Taste erlaubt, Batterie und Widerstand zu vertauschen. Man stellt die Brücke so ein, daß die Ablenkung des Galvanometers dieselbe ist, ob die Batterie oder der Widerstand eingeschaltet ist. Im Augenblick der Umschaltung muß das Galvanometer kurzgeschlossen werden.

(1005) Isolationswiderstand. a) Vertauschungsmethode (188). Zur Bestimmung der Empfindlichkeit (Ablenkungskonstante) des Spiegelgalvanometers wird die Batterie (etwa 100 V) durch den großen Widerstand R_0 (gewöhnlich 100000 Ω) und das mit einem geeigneten Nebenschlusse versehene Galvanometer geschlossen. Die Ablenkung sei A , der Umrechnungsfaktor für den benutzten Nebenschluß sei N . Aus den Messungen mit beiden Polen wird das Mittel genommen.

Dann wird jede einzelne Ader unter Einschaltung des mit passendem Zweigwiderstand versehenen Galvanometers an die Batterie gelegt. Der zweite Batteriepol liegt an Erde. Während der Untersuchung liegen die anderen Adern am Meßort an Erde, am anderen Ende sind sie isoliert.

Die Ablenkungen am Instrument werden in der Regel eine Minute nach Eintritt des Stromes abgelesen, wobei die Vorsicht gebraucht wird, daß man beim ersten Eintritt des Stromes in die Ader das Instrument kurz schließt und erst einige Zeit nachher einschaltet.

Die Ablenkung für eine bestimmte Ader sei a und der Umrechnungsfaktor des benutzten Nebenschlusses sei n . Dann ist der Isolationswiderstand

$$W = \frac{A}{a} \cdot \frac{N}{n} R_0 \text{ Ohm.}$$

b) Aus dem Ladungsabfall (W. Siemens). Ist U_1 das Potential der Kabelseele nach vollendeter Ladung, U_2 sein Wert, nachdem das Kabel während t s der Selbstentladung überlassen war, ist ferner die Kapazität $C \mu\text{F}$, so ist der Isolationswiderstand

$$W = \frac{t}{C \log \text{nat} (U_1/U_2)} \text{ Megohm.}$$

Hierbei wird auf den Ladungsrückstand keine Rücksicht genommen, so daß die Messung ungenau wird. Nach Murphy bekommt man ein möglichst genaues Ergebnis, wenn man das Verhältnis $U_1:U_2 = 3:2$ wählt; man beobachtet demnach die Zeit, in der das Potential sich um $1/3$ vermindert. Hierzu legt man an das Kabel, während es noch mit der ladenden Batterie verbunden ist, einen Nebenschluß an, der ein Galvanometer und den sehr großen Widerstand R Megohm enthält; die Galvanometerablenkungen sind der Spannung am Kabel proportional; man trennt die Batterie ab und mißt die Zeit t in Sekunden, bis der Ausschlag sich um $1/3$ vermindert hat. Dann ist

$$W_1 = \frac{2,46 R t}{RC - 2,46 t} \text{ Megohm.}$$

c) Tobler u. Sayers (ETZ 1910, S. 486) ändern diese Messung so ab, daß zwei gegenüberliegende Quadranten eines Elektrometers mit dem Kabel, die beiden anderen über einen Ausschalter mit der Meßbatterie verbunden werden. Vor dem Anlegen der Batterie wird das Elektrometer kurz geschlossen; man läßt das Kabel höchstens 30 s sich laden und hebt dann den Kurzschluß des Elektrometers auf. Infolge des Ladungsverlustes im Kabel nehmen die vorher auf gleichem Potential befindlichen Quadrantenpaare eine Spannung gegeneinander an, durch welche die Nadel abgelenkt wird. Deren Ausschlag wächst also mit der Zeit, während er nach dem unter b) beschriebenen Verfahren abnimmt. Zur Berechnung ist die Eichung des Instruments erforderlich, bei der man das eine Quadrantenpaar mit Erde, das andere mit der Batterie verbindet; es ergebe sich die Ablenkung α . Beobachtet man zu zwei Zeiten t_1 und t_2 nach Aufhebung des Kurzschlusses die Ablenkungen β_1 und β_2 , so ist

$$W = \frac{0,4343 (t_2 - t_1)}{C \log \text{vulg} \frac{\alpha - \beta_1}{\alpha - \beta_2}} \text{ Megohm,}$$

wenn die Zeiten in Sekunden, die Kapazitäten in Mikrofarad angegeben werden.

d) Temperatureinfluß. Umrechnung. Aus der Messung des Kupferwiderstandes (1003, a) ergibt sich die mittlere Temperatur t des Kabels zu

$$t = 15 - \frac{F - 1}{0,0037}.$$

Unter Benutzung einer Umrechnungstafel für das Isolationsmaterial (93) erhält man den Faktor C , mit welchem der bei t° gemessene Isolationswiderstand zu multiplizieren ist, um den Wert für die Normaltemperatur (15°C) zu erhalten. Des Vergleichs halber gibt man gewöhnlich den Widerstand in Megohm für 1 km an, welcher sich aus dem für l km gemessenen durch Multiplikation mit l ergibt.

(1006) Kapazität. a) Vergleich mit dem Normalkondensator. Sämtliche Adern werden am fernen Ende isoliert, am Meßort an Erde gelegt und entladen. Zum Messen wird ein Kondensator von bekannter Kapazität C ($1/2$ bis $1 \mu\text{F}$) und eine Stromquelle von gleichbleibender EMK (10 V) benutzt.

Vor und nach der Messung der Adern wird der Kondensator mit der Meßspannung geladen und durch das Galvanometer entladen. Die Ablenkung sei A und N

der Umrechnungsfaktor für den Nebenschluß. Dann wird jede Ader geladen und entladen. Die Ablenkungen bei der Entladung seien a , der Umrechnungsfaktor sei n . Wegen der Vergleichbarkeit der Resultate empfiehlt es sich, die Entladung erst erfolgen zu lassen, wenn die Batterie eine bestimmte Zeit, in der Regel eine Minute, angelegt gewesen ist.

Ist Kl die gesuchte Kapazität, C die des Kondensators, so ist

$$Kl = \frac{a}{A} \frac{n}{N} C.$$

b) Nach Devaux-Charbonnel (Electricien, Paris Ser. 2, Bd. 29, S. 243). Lange Kabel lassen sich mit dem ballistischen Galvanometer nicht messen, weil die Voraussetzung, daß der Ladungsvorgang in einem kleinen Teil der Schwingungsdauer des Galvanometers abgelaufen sei, nicht erfüllt ist. Man legt (Abb. 563) zuerst T_2 nach unten und beobachtet die Elektrizitätsmenge $Q_1 = CE_1$, die darauf beim Niederdrücken von T_1 das Galvanometer durchfließt. Dann legt man T_2 nach oben und lädt das Kabel in Reihe mit dem Kondensator, der nunmehr eine kleinere Ladung als vorher annimmt; wird T_2 wieder nach unten gelegt, so läßt sich der Kondensator wieder aufladen, und die Differenz $Q_2 = CE/(C + Kl)$ wird durch die zweite Ablenkung des Galvanometers gemessen. Aus beiden ergibt sich

$$Kl = C \frac{Q_1 - Q_2}{Q_2}.$$

Die Ladezeit für das Kabel braucht nur von der Ordnung $KlRl$ zu sein, darf aber auch nur einen kleinen Teil des Wertes KlW_1 ausmachen.

c) Differentialmethode nach Thomson (Kempe 1908, S. 402). Hierbei wird das in (212) beschriebene Verfahren angewandt. Ist C_2 die Kapazität des Kabels, W sein wahrer Isolationswiderstand, so hat man zur Berücksichtigung des Ladungsverlustes die gefundene Kapazität C_2 zu multiplizieren mit $(r_2 + W)/W$; nach einer genaueren Formel von Schwendler mit

$$\sqrt{\frac{R}{W}} / \left(1 - e^{-\sqrt{\frac{R}{W}}}\right)$$

worin R der Kupferwiderstand des Kabels ist.

d) In der Wheatstoneschen Brücke (Gott, Kempe 1908, S. 406), Abb. 564; C_2 sei das Kabel, dessen fernes Ende isoliert ist; die zweite Belegung von C_2 ist die äußere Kabelhülle und Erde; es liegt also der rechte Eckpunkt des Vierecks an Erde. Schließt man erst die Taste im Batteriezweig, nach wenigen Sekunden die Taste im Galvanometerzweig und gleicht R_1 , R_2 und C_1 so lange ab, bis beim Schluß des Galvanometerzweiges das Instrument keinen Ausschlag zeigt, so ist

$$C_2 = C_1 \cdot \frac{R_1}{R_2}.$$

Um den Ladungsverlust durch die Isolationshülle des Kabels zu berücksichtigen, wird die gefundene Kapazität mit $f = e^{-\frac{t}{C_2 W}}$ multipliziert, worin W der wahre Isolationswiderstand des Kabels, t die Zeit, während deren die Batterie geschlossen wird. Werte von f s. (7).

(1007) **Kabeltemperatur.** Bei Messungen an mehradrigen Telegraphenkabeln wird in der Deutschen Reichspost folgendes Verfahren angewendet.

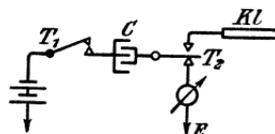


Abb. 563. Kapazitätsmessung nach Devaux-Charbonnel.

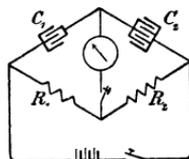


Abb. 564. Kapazitätsmessung nach Gott.

Die zur Umrechnung des Isolationswiderstandes erforderliche Ermittlung der Kupfertemperatur geschieht in einer Wheatstoneschen Brücke, deren Arme gebildet sind 1. aus einer Kabelschleife, 2. aus einem Rheostaten, der auf den Widerstand der Kabelschleife bei der Normaltemperatur eingestellt ist, 3. und 4. aus zwei Widerständen von 1000 Ω . Aus einem Zusatzkasten, der nach Vielfachen von 3,7 Ω geeicht ist, fügt man so viel Widerstand zu dem einen oder anderen der beiden Widerstände von 1000 Ω hinzu, bis das Gleichgewicht in der Brücke hergestellt ist. Man sieht leicht, daß, wenn man bei Abgleichung der Brücke z. B. zu dem an die Kabelschleife anstoßenden Widerstande von 1000 Ω noch $n \cdot 3,7 \Omega$ hat zufügen müssen, das Kabel um n Celsiusgrade über der Normaltemperatur sich befindet. Es wird also an dem Zusatzkasten ohne Rechnung die mittlere Kabeltemperatur festgestellt. Die gebräuchlichen Zusatzkästen reichen bis $\pm 19,9^\circ$ Abweichung von der Normaltemperatur.

Die feste Kabelmeßeinrichtung, die auf den Telegraphenämtern für die Kabellinien benutzt wird, enthält außer den erwähnten Rheostaten einen Widerstand R_n von 100000 Ω (1005), einen Normalkondensator von 0,5 μF (1006) und ein empfindliches Spiegelgalvanometer der in (160) erwähnten Art. Man mißt den Leitungswiderstand (1003, b), die Isolation (1005, a), die Kapazität (1006, a) und die mittlere Kabeltemperatur nach dem vorhergehenden.

Zur Umrechnung des Guttapercha-Widerstandes auf die Normaltemperatur wird ein Rechenschieber verwendet. Der Ausdruck für den Isolationswiderstand für 1 km bei Normaltemperatur nach (1005 a und d)

$$W_0 = \frac{A}{a} \frac{N}{n} G R_0 l 10^{-6} \text{ Megohm}$$

wird, abgesehen von der Zehnerpotenz $\frac{N}{n} R_0 10^{-6}$, mit einem Rechenschieber besonderer Art ermittelt. Dieser enthält in logarithmischer Teilung derselben Einheit auf der oberen Linealkante die Beträge $1/a$ und auf der oberen Schieberrante die von $1/A G$, wobei angenommen wird, daß A stets gleich 200 gemacht werde. Die Beträge $1/A G$ sind für alle Temperaturen von -5° bis $+24^\circ$ berechnet und die Teilstriche nach Temperaturen beziffert; ähnlich ist die Teilung $1/a$ nach den a (Ablesungen) beziffert. Stellt man eine bestimmte Temperatur auf dem Schieber einer bestimmten Ablesung gegenüber, so weist der Anfangspunkt der Schieberteilung auf den Betrag $\log 1/a - \log 1/A G = \log A G/a$. Die untere Schieberteilung wie diejenige der unteren Linealkante ist eine einfache logarithmische. Faßt man daher auf der unteren Schieberteilung einen bestimmten Teilpunkt, welcher der Kabellänge l entspricht, ins Auge, so entspricht diesem auf der unteren Linealteilung der Betrag $A G l/a$, welcher, abgesehen von einer Potenz von 10, gleich dem Isolationswiderstand für 1 km Länge bei Normaltemperatur ist.

(1008) Doppelleitungskabel werden für die Deutsche Reichspost nach folgendem Verfahren abgenommen. Aus den Adern werden Meßgruppen gebildet, welche je nach der Aderzahl des Kabels aus je 2 bis 10 Adern bestehen; alle a -Leiter der Gruppen sind hintereinander geschaltet, ebenso für sich alle b -Leiter.

Der Widerstand wird an den zu einer Schleife verbundenen a - und b -Leitern in der Wheatstoneschen Brücke gemessen.

Der Isolationswiderstand und die Kapazität werden durch Vergleich der Ablenkungen oder Ausschläge mit denen bei bekannten Widerständen und Kondensatoren bestimmt. Von den (1005 u. 1006) beschriebenen Isolations- und Kapazitätsmessungen weichen die für Doppelleitungskabel darin ab, daß statt der Erdverbindung die zweite Leitung angelegt wird.

Für das von der Deutschen Reichspost vorgeschriebene Verfahren hat die A.-G. Siemens & Halske eine Schaltvorrichtung ausgearbeitet, welche schematisch in Abb. 565 dargestellt ist. Eine gut isoliert aufgestellte Batterie wird über einen Umschalter U mit einem in seiner Mitte geerdeten Widerstande von

100000 Ω verbunden. Durch die Erdverbindung erhalten die Pole des Widerstandes gleiches und entgegengesetztes Potential. Sollen mehrere Meßsysteme aus einer Batterie gespeist werden, so wird diese in der Mitte geerdet und mit Zellschaltern ausgerüstet. *A* und *B* sind Umschalter, welche aus drei und zwei gekuppelten Tasten bestehen, *C* ist ein einfacher Umschalter. *B* dient dazu, die *a*-Leitung mit der *b*-Leitung zu vertauschen, während *A* die Anlegung und Abschaltung der Stromquelle gegen das Kabel besorgt. In der Ruhelage von *A* (links) ist das Galvanometer kurz geschlossen, die *a*- und *b*-Adern sind miteinander und der Erde verbunden. Wird *A* in die Arbeitslage gebracht (rechts), so fließen gleiche Ströme entgegengesetzter Richtung in die beiden Zweige der Doppelleitung; einer davon fließt zum Teil durch das Galvanometer *G* und dient zur Messung. Der Ayrtonsche Nebenschluß (197) dieses Galvanometers ist mit zwei Kurbeln und zwei Sätzen von Abzweigkontakten für die Unterabteilungen versehen. Durch den Umschalter *C* kann die eine oder andere Kurbel eingeschaltet werden.

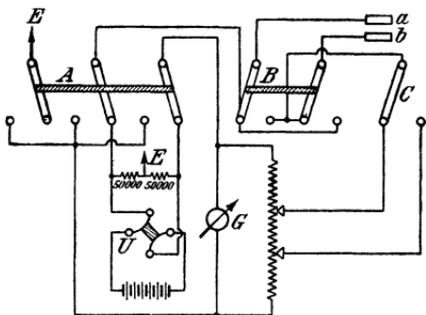


Abb. 565. Meßschaltung für Doppelleitungskabel.

Dies ermöglicht, da bei Kapazitäts- und Widerstandsmessung meist verschiedene Nebenschlüsse gebraucht werden, diese ohne Neueinstellung zu wechseln. Man stellt zunächst den Umschalter *C* auf den Nebenschluß für Kapazität, legt dann *A* um und beobachtet den ersten Ausschlag. Alsdann legt man *C* für Isolation um und beobachtet die verbleibende dauernde Ablenkung. *A* wird dann zurückgelegt und für die zweite Stellung von *B* die Messungsreihe wiederholt.

Literatur: Dreisbach, H.: Telegraphenmeßkunde. Braunschweig 1908. — Telegraphenmeßordnung, Berlin 1910 und Kabelmeßordnung, Berlin 1926. — Kempe, R. H.: Handbook of electrical testing. London 1908.

Ortsbestimmung von Fehlern in Kabeln und Freileitungen.

I. Nebenschließungen und Berührungen.

(1009) **Widerstandsmessungen. Allgemeine Gleichungen.** Eine eindrätige Leitung zwischen den beiden Ämtern I und II habe eine Nebenschließung; der Widerstand, gemessen von einem Ende der Leitung aus, sei

u, wenn das ferne Ende isoliert ist,

v, wenn das ferne Ende an Erde liegt,

w, wenn am fernen Ende zwischen Leitung und Erde ein Widerstand *r* liegt;

ferner sei

f der Widerstand der Fehlerstelle von der Leitung bis zur Erde,

l der Widerstand der fehlerfreien Leitung,

x und *y* sind die unbekanntenen Widerstände der Teile von *l*; $l = x + y$.

Die Messungen können entweder von beiden Endämtern oder nur von einem Endamt aus vorgenommen werden.

Messungen vom

$$\text{Endamt I: } u_1 = x + f; \quad v_1 = x + \frac{yf}{y+f}; \quad w_1 = x + \frac{f(y+r)}{y+f+r},$$

$$\text{Endamt II: } u_2 = y + f; \quad v_2 = y + \frac{xf}{x+f}; \quad w_2 = y + \frac{f(x+r)}{x+f+r}.$$

Hiernach gestaltet sich die Untersuchung in folgender Weise:

Die Messungen lassen sich von beiden Endämtern ausführen	Die Messungen lassen sich nur von einem Endamt ausführen.
$l = x + y$ bekannt	
u_1 und u_2 gemessen	u und v gemessen (Blavier, Kempe 1908, S. 295)
$x = \frac{1}{2} l + \frac{u_1 - u_2}{2}$	$x = v - \sqrt{(u-v)(l-v)}$
$y = \frac{1}{2} l - \frac{u_1 - u_2}{2}$	$y = l - v + \sqrt{(u-v)(l-v)}$
$f = -\frac{1}{2} l + \frac{u_1 + u_2}{2}$	$f = u - v + \sqrt{(u-v)(l-v)}$
l ist unbekannt	
u_1, u_2, v_1 gemessen	u, v, w gemessen
$x = u_1 - \sqrt{u_2(u_1 - v_1)}$	$x = u - \sqrt{\frac{r(u-v)(u-w)}{w-v}}$
$y = u_2 - \sqrt{u_2(u_1 - v_1)}$	$y = r \frac{u-w}{w-v} - \sqrt{\frac{r(u-v)(u-w)}{w-v}}$
$f = \sqrt{u_2(u_1 - v_1)}$	$f = \sqrt{\frac{r(u-v)(u-w)}{w-v}}$

(1010) Berührung eindrängiger Leitungen. Wenn sich zwei von demselben Amte I ausgehende eindrängige Leitungen l_1 und l_2 berühren, so läßt sich die Fehlerstelle wie folgt berechnen: Eine Schleifenmessung im Amt I ergibt w , wenn die beiden Leitungen an den anderen Enden isoliert sind. Es seien

x_1 und x_2 der Widerstand von l_1 und l_2 vom Amt I bis zur Fehlerstelle,
 q_1 und q_2 desgleichen der Widerstand auf 1 km,
 n desgleichen die Entfernung in Kilometern.

Dann ist $n = w/(q_1 + q_2)$. Dabei ist vorausgesetzt, daß der Übergangswiderstand f an der Berührungsstelle vernachlässigt werden kann, ebenso, daß jede Leitung auf der ganzen Strecke einen gleichmäßigen Widerstand besitzt.

Soll der Übergangswiderstand f noch in Rechnung gezogen werden, so sind folgende Messungen vorzunehmen: Auf Amt I wird l_1 auf Widerstand gemessen und l_2 gleichzeitig mit Erde verbunden; dann ist

$w = x_1 + x_2 + f$, wenn l_1 und l_2 am anderen Ende isoliert sind,

$$v = x_1 + \frac{(f + x_2) y_1}{l + x_2 + y_1},$$

wenn l_1 am anderen Ende an Erde liegt. Es ist $x_1 + y_1 = l_1$.

Daraus ergibt sich

$$x = v - \sqrt{(l_1 - v)(w - v)}.$$

(1011) Berührung in Doppelleitungen. Eine Berührung der beiden Zweige (Schleifenberührung) wird folgendermaßen durch Messung festgestellt: Amt I mißt den Widerstand

in Schleife; $w = 2x + f$ } wenn Amt II gleichzeitig Zweig a isoliert und
 im Zweig a ; $v = l + f$ } Zweig b an Erde legt.

Daraus ergibt sich

$$x = \frac{l + w - v}{2}.$$

Es läßt sich auch folgende Messung ausführen: Amt II isoliert wieder Zweig a und legt Zweig b an Erde, Amt I mißt im Zweig a ; es ist

$w = l + f$, wenn gleichzeitig auf Amt I der b -Zweig isoliert ist,

$$v = x + f + \frac{xy}{l},$$

wenn dieser Zweig b auf Amt I mit Erde verbunden ist.

Daraus ergibt sich

$$x = l - \sqrt{l(w-v)}.$$

Messungen können auch von beiden Endämtern ausgeführt werden. Wird von Amt I aus der Schleifenwiderstand w_1 gemessen, von Amt II aus der Schleifenwiderstand w_2 , dann ist

$$x = \frac{2l + w_1 - w_2}{4}.$$

Das Gegenamt hat beide Zweige gleichzeitig zu isolieren.

(1012) Nebenschluß in einer Doppelleitung. Zeigt Zweig a einen Nebenschluß zur Erde, wird auf Amt II die Leitung zur Schleife verbunden; Amt I mißt dann zuerst

Zweig a , $w = x + f$,

sodann Zweig b , $v = l + y + f$.

Daraus ergibt sich

$$x = \frac{2l + w - v}{2}.$$

Den Fehler kann man auch mit der Erdfehlerschleifenmessung nach (1015) und Abb. 566 ermitteln und dazu die dort angegebenen Formeln anwenden; hierbei ist jetzt $a_1 = a_2$.

(1013) Nebenschluß in einer Einzelleitung. a) Methode von Dresing (El. Rev. vom 15. Nov. 1899). Der Widerstand der am fernen Ende mit Erde verbundenen Leitung wird mit der Brücke bestimmt. Man findet dadurch

$$v = x + \frac{yf}{y+f}.$$

Dann schaltet man parallel zur Leitung am Meßort einen Widerstand q zur Erde, während das ferne Ende isoliert wird, läßt aber den bei der ersten Messung gestöpselten Widerstand v ungeändert und verändert den parallel geschalteten Widerstand q so lange, bis Gleichgewicht eintritt. Dann ist

$$v = \frac{q(x+f)}{q+(x+f)}.$$

Ist nun der Widerstand der unbeschädigten Leitung bekannt als $l = x + y$, so findet sich

$$x = v \left(1 - \sqrt{\frac{l-v}{q-v}} \right).$$

b) Kenellys Methode. Der Widerstand eines Nebenschlusses in einem Kabel ist bei Strömen unter 0,025 A umgekehrt proportional der Wurzel aus dem Strome. Mißt man mit den beiden Strömen i_1 und i_2 die Widerstände u_1 und u_2 , so ist der Widerstand des Kabels bis zur Fehlerstelle

$$\frac{u_1 \sqrt{i_1} - u_2 \sqrt{i_2}}{\sqrt{i_2} - \sqrt{i_1}}.$$

(1014) Chemische Veränderungen der Kupferader an der Fehlerstelle. Einflüsse der Bodensalze, des Seewassers, des elektrischen Stromes verändern die Berührungsstelle des Kupfers mit dem Erdreich oder dem Wasser.

Methode von Lumsden für Seekabel. (Kempe 1908, S. 298.) Der Zn-Pol einer Batterie von 100 V wird 10 bis 12 Stunden an die Leitung gelegt;

gelegentlich kehrt man den Strom für einige Minuten um. Hierdurch wird das Kupfer an der Fehlerstelle rein. Man schickt darauf einen Strom von etwa 0,03 A in positiver Richtung in das Kabel, um an der Fehlerstelle Kupferchlorid zu erzeugen. Nach einiger Zeit legt man das Kabel zur Widerstandsmessung an die Brücke, während der positive Pol der Meßbatterie geerdet ist. Der Widerstand ändert sich fortgesetzt, da das Kupferchlorid an der Fehlerstelle zersetzt wird, und man folgt den Änderungen, indem man den Vergleichswiderstand stets so regelt, daß das Galvanometer stromlos ist. In dem Augenblicke, wo alles Kupferchlorid zersetzt ist und Wasserstoffentwicklung beginnt, ändert sich der Widerstand plötzlich sehr bedeutend, so daß das Galvanometer plötzlich stark abgelenkt wird. Der vor diesem Sprunge zuletzt eingestellte Widerstand gibt den Wert des Widerstands bis zur Fehlerstelle.

(1015) Erdfehler in einer oder mehreren Adern eines mehradrigen Kabels.

Befinden sich in dem Kabel neben den fehlerhaften eine oder mehrere unverletzte Adern, so bildet man aus einer fehlerhaften Ader a_1 und einer fehlerfreien a_2 eine Schleife durch isolierte Verbindung am fernen Ende. Mißt man den Widerstand dieser Schleife mit einem von der Erde völlig isolierten Meßsystem, so übt der Fehler auf das Resultat keinen Einfluß aus, und man erhält

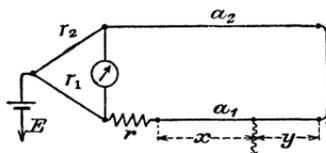


Abb. 566. Erdfehlerschleife.

$$a_1 + a_2 = R_1.$$

Man macht alsdann nach Abb. 566 (Erdfehlerschleife) eine zweite Messung, indem man den einen Batteriepol an Erde legt und von der Verbindungsstelle von r (Vergleichswiderstand) mit a_1 isoliert. Die Fehlerstelle bildet nunmehr einen Eckpunkt der Brücke, und bei Gleichgewicht ist

$$r_1(a_2 + y) = r_2(r + x).$$

Da $x + y = a_1$ und $a_1 + a_2 = R_1$ ist, so ergibt sich

$$x = \frac{r_1 R_1 - r r_2}{r_1 + r_2}.$$

R_1 und r bedeuten die Mittel der Beobachtungen mit beiden Polen. Es ist demnach beim Vorhandensein nur einer fehlerfreien Ader möglich, den Widerstand der fehlerhaften Adern bis zur Fehlerstelle festzustellen. Um den Ort des Fehlers in Kilometern zu bestimmen, muß in diesem Falle der Widerstand für 1 km bekannt sein.

Sind zwei oder mehr fehlerfreie Adern vorhanden, so kann man nach (1003) den Wert des Widerstandes jeder Ader einzeln bestimmen. Hat die Ader a_1 die Länge l km und den Widerstand $a_1 \Omega$, so ist die Entfernung der Fehlerstelle vom messenden Amte I

$$l_1 = l \frac{x}{a_1}.$$

Man wird die Messung vom Amte II aus wiederholen und dadurch y und l_2 bestimmen. Ergibt $l_1 + l_2$ einen größeren Wert als l , so liegt der Fehler wahrscheinlich in der Entfernung

$$l_1 + \frac{1}{2}(l_1 + l_2 - l)$$

vom Amte I aus.

(1016) Erdfehler in allen Adern des Kabels. Sind in einem Kabel gleichzeitig sämtliche Adern fehlerhaft und steht keine unverletzte Hilfsader für Meßzwecke zur Verfügung, so kann nach der Überlappungsmethode von Anderson und Kenelly¹⁾ der Fehler wie folgt durch Messungen festgestellt werden:

¹⁾ Journal of the Institution of Electrical Engineers, Bd. 16, S. 571.

Beim Amt *A* (Abb. 567) wird r_1 zunächst = 0 gemacht; r_2 wird soweit verändert, bis das Brückengleichgewicht hergestellt ist, es sei dann r'_2 . Dann führt Amt *B* dieselbe Messung aus; r_2 sei dort r''_2 . Nun wird r_1 gleich der Differenz $r''_2 - r'_2$ gemacht und r_2 erneut abgeglichen, erst bei *A*, dann bei *B*. Die zweite Differenz $r''_2 - r'_2$ wird jetzt kleiner sein als die erste Differenz. r_1 wird nun noch um diese zweite Differenz vergrößert und dann das Verfahren fortgesetzt, bis r_2 bei *A* und *B* den gleichen Wert hat. Dann ist

$$x = \frac{l}{2} - \frac{r_1}{2R},$$

wobei l die Kabellänge und R den Widerstand der Längeneinheit bedeutet.

Die Ergebnisse sind nur brauchbar, wenn $f < rd. 20 lR$ ist.

Ein weiteres Verfahren hat Küpfmüller¹⁾ ausgebildet, das auch anwendbar ist, wenn f sehr groß ist im Verhältnis zu lR (Abb. 568).

Zunächst wird in mehreren Adern gleicher Leiterstärke der Isolationswiderstand gegen Erde gemessen; dann greift man zwei Adern heraus, deren Isolationswiderstände mindestens 20 bis 30 vH voneinander verschieden sind, und macht an ihnen die folgenden Messungen, wobei die Brückenarme r_1 und r_2 möglichst die Größenordnung der Aderwiderstände haben müssen.

Zunächst hat das ferne Amt beide Adern zu isolieren; r_2 wird abgeglichen, bis das Brückengleichgewicht hergestellt ist. Dann ist $r_1/r_2 = u_1$. Hierauf hat das ferne Amt beide Adern zur Schleife zu verbinden und dann wird r_2 erneut abgeglichen; dann ist $r_1/r_2 = u_2$. Aus beiden Gleichungen folgt als Näherungswert

$$x = l \frac{2(u_1 - u_2)}{(u_1 - 1)(u_2 + 1)}.$$

Bei diesem Meßverfahren verkleinern sich die Meßfehler mit höher werdendem Isolationswiderstand der Fehlerstelle, im Gegensatz zu den bisherigen Meßverfahren.

(1017) Berührung zweier Adern: a) Ohne gleichzeitigen Erdfehler. Ist wenigstens eine fehlerfreie Ader (a_3) vorhanden, so macht man zunächst die Berührung durch Erdung einer der in Berührung befindlichen Adern (a_2) zum Erdfehler und mißt den Widerstand der anderen in Berührung befindlichen Ader (a_1) bis zur Fehlerstelle nach (1015). Darauf isoliert man die vorher geerdete Ader a_2 an beiden Enden, legt dafür die Verbindung der Ader a_1 mit der fehlerfreien a_3 im fernen Amte an Erde und mißt diese Schleife (a_1, a_3) nach der Erdfehlerschleifenmethode. Man erhält auf diese Weise den Widerstand der Ader a_1 für die ganze Länge. Danach ist die Entfernung bis zur Fehlerstelle bekannt.

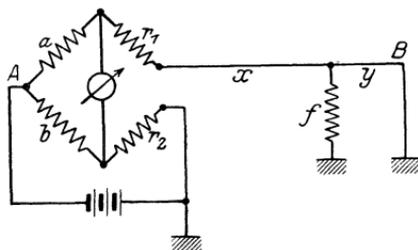


Abb. 567. Meßschaltung nach Anderson und Kenely.

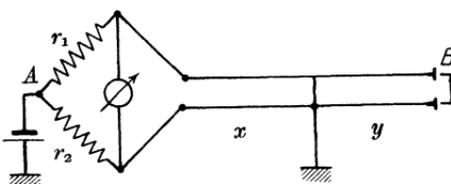


Abb. 568. Meßschaltung nach Küpfmüller.

¹⁾ Mitteilungen aus dem Zentrallaboratorium des Wernerwerks Siemens & Halske 1925 und Telegraphen- und Fernsprechtechnik 1925, Nr. 9, S. 234.

Ist keine fehlerfreie Ader vorhanden, so werden die Adern am fernen Ende isoliert und der Gesamtwiderstand je zweier Adern bis zur Fehlerstelle gemessen. Ist das Ergebnis der Messungen R , sind x_1 und x_2 die Widerstände der beiden Adern bis zur Fehlerstelle, f der Widerstand des Fehlers, so ist

$$R = x_1 + x_2 + f.$$

Man kann in der Regel $x_1 = x_2$ setzen und f gegen $x_1 + x_2$ vernachlässigen, so daß näherungsweise

$$x_1 = \frac{1}{2} R.$$

Die Messungen werden vom fernen Amte aus wiederholt und aus beiden Messungsergebnissen das wahrscheinliche Resultat nach der Näherungsformel in (1015) berechnet.

b) Mit gleichzeitigem Erdfehler; wird wie ein Erdfehler in einer Ader behandelt, indem man die sich berührenden Adern an beiden Enden miteinander verbindet.

(1018) Potentialmessungen. Clarks Methode. Ist die Nebenschließung unvollkommen, so kann das Potential an der Fehlerstelle, also auch am fernen isolierten Ende, nicht Null sein.

Auf dem Amt I (Abb. 569 a) wird zwischen Kabelende und Batterie ein Widerstand r eingeschaltet, auf dem Amt II bleibt das Kabel isoliert.

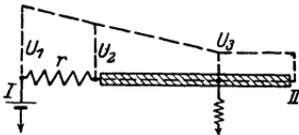


Abb. 569 a. Potentialmessung nach Clark.

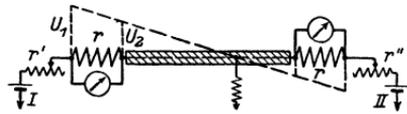


Abb. 569 b. Potentialmessung nach Siemens.

Die Potentiale vor und hinter dem Widerstande r seien U_1 und U_2 , das Potential am fernen isolierten Ende U_3 (= dem der Fehlerstelle), dann ist

$$x = r \cdot \frac{U_2 - U_3}{U_1 - U_2}.$$

Die Potentiale bestimmt man an beiden Enden nach Abb. 68, S. 157.

Siemenssche Methode gleicher Potentialdifferenzen (Abb. 569 b) Die Methode beruht darauf, daß bei der Einwirkung von zwei einander entgegengesetzt geschalteten Batterien an beiden Enden des Kabels durch Veränderung der elektromotorischen Kraft der Batterien oder Einschaltung von Widerständen zwischen Kabel und Batterie das Potential gerade an der Fehlerstelle zu Null gemacht wird.

In diesem Falle entweicht kein Strom über den Fehler, man kann also die richtige Abgleichung daran erkennen, daß die Stromstärke an beiden Enden des Kabels denselben Wert hat.

Man schaltet in beiden Ämtern mit den Batterien und dem Kabel die regulierbaren Widerstände r' und r'' und die untereinander gleichen Widerstände r in Reihe, letzteren werden gleich empfindliche Galvanometer parallel geschaltet. Auf einem der Ämter wird r' (oder r'') so lange verändert, bis die Galvanometer gleichen Ausschlag zeigen, d. h. bis auf beiden Seiten die Spannungen an den Widerständen r oder die Stromstärken in r gleich sind. Ist dies erreicht, so ist

$$x = r \frac{U_1 - U_2}{U_2}.$$

Man mißt U_1 und U_2 nach Abb. 68, S. 157. Zweckmäßig ist es, r so zu wählen, daß es annähernd gleich x ist, da dann das Ergebnis der Messung am zuverlässigsten wird.

(1019) Strommessungen. Durch Messung des abgehenden und ankommenden Stromes läßt sich die Lage einer Nebenschließung in einer eindrängigen Leitung ermitteln. Amt I sendet mit beliebiger Spannung einen Strom I_1 in die Leitung, beim Amt II kommt ein Strom i_2 an; alsdann sendet Amt II einen Strom I_2 in die Leitung, der beim Amt I als i_1 ankommt.

Dann ist $(I_1 - i_2)f = i_2 y$ und $(I_2 - i_1)f = i_1 x$, wobei f den Ableitungswiderstand darstellt und $l = x + y$ ist; der Widerstand der eingeschalteten Meßinstrumente wird dabei vernachlässigt.

Daraus ergibt sich

$$x = \frac{(I_2 - i_1) i_2 l}{i_1 (I_1 - i_2) + i_2 (I_2 - i_1)}.$$

Eine andere Meßmethode berücksichtigt die Spannung der Meßbatterie U , mißt den auf Amt I abgehenden Strom I und den auf Amt II ankommenden Strom i . Dann ist

$$U = Ix + iy.$$

Daraus ergibt sich

$$x = \frac{U - il}{I - i}.$$

Gottgetreusche Methode. Man legt für die Messung an einer eindrängigen Leitung gleichzeitig auf Amt I und auf Amt II dieselbe Batteriespannung mit demselben Pol an die Leitung und mißt den Strom i_1 auf Amt I und den Strom i_2 auf Amt II. Dann ist

$$x = \frac{i_2 l}{i_1 + i_2}.$$

Bei Doppelleitungen wird die Strommessung auf Nebenschließung nur auf dem einen Amte vorgenommen, und zwar in den beiden parallel an die Meßbatterie angeschalteten Zweigen (Strom i_1 und i_2); gleichzeitig werden auf dem anderen Amte die Leitungszweige zur Schleife verbunden. Dann ist

$$x = \frac{2l \cdot i_2}{i_1 + i_2}.$$

Eine Gegenmessung wird zweckmäßig noch vom zweiten Amte aus vorgenommen.

II. Unterbrechung der Leitung.

(1020) Ladungsmessung. Ist eine Leitung vollkommen unterbrochen und die Fehlerstelle isoliert, so läßt sich der Fehler bei einadrigen Kabeln nur durch Ladungsmessungen bestimmen, vorausgesetzt, daß die Kapazität für das Kilometer in normalem Zustande bekannt ist.

Ist ein mehradriges Kabel an einer Stelle durchschnitten, wobei eine Anzahl von Adern miteinander in leitende Verbindung kommen, so legt man jedesmal zwei Adern zur Schleife an die Brücke, mißt den Widerstand und wiederholt in allen möglichen Kombinationen diese Messung. Ist x der Widerstand bis zur Fehlerstelle, f der Widerstand an der Unterbrechungsstelle, R das Meßergebnis, so ist für alle Messungen

$$R = 2x + f,$$

wobei durch die verschiedenen Fehlerwiderstände kleine Abweichungen des f begründet werden. Falls f sehr klein ist, ist $x = 1/2 R$. Das Ergebnis kann vom anderen Ende aus geprüft werden.

In anderer Weise kann man den Fehler näherungsweise bestimmen, wenn man als einen Zweig der Schleife eine Ader, als zweiten zuerst zwei miteinander verbundene Adern, dann 3, 4 usw. anlegt, unter gleichzeitiger Einschaltung eines Widerstandes r in den letzten Zweig. Sind die beiden anderen Brückenarme einander gleich gemacht und nur r veränderlich, so ergeben die Messungen für die gedachten Fälle:

1. 2 verbundene Adern bilden einen Schleifenzweig: $x = \frac{1}{2}x + r_1$,
 2. 3 Adern bilden den Zweig der Schleife: $x = \frac{1}{3}x + r_2$,
 3. 4 Adern bilden den Zweig der Schleife: $x = \frac{1}{4}x + r_3$
 usw., woraus

$$x = 2r_1, \quad x = \frac{3}{2}r_2, \quad x = \frac{4}{3}r_3 \text{ usw.},$$

so daß ein Näherungswert erzielt werden kann.

Bei Freileitungen führen Ladungsmessungen selten zum Ziel.

III. Fehlerermittlung ohne Messung.

(1021) Halbieren der Leitung. Durch Messungen sind in manchen Fällen die Fehlerstellen nicht oder nicht genau genug zu ermitteln. Man muß dann durch fortgesetztes Halbieren der Leitung und der schadhaften Leitungshälften die Fehler eingrenzen.

Bei Unterbrechung der Leitung läßt man sie an einer leicht zu erreichenden Stelle, möglichst in der Mitte, vorübergehend erden und die Wirkung auf den Endämtern gleichzeitig beobachten. Der fehlerfreie Teil zeigt dann Erdschluß, der andere Teil bleibt stromlos. Dieser stromlose Teil wird dann in gleicher Weise wieder unterteilt und beobachtet, und das so fort, bis der Fehler zwischen zwei einander benachbarten Untersuchungsstellen eingegrenzt ist.

Bei Nebenschluß oder Schleifenberührung geht man in gleicher Weise vor, nur wird die Leitung unterwegs nicht geerdet, sondern isoliert.

Dieses Halbierungsverfahren ist außerordentlich zeitraubend und unwirtschaftlich, man macht daher so weit wie möglich von Messungen Gebrauch.

Messungen an Erdleitungen.

(1022) Der Widerstand von Erdleitungen kann entweder mit Hilfe gleichgerichteter Ströme oder mit Wechselströmen gemessen werden. Verwendet man Gleichstrom, so nimmt man zweckmäßig eine starke Batterie und führt jede Messung auch mit umgekehrter Stromrichtung aus; in diesem Falle wird aus den beiden Messungen das arithmetische Mittel genommen. Wegen der polarisierenden Wirkung des Gleichstroms ist die Messung mit Wechselstrom vorteilhafter; die in (193) angegebene Methode, der Fernhörer in Verbindung mit der Brücke, ist hier zweckmäßig.

Häufig werden die Messungen ungenau, wenn der Hilfserder einen wesentlich größeren Widerstand als die zu untersuchende Erde besitzt. Die besten Ergebnisse erhält man, wenn der Widerstand des Hilfserders der Größe des Widerstandes der zu untersuchenden Erde möglichst nahe kommt. Als Hilfserder genügen u. U. Kupferdrähte von 1 . . . 2 mm, die in einen flachen, leicht herzustellenden Graben eingelegt, dann mit Wasser begossen und wieder mit Erde zugedeckt werden, die festgetreten wird. Diese Erder müssen in Abständen von mindestens 10 m von der zu untersuchenden Erde angebracht werden. Sie haben den Vorteil, daß sie leichter zu Messungen mitgenommen werden können als Platten. Wird gegen Wasserleitung als Hilfserder gemessen, so muß man sich überzeugen, daß zwischen dem Wasserleitungsnetz und der Meßstelle kein isolierender Flansch (besonders bei Mannesmannröhren) sitzt. Es ist auch nicht immer anzunehmen, daß Wasser den Widerstand 0 hat. Bestehen Zweifel, so ist die Wasserleitung gegen Hilfserder auf ihren Widerstand zu untersuchen.

a) Methode von Schwendler und Ayrton. Je 7 bis 10 m weit von der zu untersuchenden Erdplatte entfernt, werden zwei andere Platten in die Erde eingegraben. Die Übergangswiderstände der drei Platten seien P_1 , P_2 , P_3 . Von je zweien dieser Platten wird der Gesamtwiderstand R gemessen.

Aus

$$R_{12} = P_1 + P_2; \quad R_{13} = P_1 + P_3; \quad R_{23} = P_2 + P_3,$$

und

$$R_{12} + R_{13} + R_{23} = S,$$

ergibt sich

$$P_1 = \frac{S}{2} - R_{23}; \quad P_2 = \frac{S}{2} - R_{13}; \quad P_3 = \frac{S}{2} - R_{12}.$$

Diese Messungen lassen sich nach der erwähnten Anordnung bequem mit besonderen tragbaren Meßeinrichtungen, Wechselstrom-Meßbrücken genannt, ausführen. Die Einrichtungen enthalten eine vollständige Wheatstonesche Brücke, Induktionsapparat nebst Trockenelementen und Fernhörer.

b) Methode von Nippoldt. Man legt in der Nähe, aber in mindestens 10 m Entfernung von der zu prüfenden Erdleitung wagrecht in das Grundwasser eine Hilfsplatte und ermittelt die Summe R_1 der Widerstände beider Erdleitungen. Darauf ersetzt man die Hilfsplatte durch eine kleinere von beiläufig halb so großen Abmessungen und mißt abermals die Summe R_2 der beiden Widerstände. Hat der benutzte Leitungsdraht den Widerstand r (meist zu vernachlässigen), und ist das Verhältnis des Ausbreitungswiderstandes der kleineren zu dem der größeren Platte = v , welches ein- für allemal bestimmt werden muß, so ist der gesuchte Widerstand

$$P = \frac{R_1 v - R_2}{v - 1} - r.$$

c) Methode von Wiechert. (ETZ 1893, S. 726). Abb. 570 a. Die zu messende Erdleitung sei x ; eine zweite Erdleitung y sei entweder vorhanden oder werde für die Messung hergestellt. An einer anderen Stelle wird in eine gut angefeuchtete Stelle des Erdreichs ein starker Eisendraht eingetrieben, an dem man oben eine Leitung befestigt. S ist eine Wechselstromquelle, AB der ausgespannte Draht oder dergl. einer Wheatstoneschen Brückenanordnung. Der Umschalter u wird einmal links, einmal rechts gestellt und die beiden Stellungen des Kontaktes abgelesen.

Bei der von Wiechert angegebenen Anordnung fehlen dem Umschalter u die beiden Kontakte rechts. Es ergibt sich

$$x = r \cdot \frac{b}{a-c}, \quad y = r \cdot \frac{c-b}{a-c}.$$

Wenn man an der Teilung von AB das Verhältnis der verglichenen Widerstände ablesen kann, und wenn die Ablesungen A_l und A_r für Umschalter u links und rechts sind, so ist:

$$x = r \cdot A_l \frac{A_r + 1}{A_l + 1}, \quad y = r \cdot \frac{A_r - A_l}{A_l - 1}.$$

Bei der Anordnung der Abb. 570 a ist

$$x = r \cdot \frac{c}{a-c} \cdot \frac{b}{a}, \quad y = r \cdot \frac{c}{a-c} \cdot \frac{a-b}{a} \quad \text{und}$$

$$x = r \cdot A_r \cdot \frac{A_l}{A_l + 1}, \quad y = r \cdot \frac{A_r}{A_l + 1},$$

r macht man in der Regel = 10 Ω .

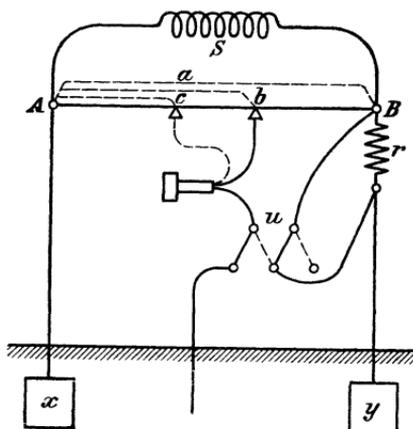


Abb. 570 a. Erdleitungsmessung nach Wiechert.

Die Methode ist sehr empfehlenswert. Tragbare Apparate in Form der Telefonmeßbrücken werden von Hartmann & Braun gebaut.

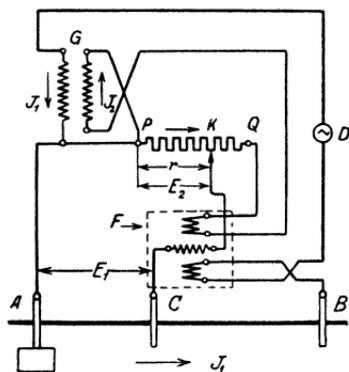


Abb. 570b. Erdungsmesser von Siemens & Halske. *A* Erder, *B* Hilfserder, *C* Sonde, *D* Induktor, *F* Nullinstrument, *G* Stromwandler, *PQ* Vergleichswiderstand.

zeigt also den Widerstand des Erders *A* unmittelbar an; auf die Größe des Widerstandes des Hilfserders und der Sonde kommt es nicht an.

Apparate und Hilfsmittel für die Messungen.

(1023) **Galvanometer.** In der Deutschen Reichspost ist das Universalmeßinstrument und das Differentialgalvanometer im Gebrauch.

a) Das Universalmeßinstrument (UMI) besteht aus einem Drehspulen-
Zeigerinstrument (164) hoher Empfindlichkeit (die Ablenkung aus der Skalen-
mitte nach einer der beiden
Endstellungen = 120 Teilstrichen erfordert 0,0006 A), welches wie das Siemenssche Uni-
versalgalvanometer mit einer
Meßbrücke verbunden ist, die
aus einem kreisförmig ausge-
spannten Meßdraht mit Lauf-
kontakt und mehreren festen
Vergleichswiderständen besteht.

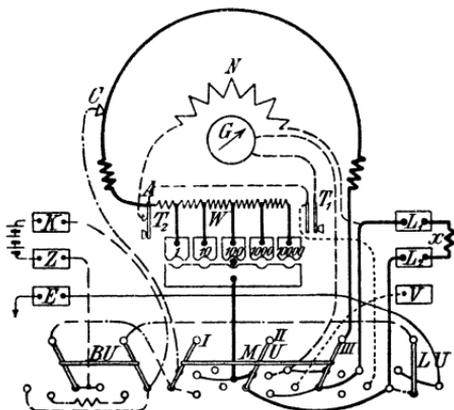


Abb. 571. Universalmeßinstrument.

b) Das benutzte Diffe-
rentialgalvanometer (165)
enthält feststehende Spulen und
eine Magnetonadel auf einer
Spitze. Die Empfindlichkeit in
der Nähe der Ruhelage ist an-
nähernd dieselbe wie diejenige
des Universalmeßsintruments.

c) Beide Instrumente wer-
den mit Schaltsystemen benutzt, welche im Universalmeßinstrument unmit-
telbar eingebaut, dem Differentialgalvanometer als Zusatzkasten beigegeben
werden. Sie bestehen aus Kurbelschaltern, durch deren Einstellung bestimmte
Meßschaltungen selbsttätig hervorgebracht werden.

Die Schaltung für das UMI (vgl. ETZ 1900, S. 538) ist in Abb. 571 schematisch dargestellt. Es bestehen drei unabhängige Kurbelsysteme. Die Doppelkurbel (*BU*) dient als Batterieumschalter, die dreifache Kurbel (*MU*) stellt in der äußersten Lage links die Brückenschaltung her, in der mittleren Lage die Schaltung für Isolationsmessung, in der äußersten Lage rechts ist das Galvanometer zur Ausführung von Strom- und Spannungsmessungen unter Zuhilfenahme eines Zusatzkastens bereit gestellt (197, 198). Die Einzelkurbel (*LU*) legt in der Endlage nach links den vierten Brückeneckpunkt und den einen Batteriepol an Erde, so daß in Verbindung mit einer der beiden Stellungen des Schalters *MU* Widerstands- und Isolationsmessungen an einer Einzeileitung mit Erde ausgeführt werden können; in der Mittellage entfernt *LU* die Erde vollständig aus dem Meßsystem, so daß die genannten Messungen an Doppelleitungen gemacht werden können; in der Endlage rechts legt *LU* einen Batteriepol allein an Erde und dient in Verbindung mit der Brückenschaltung zur Herstellung der Erdfehlerschleife. *BU* schaltet in der Mittellage die Batterie aus und ersetzt ihren Widerstand durch einen Drahtwiderstand; dies dient zur Einstellung auf den falschen Nullpunkt (1004, c).

Die Ablesung der Brückenmessungen geschieht infolge besonderer Einteilung der Skale des Meßdrahtes unmittelbar in Ohm; je nach dem verwendeten Vergleichswiderstand ist ein auf dem zugehörigen Stöpselklotz angegebener Zehnerfaktor zu berücksichtigen.

Für Strom- und Spannungsmessungen ist an Stelle der Leitungsweige ein besonderer Zusatzkasten an die Klemmen L_1 und V des UMI anzuschließen; die Leitungsweige werden dann an die Endklemmen des

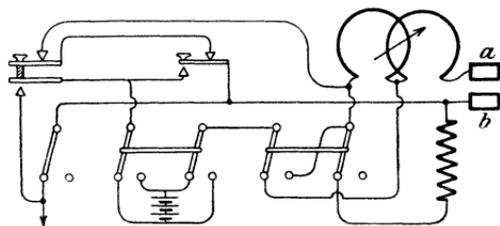


Abb. 572. Meßschaltung des Differentialgalvanometers.

Zusatzkastens angelegt. Im Zusatzkasten sind verschieden große Vorschaltwiderstände und Parallelwiderstände durch Einstecken eines Stöpsels in die entsprechenden Buchsen einschaltbar. Auf diese Weise können Stromstärken bis 0,3 A und Spannungen bis 140 V gemessen werden.

Die Schaltung des Zusatzkastens zum Differentialgalvanometer wird schematisch durch Abb. 572 dargestellt; in der wirklichen Ausführung sind die Umschalter und Tasten durch Hebelumschalter nach der in Vielfachumschaltern gebräuchlichen Art ersetzt worden. Auch bei dieser Einrichtung ist Polwechsel sowie Widerstands- und Isolationsmessung an Einzel- wie Doppelleitung in beliebiger Zusammenstellung, endlich die Erdfehlerschleifenmessung ausführbar. Der Doppelschalter rechts stellt in der einen Lage die Differentialschaltung, in der anderen die Isolationschaltung für direkte Ablenkung her. Die einfache Taste dient zum Schließen und Öffnen der Batterie, die doppelte für die Messung in der Erdfehlerschleife.

(1024) Messung des Leitungswiderstandes. a) Bei zwei Leitungen. Bei diesem besonders in der Fernsprechtechnik häufigen Falle mißt man zunächst den Widerstand der am Ende zur Schleife verbundenen Leitungen unter Ausschluß der Erde im Meßinstrument. Darauf läßt man die Verbindung der beiden Leitungen am fernen Ende erden und mißt die Doppelleitung nach der Methode der Erdfehlerschleife, indem man zweckmäßig die Messung unter Vertauschung der beiden Zweige wiederholt. Aus beiden Messungen zusammen ergibt sich der Widerstand jeder einzelnen Leitung.

Beim UMI ist folgende Formel anzuwenden:

Sind Zehnerfaktor und Einstellung des Schleifkontaktes

a) bei der Messung in isolierter Schleife N_1 und a_1 ,
 b) bei der Messung in der Erdfehlerschleife N_2 und a_2 ,
 so ist der Widerstand des an die Klemme L_2 angelegten Zweiges bis zur Erdungsstelle

$$l_2 = \frac{N_1 a_1 - N_2 a_2}{1 + \frac{1}{3} a_2}.$$

Hat man bei Benutzung des Differentialgalvanometers die Schleife mit dem Zweige l_1 an das Meßinstrument, mit dem Zweige l_2 an den Rheostaten angelegt, ferner bei Messung der isolierten Schleife auf den Widerstand R_1 abgeglichen, bei Messung in der Erdfehlerschleife auf den Widerstand R_2 , so ist

$$R_1 = l_1 + l_2, \quad R_2 + l_2 = l_1.$$

Daher ist also

$$l_1 = \frac{1}{2} (R_1 + R_2), \quad l_2 = \frac{1}{2} (R_1 - R_2).$$

b) Bei einer Einzelleitung. In der Meßeinrichtung werden sowohl der zweite Batteriepol als auch der Vergleichswiderstand an dem vom Galvanometer abgekehrten Ende geerdet; bei den beschriebenen Meßeinrichtungen geschieht dies unmittelbar durch Einstellung des zugehörigen Umschalters auf „Einzelleitung mit Erde“. Die zu messende Leitung wird am fernen Ende an Erde gelegt. Wegen der Polarisierung in den Erdleitungen ist die Messung mit beiden Polen auszuführen. Aus den Ergebnissen r_1 und r_2 mit beiden Polen erhält man den Näherungswert

$$l = \sqrt{r_1 r_2}.$$

(1025) Messung des Isolationswiderstandes. Zur Messung des Isolationswiderstandes wird die Leitung am fernen Ende isoliert. Die Meßeinrichtung wird derart geschaltet, daß die Batterie, die einpolig geerdet ist, durch das Galvanometer Strom in die Leitung sendet, welcher über die Stützen zur Erde zurückfließt. Will man die Isolation zweier Leitungen gegeneinander messen, so trennt man den einen Pol der Batterie von der Erdleitung und legt ihn an den Anfang der am fernen Ende ebenfalls isolierten Rückleitung. Bei den beschriebenen Meßeinrichtungen erfolgen diese Schaltungen selbsttätig, wenn man die Kurbeln auf die Stellungen „Isolationswiderstand“ und „Einzelleitung mit Erde“ im ersten Falle, oder „Doppelleitung“ im zweiten Falle bringt.

An Doppelleitungen hat man zu messen den Isolationswiderstand jeder Leitung gegen Erde und beider Leitungen gegeneinander.

Das Differentialgalvanometer bedarf einer Eichung der Gradteilung nach Widerständen für eine bestimmte Ablenkung. Es wird daher im allgemeinen in dieser Schaltung mehr zur Isolationsprüfung als zur absoluten Messung zu verwenden sein; man kann den Isolationswiderstand, wenn erforderlich unter Benutzung eines Nebenschlusses zu einer Galvanometerwicklung, auch wie einen Leitungswiderstand messen.

Die Berechnung des Isolationswiderstandes aus der Ablesung am Universalmeßinstrument erfordert die Feststellung der Empfindlichkeit. Dazu setzt man den Stöpsel des Vergleichswiderstandes auf 10000, stellt auf „Isolationswiderstand“ und „Doppelleitung“ und verbindet die Klemmen L_1 und L_2 , gegebenenfalls am Linienumschalter. Bei voller Empfindlichkeit erhält man alsdann bei 15 V Meßbatterie etwa 120, allgemein A Skalenteile. Ist bei Isolationsmessungen die Ablenkung, auf volle Empfindlichkeit berechnet, a , so ist der Isolationswiderstand

$$W_1 = \frac{A}{a} 30000 \text{ Ohm.}$$

Die Abstufung der Empfindlichkeit geschieht durch die Taste T_2 , welche in der Ruhelage durch den Nebenschluß N die Empfindlichkeit auf $\frac{1}{10}$ des Betrages bei der Arbeitslage herabsetzt.

(1026) **Kurbelmeßkasten** (Kafob-Apparat) der Norddeutschen Kabelwerke. Er dient hauptsächlich für Fehlerortsmessungen an Kabeln. Die Schaltung beruht auf der Wheatstoneschen Brücke. Außer dem auch beim UMI vorhandenen Schleifkontakt *I* auf dem Meßdraht *M* ist noch ein zweiter Schleifkontakt *II* vorhanden, mit dem der Meßdraht in seiner ganzen Länge veränderlich gemacht werden kann. Jeder Schleifkontakt wird durch eine Kurbel verschoben; mit jeder Kurbel ist ein Zählwerk verbunden, das die eingeschalteten Meßdrahtlängen durch Zahlen sichtbar macht. Durch einen Umschalter *U* mit vier Armen können vier verschiedene Meßverbindungen geschaltet werden. An die Klemmen *Ke* und *Ka* werden bei Widerstandsmessungen die Kabeldoppeladern angelegt, davon an *Ka* die fehlerhafte Ader. Bei Isolationsmessungen sind die beiden Klemmen „Isol“ zu benutzen. Es können auch Widerstände, Kapazitäten und Induktivitäten mit dem Apparat gemessen werden.

Bei Widerstandsmessungen wird *U* auf die Stellung 1 gestellt und zunächst der Schleifkontakt *II* mit der zugehörigen Kurbel *II* so weit verschoben, daß das damit verbundene Zählwerk *II* die doppelte, bekannte Länge der zu messenden Kabelader angeigt. Dann ist $a + b = 2l$, worin a und b die beiden durch die Stellung von Schleifkontakt *I* gekennzeichneten Teile des Meßdrahtes sind. Alsdann wird Schleifkontakt *I* mit der Kurbel *I* so verschoben, bis die Galvanometernadel auf Null steht. Dann ist $a = x$. a ist an dem Zählwerk *I* abzulesen.

Die schematische Schaltung zeigt Abb. 573.

Eine zweite Ausführung besitzt nur den Schleifkontakt *I* nebst Kurbel und Zahlwerk *I*; hier ist der Meßdraht nicht veränderlich, er ist dann 10000. Dann ist

$$x = \frac{2l \cdot a}{10000},$$

wobei a am Zählwerk *I* abgelesen wird.

Bei Stellung des Umschalters *U* auf 2 wird Batterie und Galvanometer vertauscht. Mittels Stellung 3 kann ein im Apparat eingebauter Summer in die eine, und ein ebenfalls vorhandener Fernhörer in die andere Brückendiagonale eingeschaltet werden.

Bei Isolationsmessungen ist die Stellung 4 des Umschalters einzunehmen; gleichzeitig sind die Leitungen von *Ka* und *Ke* an „Isol“ umzulegen.

Zu dem Kurbelmeßkasten gehört ein Zusatzapparat, der bei Bedarf als Ergänzung verwendbar ist; er enthält eine Verstärkerlampe mit den nötigen Hilfseinrichtungen und einen Doppelkopffernhörer. Mittels der angebrachten Umschalter kann das Galvanometer der Brückendiagonale aus- und dafür der Doppelkopffernhörer eingeschaltet werden; der im Kafobapparat angebrachte Summer ist einzuschalten und der Kopffernhörer auf geringste Tonstärke einzustellen. Dadurch werden Messungen bei großen Übergangswiderständen und sehr großen Kabellängen noch möglich.

Der Kurbelmeßkasten ist außerordentlich einfach zu handhaben und besonders für Messungen auf freier Strecke geeignet.

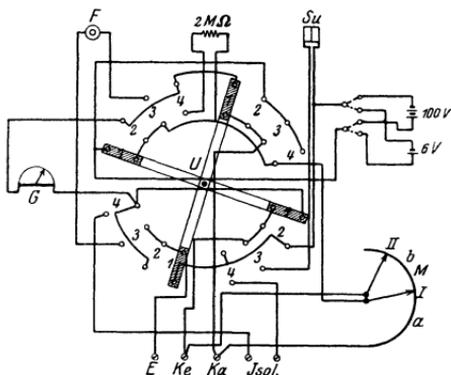


Abb. 573. Kurbelmeßkasten (Kafob)

(1027) Ausrechnung. Kelker ¹⁾ macht die mit dem Ausrechnen der Meßergebnisse verbundene Rechenarbeit fast ganz entbehrlich, indem er zu dem UMI noch einen veränderlichen Zusatzrheostaten zuschaltet und mit diesem noch eine Ausgleichmessung vornimmt.

Bei Schleifenberührung wird zunächst mit dem UMI der Schleifenwiderstand gemessen; $w_1 = 2x + f$, worin f den Übergangswiderstand an der Fehlerstelle bedeutet.

Hierauf wird unter Zuschalten des veränderlichen Zusatzrheostaten in den einen Zweig der Doppelleitung die Ausgleichmessung bei Erdung der Meßbatterie vorgenommen; dabei bleiben die beiden Brückenarme $a = b$ und der dritte Brückenarm wird $= 0$ gemacht. Dann ist $w_2 = f$, wenn die Nadel auf Null steht. Daraus ergibt sich $w_1 - w_2 = 2x$. Am fernen Amt ist bei beiden Messungen der eine Zweig zu erden und der andere zu isolieren.

Bei Nebenschließung sind die beiden Zweige am fernen Amt zur Schleife zu verbinden. Zuerst wird mit dem UMI wieder der Schleifenwiderstand gemessen. $w_1 = 2l$. Dann wird für die Ausgleichmessung wieder $a = b$ belassen, der

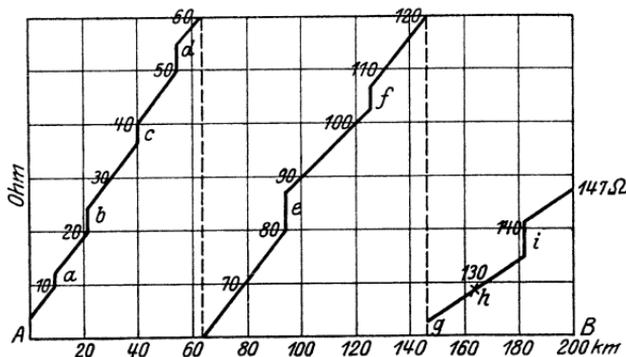


Abb. 574. Verlauf einer Leitung A—B.

dritte Brückenarm $= 0$ gemacht und der Zusatzrheostat eingeschaltet und so lange verändert, bis die Galvanometernadel wieder auf Null steht. Dann ist $w_2 = 2l - 2x$. Daraus ergibt sich $w_1 - w_2 = 2x$.

Die Meßmethode läßt sich auch für Messungen von Nebenschließungen in eindrähtigen Leitungen benutzen; es ist als zweiter Zweig dazu eine weitere eindrähtige Leitung nötig, deren Widerstand aber nebensächlich ist.

Um die Lage der der Fehlerstelle benachbarten Untersuchungsstellen sofort erkennen zu können, muß für jede Doppelleitung ein Verzeichnis der Normal-schleifenwiderstände vom Meßamt bis zu jeder Untersuchungsstelle angelegt sein.

(1028) Ohmmeter. In neuester Zeit werden in der DRP an Stelle des UMI und des Differentialgalvanometers Ohmmeter beschafft. Diese sind in die Prüfschränke, Klinkenumschalter usw. eingebaut und werden mit einer bestimmten Batteriespannung betrieben. Die Prüfschränke usw. sind so ausgestaltet, daß mit Hilfe von Klinken und Umschaltern jede notwendige Meßschaltung ohne Zeitverlust leicht hergestellt werden kann.

(1029) Graphische Hilfsmittel. Im praktischen Telegraphen- und Fernsprechbetrieb häufen sich oft die Störungen; es sind dann von den Störungsbeamten gleichzeitig in mehreren Leitungen Störungen in großer Eile einzuzugrenzen. Die Meßmethoden müssen daher für diese praktische Störungsbeseiti-

¹⁾ Telegraphen-Praxis 1924, Heft 11, 1925, Heft 16.

gung so einfach wie möglich sein, vor allen Dingen muß auch die Ausrechnung der Meßergebnisse und die rechnerische Ermittlung der Fehlerlage durch Hilfsmittel ersetzt oder erleichtert werden. Solche Hilfsmittel sind zunächst Verzeichnisse oder Karteien, auf denen für jede vorhandene Leitung der Normalwider-

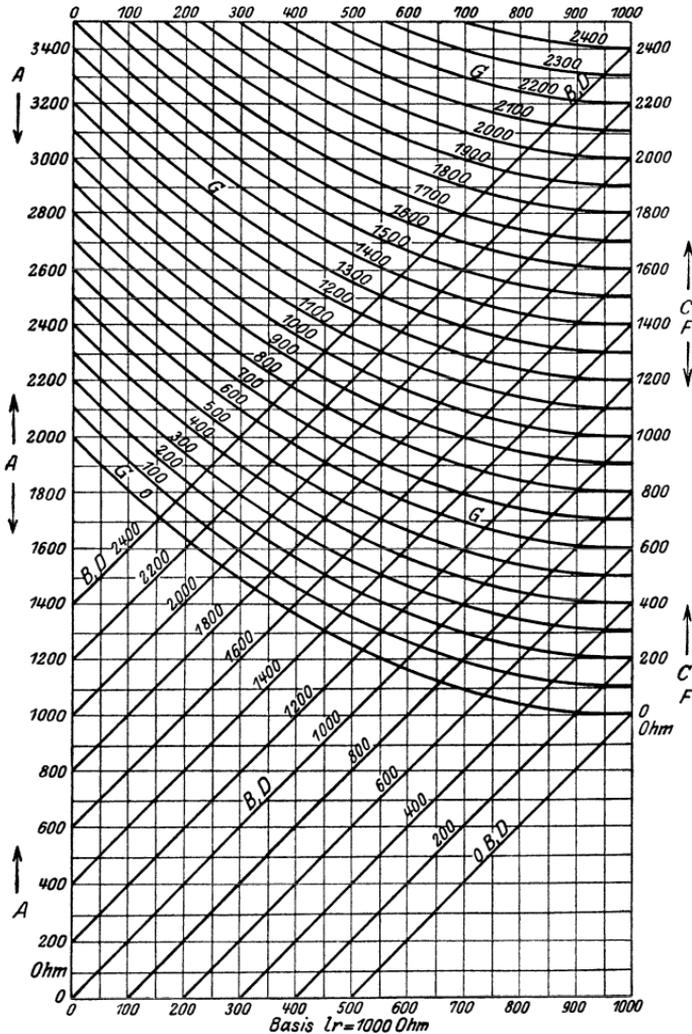


Abb. 575. Hauptstück der besonderen Schaulinientafeln.

stand vom Meßamt bis zu den einzelnen in die Leitungen eingeschalteten Untersuchungsstellen vermerkt ist. Es ist dann leicht zu ersehen, zwischen welchen Untersuchungsstellen die durch die Messungen ermittelte Fehlerlage zu suchen ist. Immerhin muß aber doch erst noch die Fehlerstrecke x aus den Meßergebnissen errechnet werden.

Ein weiteres Hilfsmittel bildet die Anwendung von Schaulinientafeln, in denen die Leitungen mit ihren Widerständen und Untersuchungsstellen eingezeichnet sind. Ist auf Grund der Messungen die Fehlerlage ausgerechnet, so läßt

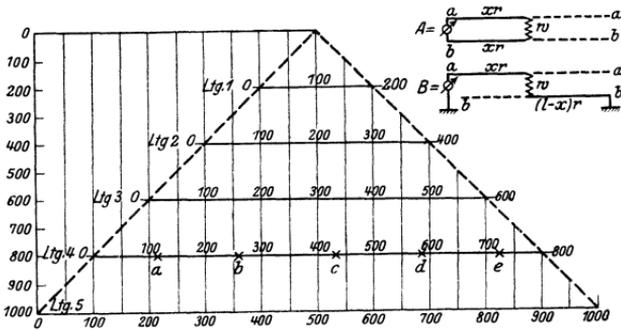


Abb. 576. Zusatzbild 1 für Schleifenberührung.

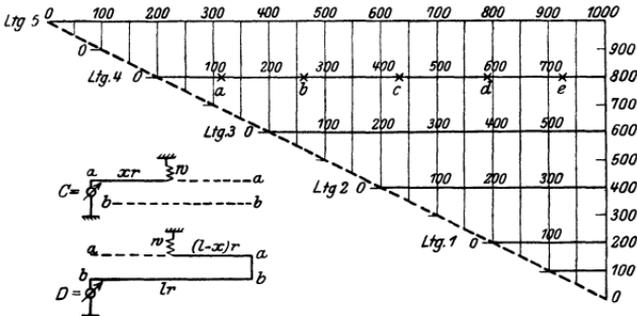


Abb. 577. Zusatzbild 2 für Nebenschließung.

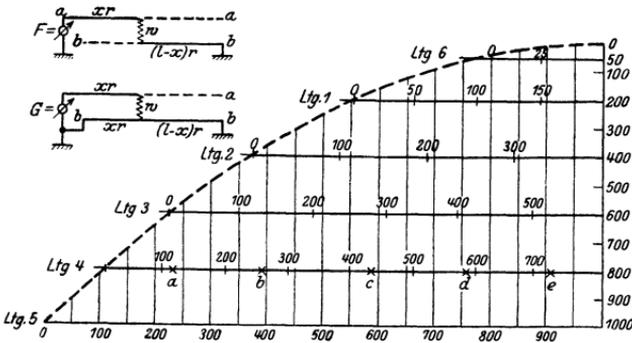


Abb. 578. Zusatzbild 3 für Schleifenberührung.

sich dann sofort ablesen, zwischen welchen Untersuchungsstellen der Fehler liegt. Ein Beispiel¹⁾ einer solchen Darstellung gibt Abb. 574; a bis i sind Untersuchungs-

¹⁾ Techn. Mitt. d. schweiz. Telegr.- u. Telephonverw. Jg. 2, Nr. 5 (1924).

stellen; bei ihnen sind Spulen oder dergl. eingeschaltet, h ist eine Untersuchungsstelle ohne Widerstand. A und B sind die beiden Endämter.

Das Ausrechnen der Fehlerstrecken wird durch besondere Schaulinientafeln¹⁾ gänzlich entbehrlich gemacht. Die Tafeln bestehen aus einem Hauptstück und drei Zusatzbildern (Abb. 575 bis 578). In dem Hauptstück, das für einen Gesamteinzelleitungswiderstand von 1000 Ohm bemessen ist, werden zunächst die Schnittpunkte der Meßlinien A bis G festgestellt und dann in den senkrecht über diesem Hauptstück befindlichen Zusatzbildern die Fehlerstellen an den Leitungslinien unmittelbar abgelesen. Zusatzbild 1 und 3 sind für Schleifenberührung, Zusatzbild 2 für Nebenschließung zu verwenden; die nötigen Meßschaltungen sind neben den Zusatzbildern angegeben; die Meßergebnisse A bis G bilden die Meßlinien A bis G im Hauptstück. In die drei Zusatzbilder sind als Beispiel vier Leitungen eingezeichnet, bei der Leitung 4 sind mit a bis e noch fünf Unter-

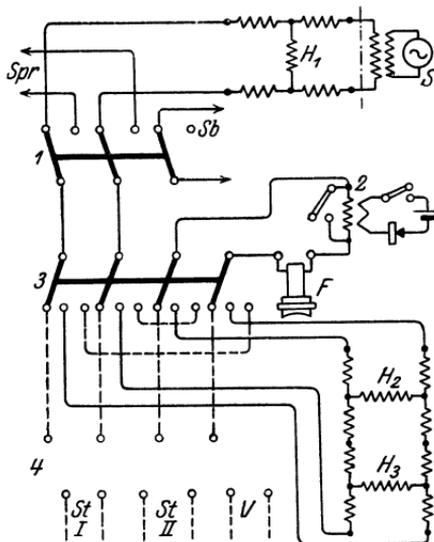


Abb. 579. Eicheinrichtung.

suchungsstellen eingefügt. Die Leitungslinien können auch außerhalb der Zusatzbilder in Leitungskarteien oder Verzeichnissen eingetragen werden; ihre Längen und ihre Lagen im Verhältnis zum Hauptstück werden dann nur an Hand der Zusatzbilder bemessen und diese Leitungslinien mit dem Maßstab der Basis des Hauptstückes versehen.

Durch diese Tafeln läßt sich bei Fernsprechdoppelleitungen in denkbar kürzester Zeit die Lage einer Schleifenberührung oder eines Nebenschlusses feststellen; zweckmäßig wird eine Gegenmessung auch vom fernen Amt aus vorgenommen.

(1030) Eicheinrichtung für Fernsprechvermittlungsstellen. Ihre grundsätzliche Schaltung geht aus Abb. 579 hervor. Sie wird benutzt, um den Grad des Mit- und Übersprechens in Sprechstromkreisen und die Dämpfung solcher Kreise zu ermitteln (1048). Die Messung beruht darauf, daß man mit dem Fernhörer F die Lautstärke des vom Summer S ausgehenden und über den zu

¹⁾ Fischer, Dr. R.: Tel.- u. Fernspr.-Techn. Jg. 13, S. 25 u. 219. 1924.

messenden Sprechstromkreis (Schalter 4) in den Fernhörer gelangenden Wechselstroms (Schalter 3 links) mit der Lautstärke vergleicht, die derselbe Wechselstrom beim Durchgang durch

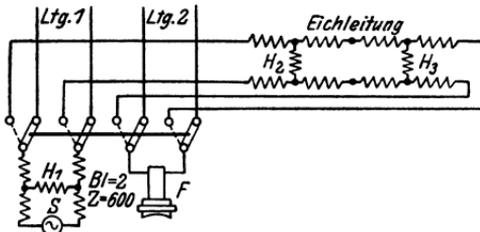


Abb. 580. Messung des Übersprechens zwischen 2 Fernleitungen.

beiden Stellungen des Umschalters gleich ist. Das Dämpfungsmaß in βI -Zahlen kann dann an der Eichleitung unmittelbar abgelesen werden.

ein regelbare künstliche Fernsprechleitung (Eichleitung) mit dem Wellenwiderstand von 600 Ohm (H_2 und H_3) aufweist (Schalter 3 rechts). Unter wiederholtem Hin- und Herschalten des Schalters 3 nach rechts und links ist die Einstellung der Eichleitung zu ermitteln, bei der die Lautstärke des Summers im Hörer F in

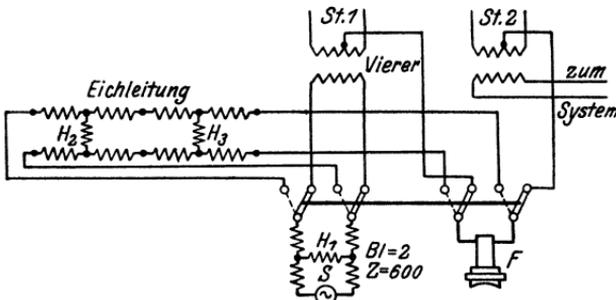


Abb. 581. Messung des Mitsprechens zwischen einer Stammleitung und dem Vierer.

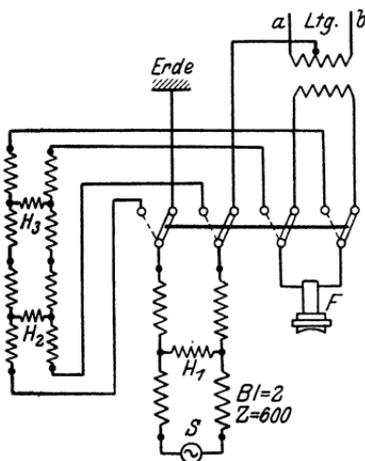


Abb. 582. Messung des Gleichgewichts zwischen den Zweigen einer Doppelleitung.

bei einer Maßzahl βI von wenigstens 5 Geräusche oder Laute von einem normalen Ohr als nicht mehr störend empfunden. Höhere Maßzahlen sind anzu-

Die Eicheinrichtung gestattet die in den Abb. 580 bis 584 dargestellten grundsätzlichen Meßschaltungen auszuführen, und zwar a) für das Übersprechen zwischen zwei Fernleitungen (Abb. 580), b) für das Mitsprechen zwischen einer Stammleitung und dem zugehörigen Vierer (Abb. 581), c) für die Ermittlung des Gleichgewichts zwischen den beiden Zweigen eines Sprechstromkreises (Doppelleitung, Vierer usw., Abb. 582), d) für die Dämpfungszahl einer Fernleitungsschleife (Abb. 583) und e) für das Dämpfungsmaß einer Fernamtseinrichtung (Abb. 584). Zu a, b und c geben die gefundenen Maßzahlen an, wie stark sich unerwünschte Störgeräusche auf den Leitungen (Übersprechen, Mitsprechen, Gleichgewichtsmangel) bemerkbar machen. Solche Geräusche stören um so weniger, je höher die für sie ermittelte Maßzahl liegt. Im allgemeinen werden

streben. Umgekehrt sollen bei den Dämpfungsmessungen zu d und e sich möglichst niedrige Werte ergeben. Für die Dämpfung einer Fernamtseinrichtung gilt als Regel, daß sich im allgemeinen β nicht um mehr als 0,15 bis 0,2 erhöht.

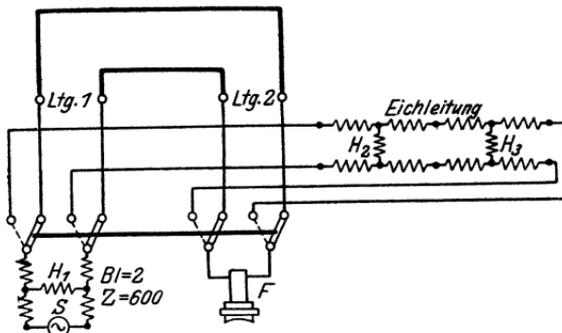


Abb. 583. Messung der Dämpfung einer Fernleitungsschleife.

Zur Messung der Dämpfungszahl einer Fernleitung sind zwei weitere Hilfsmeßleitungen erforderlich, so daß aus den drei Leitungen die drei Meßschleifen *Ltg 1*

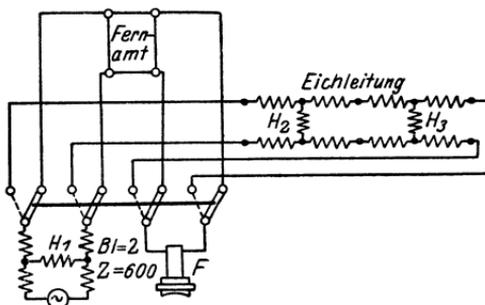


Abb. 584. Messung der Dämpfung einer Fernamtseinrichtung.

und 2, *Ltg 1* und 3 sowie *Ltg 2* und 3 gebildet werden können. Aus den gefundenen Dämpfungsergebnissen für die drei Schleifen ist in bekannter Weise die gesuchte Maßzahl zu errechnen.

Aufsuchen, Beseitigen und Verhüten von Betriebsstörungen.

(1031) **Aufsuchen der Fehlerstelle.** Bei jedem Auftreten einer Betriebsstörung¹⁾ ist zunächst festzustellen, ob sie innerhalb oder außerhalb der Amtseinrichtung liegt. Bei Störungen innerhalb der Amtseinrichtung läßt sich meistens ein Ersatzapparat einschalten, so daß der Betrieb sofort wieder aufgenommen werden kann. Bei Störungen außerhalb der Amtseinrichtung steht nicht immer eine freie Kabelader oder eine Freileitung für Ersatzzwecke zur Verfügung. Wenn die Art der Betriebsstörung es zuläßt, muß man sofort an die Fehler-

¹⁾ Vgl. auch Gram m: Störungsdienst bei der Reichs-Post- und Telegraphenverwaltung. München 1924.

ortsmessungen herangehen. Zweckmäßig wird von beiden Endämtern je eine Fehlerortsmessung vorgenommen. Solche Messungen haben den Vorzug größter Beschleunigung; man braucht dazu auch keine Zwischenämter und deren Personal in Anspruch zu nehmen und kann diese Messungen daher zu jeder Tages- und Nachtzeit ausführen. Bei Störungen in Freileitungen kann es sich empfehlen, bevor man die Beseitigung des so errechneten Fehlers und die Begehung der Störungsstrecke veranlaßt, noch eine Kontrollbeobachtung mit Hilfe der der errechneten Fehlerstelle zu beiden Seiten am nächsten gelegenen Untersuchungsstellen vorzunehmen, indem man diese bei Nebenschließung und Schleifenberührung die Leitung eine bestimmte kurze Zeit isolieren läßt. Läßt eine Betriebsstörung eine Fehlerortsmessung nicht zu, so kann die Fehlerstelle nur durch fortgesetztes Halbieren der Leitung und ihrer Teilstrecken mit Hilfe der Zwischenämter und Untersuchungsstellen festgestellt werden.

(1032) Untersuchungsstellen. Für die Zwecke solcher Fehlereingrenzung sind in die Freileitungen Untersuchungsstellen eingebaut, in der Weise, daß die fortlaufende Drahtleitung an einem der Stützpunkte unterbrochen ist und die beiden

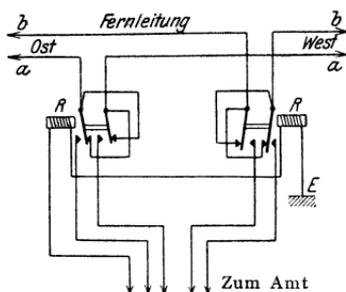


Abb. 585. Elektromagnetische Untersuchungsstellen.

Zweige nur durch eine Verbindungsklemme miteinander verbunden sind, so daß sich nach Lösen von Muttern auch eine Trennung dieser beiden Zweige oder eine Verbindung mit einer ebenfalls eingebauten Erdleitung vorübergehend vornehmen läßt. Man errichtet solche Untersuchungsstellen möglichst da, wo sie vom Telegraphenpersonal leicht und schnell erreicht werden können und wo es die Störungsmöglichkeit der Leitung erfordert.

Es läßt sich oft nicht vermeiden, daß solche Untersuchungsstellen in einiger Entfernung von Ämtern liegen und daher ihre Bedienung durch das Amtspersonal infolge der längeren Anmarschzeit zuviel Zeit in Anspruch nimmt. An solchen

Stellen errichtet man elektromagnetisch gesteuerte Untersuchungsstellen; zwischen Amt und Untersuchungsstellen sind Hilfsleitungen angelegt und an der Untersuchungsstelle Relais eingebaut; durch Betätigung vom Amt aus lassen sich dadurch in kürzester Frist die Fernleitungen in das Amt einschalten und hier isolieren, erden oder zum Betrieb benutzen (vgl. Abb. 585).

Die gewöhnlichen Untersuchungsstellen werden bedient durch das Störungssucherpersonal der benachbarten Ämter oder durch Ortseinwohner, die zu dem Zweck mit den nötigsten Handgriffen vertraut gemacht und mit dem erforderlichen Werkzeug versehen werden.

Kabelleitungen sind für Untersuchungszwecke nur in Ämter eingeführt und werden da über Kabelumschalter geführt, mit denen ebenfalls Meßverbindungen ausführbar sind. Auch Freileitungen sind häufig noch in Ämter eingeführt.

Jede Untersuchungsstelle in einer Leitung bedeutet eine Gefährdung des Betriebs, weil die Klemmenverbindungen, Relaiskontakte, Umschaltekontakte nicht dauernd zuverlässig sind. Man darf daher nicht über die unbedingt notwendige Anzahl von Untersuchungsstellen hinausgehen.

(1033) Die Beseitigung der Betriebsstörungen erfolgt durch das Störungssucherpersonal oder die besonders dazu ausgebildeten Ortseinwohner. Bei umfangreichen Störungen muß man die ständigen Telegraphenbaukolonnen heranziehen; in solchen Fällen versucht man zunächst, die Fehler vorläufig zu beseitigen und die Leitung vorläufig wieder in stand zu setzen, schaltet soweit wie möglich dazu auch Ersatzadern oder Ersatzleitungen ein. Alles Gewicht ist auf eine unverzügliche Wiederinbetriebnahme der Leitung zu legen. Damit die

Telegraphenbaukolonnen für solche schwierigeren Störungsbeseitigungen schnell zur Stelle gerufen werden können, müssen die Ämter und Bezirksbehörden jederzeit über ihren Standort unterrichtet sein.

(1034) Die Verhütung von Betriebsstörungen muß mit besonderer Sorgfalt gepflegt werden. Die Telegraphenbaukolonnen können oft Betriebsstörungen nicht ganz vermeiden, wenn sie Instandsetzungs- oder andere Arbeiten an den Linien und Leitungen ausführen; sie müssen aber alle Verhütungsmaßnahmen treffen, Ersatzstrecken einschalten, die Baustrecken sorgfältig aufräumen u. dgl. Die Linien sind jährlich ein- oder zweimal durch Baukolonnen instand zu setzen, dabei sind sie gründlich von hereinwachsenden Ästen zu säubern, es sind Zersetzungen an Holzstangen, an eisernen Stützpunkten, am Drahtmaterial zu beseitigen, die Drahtleitungen sind in ihrem Durchhang zu regulieren u. dgl. Besonders bei Kabelleitungen führen auch regelmäßige Messungen des Leitungswiderstandes, des Isolationswiderstandes und der Kapazität zum rechtzeitigen Erkennen von Fehlerquellen. Auch eine statistische Zusammenstellung der beobachteten und eingetretenen Störungen kann dazu führen, daß Gefahrenpunkte einer Leitung bekannt werden. Von großer Wichtigkeit ist auch, daß das Interesse des Störungspersonals an dem guten und fehlerfreien Zustand der Leitungen geweckt und erhalten wird; zu dem Zwecke bildet man Bezirke kleineren Umfangs und läßt soweit wie möglich alle darin auftretenden Störungen allein durch den Verwalter des Bezirks beseitigen; dieser lernt dadurch alle Einzelheiten seines Bezirks kennen und ist für alle Unregelmäßigkeiten verantwortlich.

(1035) Meßgeräte. Der Kurbelmeßkasten (Kafob) der Norddeutschen Kabelwerke nebst dem Zusatzapparat (1026) ist auch als Kabelsuchgerät und als Fehlersuchgerät ausgebildet. Er ist zu dem Zweck noch mit einer zusammenklappbaren Rahmenantenne ausgerüstet. In das Kabel, das gesucht werden soll, wird von einem Endamt aus ein kräftiger Summertone hineingesandt. Dieser Ton ist im Doppelkopffernhörer des Zusatzapparates hörbar, solange die Fläche der Rahmenantenne in der Kabelrichtung geführt wird. Dadurch läßt sich die Lage eines Kabels genau ermitteln.

Auch die ungefähre Lage eines Kabelfehlers läßt sich damit feststellen, wenn alle übrigen Meßmethoden versagen (sämtliche Adern durchschlagen oder Erdschluß oder dgl.). Die Verwendung der Meßeinrichtung ist ähnlich wie oben; der Summertone wird in der Nähe der Fehlerstelle meistens verschwinden.

Ein Kabelsuchgerät der Firma C. Lorenz verfolgt den gleichen Zweck. Es besteht aus einem Sender (Summer mit Uhrwerk und Kontaktscheibe nebst Hilfseinrichtungen), einem Empfänger (3-Röhrenverstärker, Kopffernhörer nebst Zusatzeinrichtungen), einem Empfangsrahmen (zusammenklappbar, mit Spule). Der Summer wird an das Kabel angeschlossen, dessen Lage gesucht werden soll; die Kontaktscheibe läßt den Summertone im Takte bestimmter Morsezeichen in das Kabel gelangen. Mit dem Empfangsrahmen und dem Kopffernhörer ist der Summertone um so lauter zu hören, je näher man sich dem gesuchten Kabel befindet. Liegen an einer Stelle mehrere Kabel dicht aufeinander, so kann man aus der Masse der Kabel das gesuchte herausfinden, wenn man einen zu diesem Zweck besonders ausgebildeten kleinen Empfangsrahmen auf die einzelnen Kabel der Reihe nach unmittelbar auflegt; das richtige Kabel ergibt die größte Lautstärke. Die Norddeutschen Kabelwerke (vgl. oben) verwenden für diesen Zweck statt des kleinen Rahmens einen Greifer, den man an die einzelnen Kabel anlegt.

Zum Aufsuchen und Feststellen von Fehlern in Kabeln auf freier Strecke verwendet die Reichs-Telegraphenverwaltung transportable Meßeinrichtungen; diese entsprechen in der Hauptsache den ortsfesten Kabelmeßeinrichtungen (1007), sind aber zur besseren Handhabung auf der freien Strecke in besondere Kabelmeßwagen zusammenggebaut.

Die Firma Siemens & Halske hat auch eine tragbare Kabelmeßeinrichtung ausgebildet, die leicht zu handhaben und auch auf freier Strecke gut verwendbar ist. In einem Kasten sind die Meßgeräte, in einem zweiten die Batterien

untergebracht; beide Kästen sind durch ansteckbare Beine als Tische zu verwenden. Sie lassen Widerstands-, Isolations-, Kapazitäts- und Fehlerortsmessungen zu. Bei Fehlerortsmessungen wird der Spannungsabfall festgestellt, und zwar in zwei nacheinander erfolgenden Messungen von je einem Ende aus, wobei noch eine Hilfsleitung zum fernen Ende nötig ist. Es verhalten sich dann die beiden Galvanometerausschläge $a_1 : a_2 = l_1 : l_2$, wobei l_1 und l_2 die beiden durch den Nebenschluß gebildeten Teilstrecken der untersuchten Leitung sind. $l_1 + l_2$ sind bekannt. Zu diesen Kabelmeßschaltungen gibt es noch als Ergänzung eine Stöpselmeßbrücke, die nach der Wheatstoneschen Brücke geschaltet ist und mit der der Meßbereich erweitert werden kann.

(1036) Gleichgewichtsstörungen. Bei störenden Lautübertragungen ist festzustellen, ob die beeinflusste Fernsprechleitung Fehler aufweist oder ob der vorhandene Induktionsschutz (1387) unzureichend ist. Da Kontaktfehler (schlechte Lötstellen, lose Schrauben usw.) bei stärkerem Stromdurchgang leicht vorübergehend verschwinden, sind zum Messen mit Gleichstrom zunächst schwache Batterien (höchstens 1,5 V), dann erst größere Batterien (etwa 16 V) zu verwenden. Erhebliche Unterschiede in den Meßergebnissen deuten auf Kontaktfehler hin. Vor der Messung mit kleiner Batterie ist die Leitung 10 Minuten lang

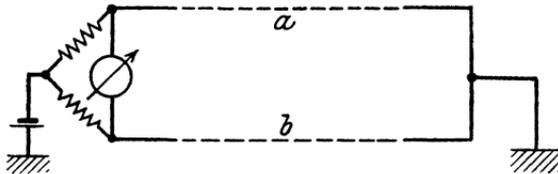


Abb. 586. Gleichgewichtsprüfung.

stromfrei zu halten. Da Kontaktfehler bei mangelhaftem Isolationswiderstand oft nicht in die Erscheinung treten, muß auch der Isolationswiderstand beider Schleifendrähte gegen Erde und gegeneinander (mit großer Batterie) geprüft werden. Isolationsmängel sind vor Wiederholung der Messungen zu beseitigen. Mangelhaftes Gleichgewicht der beiden Leitungsdrähte kann mit dem Universalmeßinstrument durch Gleichstrommessung nach Abb. 586 festgestellt werden.

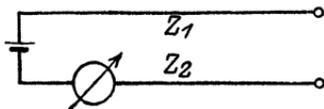


Abb. 587. Einrichtung zum Aufsuchen von Verbindungsfehlern.

Liegen keine Isolations- und Kontaktfehler vor, so weist mangelhaftes Gleichgewicht auf Unterschiede in den Drahtwiderständen hin. Solche Unterschiede sind im allgemeinen für die Verständigung ohne Bedeutung, sofern sie auf der Freileitung liegen; dagegen wirken sie leicht schädlich, wenn sie durch fehlerhafte Feinsicherungen hervorgerufen werden. Kontaktfehler lassen sich besser und sicherer durch Wechselstromprüfungen eingrenzen. Hierzu dient die Eicheinrichtung in der Schaltung nach Abb. 582 (1030). Mit ihr erhält man ein Maß in βI -Werten für die Stärke der Störungen im Empfangsapparat, die auf mangelhaftes Gleichgewicht in den beiden Leitungszweigen zurückzuführen sind. Ist die ermittelte βI -Zahl kleiner als 4,5, so reicht das Gleichgewicht der Schleifenzweige für den Betrieb nicht aus. Die Fehler sind weiter mit der Eicheinrichtung durch Unterteilung der fehlerhaften Strecke einzugrenzen. Zur Auffindung der Kontaktfehler auf der Strecke dient ein Spannungsmesser mit einem Trockenelement nach Abb. 587. Werden die Zuführungsdrähte Z_1 und Z_2 beiderseits einer zu prüfenden Verbindungsstelle (Lötstelle, Untersuchungsklemme usw.) angelegt, so ist der Ausschlag des Meßinstrumentes, wenn kein Kontaktfehler vorliegt, ebenso groß wie bei unmittelbarer Berührung der Drähte Z_1 und Z_2 , sonst kleiner. Besteht in Leitungen, die frei von Isola-

tions- und Kontaktfehlern sind und gutes Gleichgewicht aufweisen, noch störende Lautübertragung aus anderen Leitungen, so ist der vorhandene Induktionsschutz nicht ausreichend; er muß durch planmäßigen Einbau weiterer Kreuzungen und Platzwechsel mit kleinerem Abstand wirksamer gestaltet werden.

Messungen mit Sprachfrequenz.

(1037) Allgemeine Regeln.

1. Sinusstrom verwenden (Reinigungsschaltungen, Siebketten);
2. Erdsymmetrische Spannungen verwenden. Hierzu Übertrager einschalten, deren Sekundärwicklungen gegen Erde kapazitiv symmetrisch und gegen Primärwicklung statisch abgeschirmt sind;
3. Zuleitungen von der Stromquelle zur Meßanordnung und von dieser zum Nullinstrument verdrillt führen in geerdeten Hüllen (zweiadriges Bleikabel, bei beweglichen Leitungen metallenen Gasschlauch überschieben) und möglichst senkrecht zu der Meßanordnung;
4. alle überflüssigen Metallteile in der Nähe der Meßanordnung vermeiden;
5. möglichst wenig Schalter und Isolierteile innerhalb der Meßanordnung einbauen;
6. Brückeneckpunkte nahe beieinander im Viereck anordnen, parallele (blanke) Leitungen zu den Brückenzweigen;
7. Erdkapazitäten festlegen durch Verwendung geerdeter Hüllen (in gewissen Fällen, wo es auf besondere Kleinheit der Erdkapazitäten ankommt, kann es allerdings besser sein, keine geerdeten Hüllen zu verwenden);
8. bei Selbstinduktionen Hüllen unterteilen, um Wirbelströme zu vermeiden;
9. einen Punkt der Meßanordnung erden; Wahl dieses Punktes mit Rücksicht auf vorhandene Erdkapazitäten sehr wichtig, damit keine Erdströme die Messung fälschen;
10. Fernhörer so anordnen, daß seine Potentialdifferenz gegen Erde möglichst klein ist, isoliert anfassen.

Brückenmethoden.

(1038) **Teilkapazitäten und Verlustwinkel.** Die betriebsmäßige Kapazität einer Doppelleitung setzt sich aus den Teilkapazitäten Ader gegen Ader und aus den Adern gegen Mantel zusammen; ähnliche Verhältnisse sind fast stets bei Kapazitäten vorhanden. Es ist häufig wünschenswert, die Teilkapazitäten einzeln zu kennen; die Betriebskapazität ist nicht strengdefiniert (vgl. Jordan, H.: ETZ 1922, S. 10), deswegen werden auch Verlustwinkelmessungen am besten an Teilkapazitäten ausgeführt. Schaltung nach Abb. 588, Wiensche Brücke mit Wagnerschem Hilfszweig. Durch Abgleich des Hilfszweiges C' , R' , w' wird der Fernhörer T' auf das Potential Null gebracht. Dann sind die Teilkapazitäten c_2 und c_3 unwirksam, da ihr gemeinsamer Punkt auch an Erde gelegt ist. $c_1 = C w_2 / w_1$, $\text{tg } \delta = R \omega C$. Während der Einstellung der Hauptbrücke wird der Schalter s geöffnet, um Erdströme

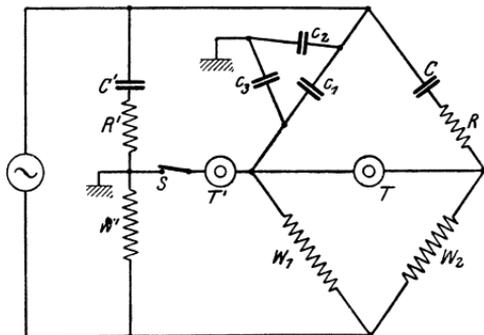


Abb. 588. Messung von Teilkapazitäten.

zu unterdrücken. Es muß mehrfach zwischen den Fernhörern T und T' gewechselt werden; um durch die Einstellung der Hauptbrücke die der Hilfsbrücke möglichst wenig zu beeinflussen, soll der Strom in der Hilfsbrücke groß gegen den der Hauptbrücke sein, also $C' > C$, $R' < R$, $w' < w$. Für die Hilfsbrücke können Apparate einfachster Art verwendet werden, da es auf ihre Genauigkeit nicht ankommt, sie müssen nur fein regulierbar sein (Schleifdrähte). Dagegen sind die Apparate der Hauptbrücke sorgfältig auszuwählen, besonders bei genauen Messungen von Verlustwinkeln. Die Widerstände sollen möglichst kleinen Phasenwinkel haben, die Einstellung muß mit langen Griffen geschehen, weil die Annäherung der Hand schwankende Erdkapazitäten hervorruft. Die Ableitung des Normalkondensators C muß bekannt und möglichst konstant sein (geeichte Glimmerkondensatoren, am besten verlustfreie Luftkondensatoren; (sog. technische Drehkondensatoren sind nur mit Vorsicht zu benutzen). Brückenverhältnis 1:1; bei ungleichem Brückenverhältnis Substitutionsmethode zur Beseitigung der Brückenfehler, d. h. nach Einstellung wird c_1 durch einstellbaren Normalkondensator ersetzt. (Wagner, K. W.: ETZ 1912, S. 635. — Giebe und Zickner: Arch. Elektrot. Bd. 11, S. 109. — Meyer, U.: Fernmeldetechn. 1923, S. 1.)

(1039) Betriebskapazitäten von Kabeln. Die Schwierigkeit der Aufgabe beruht darauf, daß über die Potentialdifferenz der Meßanordnung gegen Erde nicht wie sonst durch Erdung eines geeigneten Punktes frei verfügt werden kann, da der Kabelmantel schon geerdet ist oder zum mindesten (bei aufgetrommelten Kabeln) schlechte Isolation gegen Erde hat. Im letzteren Fall kann der Mantel mittelst eines Hilfszweiges nach Art des Wagnerschen auf Erdpotential gebracht werden, dann fließt kein Strom mehr zur Erde ab und die Einstellung der Brücke liefert ein brauchbares Ergebnis (F. Fischer, H. Jordan). Bei verlegten Kabeln, bei denen der Mantel unmittelbar geerdet ist, müssen umgekehrt die Erdkapazitäten der Stromquelle ausgeglichen werden, um Fehler durch Erdströme zu vermeiden, da der Kabelmantel symmetrisch gegen die Adern liegt, ist es am besten, die ganze Anordnung symmetrisch zur Erde zu machen, also auch die Stromquelle. Vgl. (213), Abb. 84a, 84b. (Fischer, F.: Tel.- u. Fernspr.-Techn. 1921, S. 137. — Jordan, H.: ETZ 1922, S. 10. — Küpfmüller, K. u. Thomas, P.: ETZ 1922, S. 461. — Meyer, U.: ETZ 1923, S. 779.) Vgl. auch Kühle: Schaltung, S. 227, Abb. 602.

(1040) Selbstinduktivitäten und Widerstände. Vgl. (208), S. 158. Es wird sowohl die Wiensche Brücke, Abb. 76, bei der die Selbstinduktivität mit einer Normalspule verglichen wird, als auch die Maxwellbrücke, Abb. 77, in der eine Kapazität zum Abgleich dient, benutzt; je nach den zu messenden Größen ist die eine oder andere brauchbarer. (Noch sehr viele abgeänderte Schaltungen sind besonders von englischer Seite vorgeschlagen worden; vgl. Hague, B.: Alternating Current Bridge Methods. London 1923.)

Neben dem Wert der Selbstinduktivität selbst ist in den meisten Fällen auch die Größe des Wirkwiderstandes, der infolge von Eisenverlusten, Wirbelströmen, Hautwirkung usw. vom Gleichstromwiderstand abweicht, von Bedeutung. Um hierbei richtige Ergebnisse zu erhalten, muß auf den Brückenaufbau besondere Sorgfalt verwandt werden. Insbesondere muß der Widerstand der Vergleichsspule, die aus Kupfer besteht und daher temperaturabhängig ist, berücksichtigt werden; am besten ist es, die Brücke selbst auch für Gleichstrommessungen einzurichten. Beispiel Abb. 589. Die Brückenarme w_1 und w_2 bestehen aus parallel gespannten Drähten; sowohl dem Variometer V wie der zu messenden Spule X ist ein Präzisionswiderstand R_1 und R_2 vorgeschaltet. Statt des Telefons T kann ein Galvanometer G eingeschaltet werden, während zugleich von der Wechselstromquelle M auf Gleichspannung B übergegangen wird; da X durch K kurzgeschlossen werden kann, läßt sich sowohl der Gleichstromwiderstand, wie auch der Wirkwiderstand von X unter Berücksichtigung des Widerstandes von V in derselben Anordnung messen (Wagnersche Hilfsbrücke und Schutzhüllen sind

in dem Schaltungsplan der besseren Übersichtlichkeit halber fortgelassen). Eine derartige Schaltung ist für genaue Messungen von Pupinspulen u. ähnl. gut geeignet; für die Kontrollmessungen in der Fabrik kann man einfachere Schaltungen benutzen, wie sie z. B. von Felten & Guillaume Carlswerk, Siemens & Halske, Hartmann & Braun fertig geliefert werden.

Bei Messungen von Krarupleitungen kommt es darauf an, sehr kleine Selbstinduktivitäten und Wirkwiderstände genau zu messen, da häufig sehr kurze Lei-

tungsstücke zu untersuchen sind. Es hat sich dafür eine Schaltung nach Abb. 590 bewährt (Meyer, U.: ENT 1924, S. 29), sie beruht auf der Maxwellbrücke, ist aber so ausgestaltet, daß auch bei kleinen Stromstärken eine hohe Meßgenauigkeit erzielt wird. U_1 ist ein Übertrager, der die Erdkapazitäten der Stromquelle unwirksam machen soll, P ein Potentiometer zur Einstellung der gewünschten Stromstärke I , die mit dem Ampèremeter A gemessen wird. Die zu mes-

sende Leitung L wird als parallele Schleife mit gleichbleibendem Aderabstand ausgespannt; sie kann auch in ein Rohr eingelegt werden, das als Rückleitung dient; längere Leitungsstücke werden am besten auf eine große Holztrommel einlagig parallel zu einer als Rückleitung dienenden blanken Leitung aufgewickelt. Der Abstand der Windungen darf nicht zu klein gemacht werden, damit die Windungskapazität und Ableitung, die allerdings als

Korrektion bei der Auswertung der Meßergebnisse berücksichtigt werden kann, gering bleibt. Der Widerstand w_2 wird klein, von der Größenordnung des Widerstandes der Leitung gemacht, während der Widerstand w_3 so bemessen wird, daß die Kapazität K und der Widerstand w_4 gut herzustellende Werte erhalten; wenn z. B. ein Glimmerkondensator von $1 \mu F$ mit $0,001 \mu F$ Stufen (mit parallel geschaltetem Drehkondensator) benutzt wird, empfiehlt es sich, die Kapazität zwischen $0,5$ und $1 \mu F$ zu halten. Der Übertrager U_2 dient zur Anpassung des Nullinstrumentes T , Fernhörer oder bei niedrigen Frequenzen Vibrationsgalvanometer. Für die Selbstinduktion L , den Wirkwiderstand R und den in der Leitung I_L fließenden Strom gelten die Formeln:

$$L = w_2 w_3 K \quad R = \frac{w_2 w_3}{w_4} \quad I_L = I : \sqrt{\left(1 + \frac{w_3}{w_4}\right)^2 + (\omega_3 \omega K)^2}.$$

Bei Messung aller eisenhaltigen Selbstinduktivitäten ist stets die im Meßobjekt fließende Stromstärke festzustellen, da sowohl die Permeabilität, wie auch

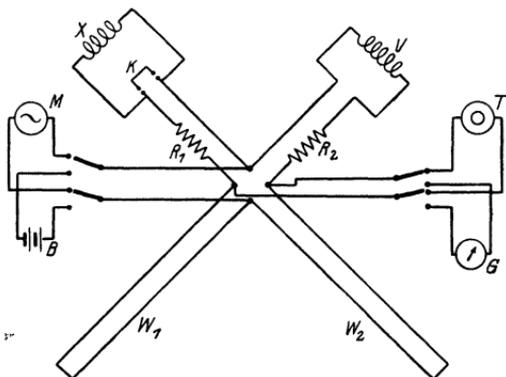


Abb. 589. Selbstinduktionsbrücke.

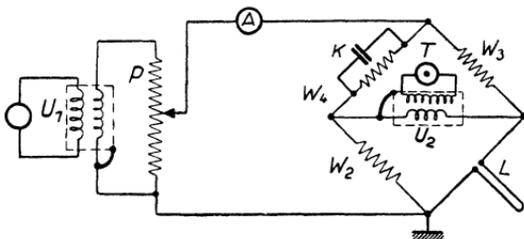


Abb. 590. Maxwellbrücke nach U. Meyer.

die Hystereverluste und damit die Selbstinduktivität und der Wirkwiderstand vom Strom abhängen. Es kann entweder wie oben angegeben der Brückenstrom gemessen werden, oder es kann ein Meßinstrument mit konstantem, rein Ohmschen Widerstand (Duddelsches Thermogalvanometer) unmittelbar vor das Meßobjekt in den Brückenweig gelegt werden.

Wenn, wie es häufig der Fall ist, Blind- und Wirkwiderstand von gleicher Größenordnung sind, empfiehlt es sich, die beiden für den Abgleich einzustellenden Größen in demselben Brückenweig zu wählen, da sonst leicht auf ein falsches Minimum eingestellt wird, weil die Einstellung in einem Brückenweig die Einstellung im andern wieder umwirft.

(1041) Kapazitive Kopplungen im Vierer und kapazitive Erdkopplungen.

Die Messung der für das kapazitive Nebensprechen verantwortlichen Ungleichheiten der Teilkapazitäten spielt wegen der Beurteilung der Störungsfreiheit bei Kabeln eine große Rolle. Seien ganz allgemein die Teilkapazitäten eines

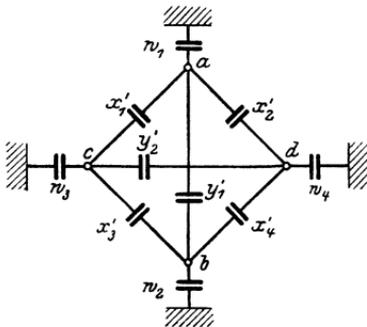


Abb. 591. Schema der Teilkapazitäten.

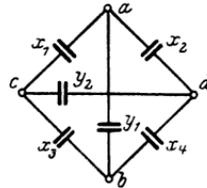


Abb. 592. Schema der Teilkapazitäten vereinfacht.

Vierers nach Abb. 591 mit x' bzw. w bzw. y' benannt, so läßt sich dieses Schema nach Küpfmüller (Arch. Elektrot. Bd. 12, 162) umformen in das Schema der Abb. 592, worin bedeuten:

$$x_1 = x'_1 + \frac{w_1 w_3}{\Sigma w} \quad x_4 = x'_4 + \frac{w_2 w_4}{\Sigma w}$$

$$x_2 = x'_2 + \frac{w_1 w_4}{\Sigma w} \quad y_1 = y'_1 + \frac{w_1 w_2}{\Sigma w}$$

$$x_3 = x'_3 + \frac{w_2 w_3}{\Sigma w} \quad y_2 = y'_2 + \frac{w_3 w_4}{\Sigma w}$$

$$\Sigma w = w_1 + w_2 + w_3 + w_4.$$

Das kapazitive Übersprechen (Nebensprechen zwischen Stamm und Stamm) ist bedingt durch die Größe:

$$k_1 = x_1 - x_2 - x_3 + x_4 - \frac{(x_1 + x_2 - x_3 - x_4)(x_1 + x_3 - x_2 - x_4)}{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}$$

und das kapazitive Mitsprechen (Nebensprechen zwischen Vierer und einem seiner Stämme) durch:

$$k_2 = x_1 + x_2 - x_3 - x_4 \text{ für Stamm I./Vierer}$$

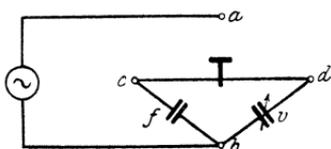
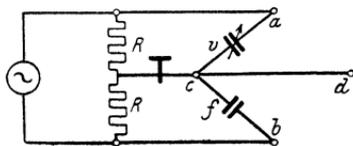
und

$$k_3 = x_1 + x_3 - x_2 - x_4 \text{ für Stamm II./Vierer}$$

(s. Küpfmüller a. a. O.).

k_2 bzw. k_3 werden nach der älteren Arbeit von Pollock (Post Off. El. Eng. Journ. April 1914, S. 41) auch noch als $p + q$ bzw. $r + s$ bezeichnet; k_1 ist angenähert gleich dem $p - q$ bei Pollock (genau ist $p - q = x_1 - x_2 - x_3 + x_4$).

Die Bedingungen für das Verschwinden des kapazitiven Übersprechens bzw. des Mitsprechens zwischen Stamm I und Vierer bzw. des Mitsprechens zwischen Stamm II und Vierer sind: $k_1 = 0$ bzw. $k_2 = 0$ bzw. $k_3 = 0$.

Abb. 593. Messung von k_1 .Abb. 594. Messung von k_2 .

Zur Messung der drei Kopplungsgrößen bedient man sich der Brückenmethode.

1. Messung von k_1 (Abb. 593): f ist ein fester, v ein veränderbarer Luftkondensator. Werden an die mit a bis d bezeichneten Klemmen die entsprechenden Adern des Vierers angeschaltet, so lautet die Gleichgewichtsbedingung der Brücke:

$$x_1(x_4 + v) = x_2(x_3 + f) \quad \text{oder}$$

$$x_1 - x_2 - x_3 + x_4 = (f - v) \frac{x_2}{x_4 + v} + (x_3 - x_4) \left(\frac{x_2}{x_4 + v} - 1 \right) \approx f - v,$$

d. h. die Anordnung mißt $p - q \approx k_1$ hinreichend genau, wenn v und die Teilkapazitätsdifferenzen klein gegen die Teilkapazitäten selbst sind und wenn die Anordnung selbst außer f und v keine wesentlichen Kapazitäten enthält.

2. Messung von k_2 (Abb. 594): Für die Messung von k_2 werden x_1, x_2 und v einerseits und x_3, x_4 und f andererseits parallel gelegt und als Brückenverhältnis 2 gleiche winkelfreie Widerstände gewählt. Gleichgewicht herrscht, wenn:

$$f + x_3 + x_4 = v + x_1 + x_2 \quad \text{oder}$$

$$f - v = x_1 + x_2 - x_3 - x_4 = k_2.$$

3. Messung von k_3 (Abb. 595): Ebenso gilt für k_3 , daß nach Abgleichung der Brücke:

$$f + x_2 + x_4 = v + x_1 + x_3 \quad \text{oder}$$

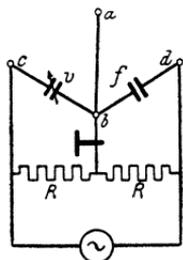
$$f - v = x_1 + x_3 - x_2 - x_4 = k_3.$$

Für die Messung von k_2 und k_3 gilt die gleiche Forderung wie bei der Messung von k_1 , daß die Meßanordnung außer f und v keine wesentlichen Kapazitäten enthalten darf. Die Zusatzkondensatoren f und v wird man praktisch so wählen, daß f gleich dem mittleren Wert von v wird, um lästiges Umschalten zu vermeiden, da ja die k positiv und negativ sein können.

Wie Ungleichheiten der Teilkapazitäten im Vierer Störungen der Sprechkreise des Vierers verursachen, so rufen Ungleichheiten der Erdkapazitäten Störungen auf die Sprechkreise des Vierers hervor, wenn außerhalb des Kabels durch Starkstromanlagen Spannungsschwankungen gegen Erde auftreten.

Für die Störungsfreiheit des Stammes I gilt die Bedingung: $w_1 - w_2 = 0$, entsprechend gilt für Stamm II: $w_3 - w_4 = 0$ und für den Viererkreis: $(w_1 + w_2) - (w_3 + w_4) = 0$.

Zur Feststellung der Kopplungsgrößen $(w_1 - w_2)$ und $(w_3 - w_4)$ mißt man praktischerweise die Summe und die Differenz der beiden Größen und berechnet hieraus die Einzelgrößen.

Abb. 595. Messung von k_3 .

Die Messung von $(w_1 - w_2) + (w_3 - w_4)$ geschieht nach Abb. 596. Nach Abgleich ist:

$$\begin{aligned} f + w_2 + w_4 &= v + w_1 + w_3 \quad \text{oder} \\ f - v &= (w_1 - w_2) + (w_3 - w_4). \end{aligned}$$

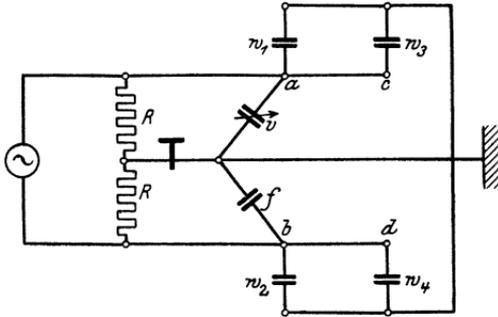


Abb. 596. Messung von $(w_1 - w_2) + (w_3 - w_4)$.

Für die Messung von $(w_1 - w_2) - (w_3 - w_4)$ schaltet man nach Abb. 597. Dabei ist nach Abgleich:

$$\begin{aligned} f + w_2 + w_3 &= v + w_1 + w_4 \quad \text{oder} \\ f - v &= (w_1 - w_2) - (w_3 - w_4). \end{aligned}$$

Die Schaltung für die Messung der Erdkapazitätsdifferenzen des Viererkreises zeigt Abb. 598. Bei Brückengleichgewicht ist:

$$\begin{aligned} f + w_3 + w_4 &= v + w_1 + w_2 \quad \text{oder} \\ f - v &= (w_1 + w_2) - (w_3 + w_4). \end{aligned}$$

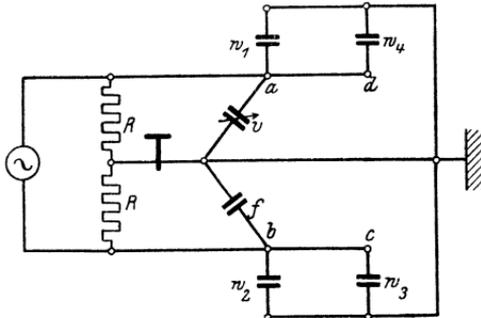


Abb. 597. Messung von $(w_1 - w_2) - (w_3 - w_4)$.

Es ist zu bemerken, daß bei den Messungen der Erdkopplungen in diesen Schaltungen die Teilkapazitäten x'_1 bis x'_4 und y'_1, y'_2 (s. Abb. 591) nicht eingehen, da sie teils parallel zur Stromquelle liegen, teils kurzgeschlossen sind. Über zusätzliche Kapazitäten in der Meßschaltung und über die Wahl der Größen f und v gilt das unter k_3 Gesagte.

(1042) Frequenzen. Legt man in einen Zweig einer Brückenschaltung, die sonst nur reine Widerstände enthält, eine Selbstinduktivität L in Reihe mit einer Kapazität C , so herrscht Gleichgewicht, wenn beide in Resonanz stehen, d. h. wenn $\omega^2 LC = 1$. Eine solche Anordnung wird vielfach zur Frequenzmessung benutzt. Abb. 599a.

Eine andere Meßbrücke benutzt eine Kapazität mit Reihen- und eine mit vorgeschaltetem Widerstand, Abb. 599 b. Da hierbei keine Selbstinduktivität

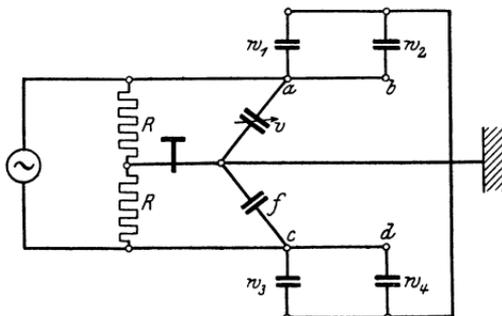


Abb. 598. Messung von $(w_1 + w_2) - (w_3 + w_4)$.

vorhanden ist, besitzt diese Brücke kein größeres Streufeld und kann daher enger zusammengebaut werden (F & G). Während die Resonanzbrücke bei kleinen

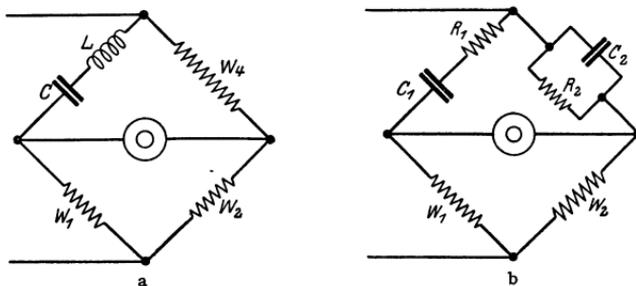


Abb. 599. Frequenzbrücken.

Frequenzen unangenehm große Selbstinduktivitäten oder Kapazitäten erfordert, ist diese Anordnung auch bei kleinen Frequenzen gut herzustellen. Die Gleichgewichtsbedingung lautet hierbei

$$\omega^2 = \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}.$$

(1043) Scheinwiderstände. Zur Bestimmung des Wellenwiderstandes und der Dämpfung von Leitungen mittlerer Länge wird der Kurzschluß- und Leerlaufwiderstand gemessen. Wenn diese Messungen sich auch mit den vorstehend beschriebenen Meßanordnungen ausführen lassen, so ist es doch wünschenswert, hierbei eine Brücke zu benutzen, die in einfacher Weise den Übergang von einer Messung auf die andere gestattet. Zu diesem Zweck kann man bei der Wienschen Brücke in den Vergleichszweig eine Kapazität und eine Selbstinduktivität in Reihe legen, wobei beide mit Kurzschlußstöpsel versehen werden, so daß sie wahlweise benutzt werden können; der Widerstand wird dabei am besten so angeordnet, daß er sowohl vor wie parallel zur Kapazität eingeschaltet werden kann, je nach der Größe des zu messenden Phasenwinkels. Eine solche Anordnung ergibt, wenn statt der Leitung ein Widerstand eingeschaltet wird, zugleich die Frequenzbrücke der Abb. 600. Manchmal wird auch nur mit einer Kapazitätsbrücke gearbeitet, indem der Leitung ein bekannter Kondensator vorgeschaltet wird, um den Scheinwiderstand dieses Brückenzweiges stets kapazitiv zu halten;

diese Methode ist jedoch wegen geringer Genauigkeit weniger empfehlenswert. Eine andere Möglichkeit, nur mit Kondensator ohne Selbstinduktivität zu arbeiten, ergibt sich, wenn man den Kondensator umschaltbar macht, so daß man ihn nach Belieben in zwei verschiedene Brückenarme legen kann. Je nachdem, ob der Scheinwiderstand der Leitung kapazitiv oder induktiv ist, wird also in diesem Fall die Wiensche oder die Maxwell'sche Brücke benutzt.

Bezüglich der Erdung gilt hier dasselbe wie das unter Betriebskapazitäten Gesagte (1039). Bei verlegten doppeladrigen Leitungen macht man am besten die Stromquelle mit Hilfe einer Symmetrieschaltung oder eines mit geeigneten Schutzhüllen versehenen Übertragers symmetrisch zur Erde und legt vor die Brücke einen entsprechenden Widerstand. Bei der Maxwellbrücke müßte dieser Widerstand eigentlich mit der Brückeneinstellung verändert werden und es müßte ihm eine veränderbare Kapazität parallel geschaltet werden; wenn man jedoch einen festen Mittelwert beibehält, wird der dadurch verursachte Fehler im all-

gemeinen zu vernachlässigen sein, da bei induktivem Scheinwiderstand die genaue Symmetrierung nicht so wichtig ist, wie bei kapazitivem.

Den Wellenwiderstand einer Leitung kann man unmittelbar messen, wenn man die Leitung am Ende mit dem Wellenwiderstand abschließt. Zunächst nimmt man dafür einen angenäherten, geschätzten Wert und verbessert ihn nach dem Ergebnis der ersten Einstellung, usw. Je größer die Dämpfung der Leitung ist, um so weniger machen sich Abweichungen des am Ende eingeschalteten Widerstandes vom Sollwert für die Messung vom Anfang aus bemerkbar, so daß meist schon die erste Verbesserung des Wertes ausreicht.

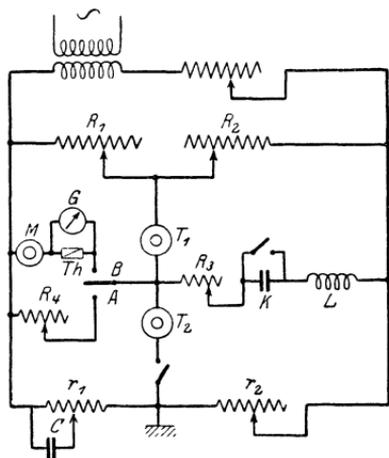


Abb. 600. Messungen an Fernhörern.

gemessen. H. Carsten (Phys. Z. 22, S. 501, 1921) empfiehlt dafür die Brückenschaltung nach Abb. 600; dabei ist M der zu messende Fernhörer; Th ein Thermo-
element und G ein Galvanometer, um den in M fließenden Strom zu messen; r_1, r_2, C ist ein Wagnerscher Hilfszweig. Die Kapazität K und der Widerstand R_4 (Umschalter nach A) ermöglichen, mit derselben Brücke gleich die Frequenzmessung. Um sowohl die Leistung des Fernhörers (Resonanzkurve) als auch die rein elektrischen Verluste zu bestimmen, ist der Scheinwiderstand bei freier und bei festgeklemmter Membran in Abhängigkeit von der Frequenz zu messen; der Strom in M wird, um die Auswertung zu erleichtern, am besten konstant gehalten. Über die Berechnung der zur Beurteilung des Fernhörers wesentlichen Größen vgl. neben Carsten Hahne mann, W. u. Hecht, H.: Ann. Physik Bd. 60, S. 454, 1919 und Kennelly, A. E.: Journ. tel. 1922, S. 244.

Eine „akustische Bank“ zur Vergleichung der Lautstärke von Fernhörern s. bei Lichte, H.: ENT 1925, S. 26.

Kompensationsmethoden.

(1045) Komplexe Widerstände. Für Kompensationsmessungen im Bereich $\omega \approx 3000 \dots 10000 \text{ Per}/2\pi \text{ s}$ ist die Frankesche Maschine (230, α) sehr geeignet, da sie zwei frequenzgleiche Wechselspannungen liefert, deren Amplitudenverhältnis

und Phasendifferenz variiert werden können (Abb. 601). Der zu messende Widerstand x wird in Reihe mit einem winkelfreien Spannungsteiler an den Amplitudenanker A gelegt. Mit dem Phasenanker Ph wird zuerst die Spannung am Meßgegenstand kompensiert, dabei Telephon als Nullinstrument. Nach Umschalten auf dem Spannungsteiler erhält man durch Änderung von R und Drehung des Phasenankers wiederum Stromlosigkeit im Telephon. Dann ist R gleich dem Widerstandsbetrag von x , während der Winkel von x sich aus der beim Übergang von x auf R notwendigen Drehung des Phasenankers ergibt.

(1046) **Komplexe Spannungen** werden mit der Frankeschen Maschine gemessen, indem man zuerst die beiden Anker in ihren Spannungen aufeinander eicht. Zu diesem Zwecke schaltet man vom Amplitudenanker wie vom Phasenanker nur je einen Einzeldraht ein und stellt durch Kompensation an einem winkelfreien Spannungsteiler fest, welche Stellung der Amplitudenanker bei einem am Spannungsteiler abgelesenen Spannungsverhältnis hat. (Der Gesamtwiderstand des Spannungsteilers ist hierbei hinreichend hoch zu wählen, damit man praktisch noch die EMK des Amplitudenankers mißt.) Aus diesen Messungen

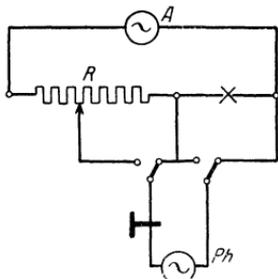


Abb. 601. Kompensationsmessung mit der Frankeschen Maschine.

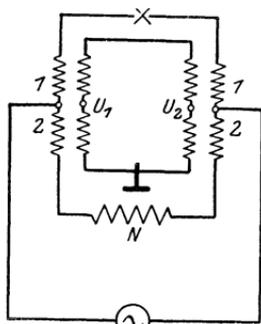


Abb. 602. Differentialschaltung nach Kühle.

kann man leicht für alle möglichen Schaltungen der Ankerwicklungen das Verhältnis der beiden Ankerspannungen angeben, wenn man noch die Anzahl der Windungen und Einzeldrähte der beiden Anker berücksichtigt. Für absolute Spannungsmessungen ist noch eine Strommessung bei einem bekannten äußeren Widerstande nötig (beispielsweise lege man bei der beschriebenen relativen Eichung einen Strommesser zwischen Phasenanker und Spannungsteiler). Betr. Messungen mit der Frankeschen Maschine vgl. Höpfner: TFT 1919, 119.

Eine andere Möglichkeit zur Messung komplexer Spannungen bieten die Wechselstromkompensatoren, von denen der Kompensator nach Larsen (230, β) erwähnt sei.

Ferner lassen sich komplexe Spannungen leicht messen mit einer von Kühle angegebenen Differentialschaltung, Abb. 602. Zwei Differentialübertrager U_1 und U_2 mit guter Hälftengleichheit liegen mit der Mitte der Primärwicklung an der Stromquelle. Die zu messende Spannung x wird an die Hälften 1, ein komplexer Vergleichswiderstand N an die Hälften 2 der Primärwicklung geschaltet. Das Telephon liegt in Reihe mit den beiden Sekundärwicklungen. U_1 und U_2 können eisenfrei oder mit Eisenkern versehen und so aufgebaut sein, daß ihre Magnetfelder sich nicht stören, oder auch so, daß ihre Magnetfelder bei gleichsinnigem Stromdurchgang sich addieren. Der letzte Fall gibt höhere Empfindlichkeit der Anordnung und kann bei Benutzung von Eisenkernen durch einen für beide Übertrager gemeinsamen Kern erreicht werden. Beim Verschwinden des Tones im Telephon ist $x = N$.

(1047) Betriebskapazität und Ableitung kurzer Kabelstücke können in bequemer Weise nach Abb. 602 gemessen werden. Doch sind dabei Übertrager zu wählen, die gegen Erde kapazitiv symmetrisch sind. Kleine Unsymmetrien in der Anordnung lassen sich eliminieren, indem man x und N vertauscht und die beiden Ablesungen mittelt. (Über sonstige Fehlerquellen und Empfindlichkeit vgl. Kühle: ETZ 1922, S. 1205 und TFT 1925, S. 1.)

Dämpfungsmessungen.

(1048) Dämpfungsmessungen mit der Eichleitung. Unter Eichleitungen sind künstliche Leitungen zu verstehen, die im Dämpfungsmaß geeicht sind (1030). Die Messung der Dämpfung an irgendeinem vorliegenden Vierpol geschieht in der Weise, daß man durch Lautstärkenvergleich mit Hilfe eines Telephons das Verhältnis von Anfangs- und Endspannung einer Eichleitung gleich macht demjenigen des zu messenden Objektes. Zu diesem Zwecke müssen die Eichleitungen derart veränderbar sein, daß alle praktisch vorkommenden Dämpfungsmaße leicht eingestellt werden können. Außerdem müssen sie den gleichen Eingangs- und Ausgangswiderstand besitzen wie der zu messende Gegenstand (Breisig: ETZ 1921, S. 933). Das Dämpfungsmaß b sei dabei für den Fall hoher Dämpfung ($b > 3$) definiert durch:

$$e^b = 2 \frac{U_a}{U_e}$$

Liegt im Objekt eine kleinere Dämpfung als $b \approx 3$ vor, so muß ein Glied entsprechend hoher Dämpfung vorgeschaltet werden. Auf Anpassung der Schein-

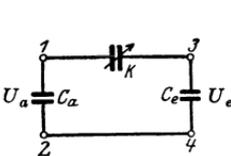


Abb. 603. Eichleitung aus Kondensatoren nach Breisig. für $b \approx 4 \dots 8$

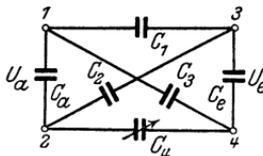


Abb. 604. Eichleitung aus Kondensatoren nach Breisig für $b \approx 8 \dots 13$

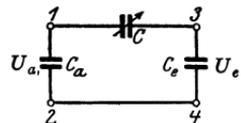


Abb. 605. Vereinfachtes Schema für Abb. 604.

widerstände ist dabei zu achten. Als Eichleitungen sind Schaltungen aus Kondensatoren und rein Ohmischen Widerständen im Gebrauch. Eine Kondensatoreichleitung (Breisig: a. a. O.) für $b \approx 4 \dots 8$ gibt Abb. 603. Hier ist

$$U_a = U_e + U_e \frac{i\omega C_e}{i\omega C} \quad \text{oder, da } \frac{C_e}{C} \gg 1 \text{ ist,}$$

$$e^b = 2 \frac{U_a}{U_e} \approx 2 \frac{C_e}{C}$$

C_a bzw. C_e sind entsprechend den Scheinwiderständen des Gegenstandes am Anfang und am Ende zu wählen. Ist C_a nicht gleich C_e (z. B. bei der Messung der Dämpfung des Mitsprechens), so ist in der obigen Formel C_e durch $\sqrt{C_a C_e}$ zu ersetzen (Breisig: Theoret. Telegr., S. 240). C_a liegt bei der Messung dauernd parallel zum Eingang des Meßgegenstandes. Nach Einstellung auf gleiche Lautstärke am Meßgegenstand und Eichleitung kann bei den im Handel befindlichen Apparaten das Dämpfungsmaß sofort an der Stellung des veränderbaren Kondensators C abgelesen werden. Dabei ist die Eichung für den Fall $C_a = C_e = 1 \mu F$ durchgeführt. Für alle anderen Werte von C_a und C_e ist aus einer beigegebenen Kurve eine an dem abgelesenen b -Wert anzubringende Korrektur ersichtlich.

Da für höhere Dämpfungsmaße ($b > 8$) der Einstellkondensator C zu klein werden wurde, hat Breisig (a. a. O.) für $b \approx 8 \dots 13$ eine andere Schaltung nach Abb. 604 angegeben. Diese Schaltung läßt sich umformen in das einfachere Schema von Abb. 605 (Küpfmüller: Arch. Elektrot. Bd. 12, 162). Dabei ist

$$k = \frac{c_1 c_4 - c_2 c_3}{c_1 + c_2 + c_3 + c_4}.$$

Das Dämpfungsmaß dieser Eichleitung ist also gegeben durch

$$e^b \approx 2 C_e \frac{c_1 + c_2 + c_3 + c_4}{c_1 c_4 - c_2 c_3}.$$

Wird insbesondere $c_1 = c_2 = c_3 = c$ und c_4 als Einstellkondensator gewählt, so ist

$$e^b \approx 2 \frac{3c + c_4}{cc_4 - c^2} \cdot C_e$$

hier ist C_e gegebenenfalls wieder durch $\sqrt{C_a C_e}$ zu ersetzen (s. oben). Das Dämpfungsmaß ist nach Einstellung wiederum sofort ablesbar für $C_a = C_e = 1 \mu\text{F}$; für andere C_a und C_e entsprechende Korrektur.

Von den Eichleitungen mit rein Ohmschen Widerständen sei die in Abb. 606 dargestellte (Küpfmüller) erwähnt. Die Dämpfung wird an den beiden Widerständen R_1 und R_2 eingestellt. Der Scheinwiderstand am Ausgange des Meßgegenstandes wird durch den Widerstand R_3 nachgebildet. r_1 und r_2 sind klein gegen $R_1 \dots R_3$. Die Wahl der Widerstände ist derart getroffen, daß

$$e^b \approx 2 \frac{R_1}{r_1} \cdot \frac{R_2 + r_1 + r_2}{r_2}.$$

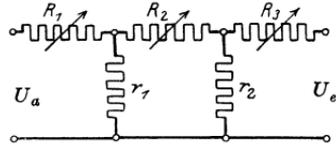


Abb. 606. Eichleitung aus Widerständen nach Küpfmüller.

Für feste r_1 und r_2 kann also die Anordnung so geeicht werden, daß sich das Dämpfungsmaß aus den Ablesungen an R_1 und R_2 durch Addition ergibt. Dabei ist R_1 geeicht für $b = 0 \dots 5$ in Stufen von 1, R_2 geeicht für $b = 0 \dots 1$ in Stufen von 0,1. Für die Messung von Dämpfungen unter $b = 5$ ist eine feste Leitungsnachbildung mit $b = 5$ vorgesehen, die dann sowohl vor dem Meßgegenstand als auch vor der Eichleitung liegt. Für Messung von Dämpfungen über $b = 6$ kann dieselbe Leitung mit $b = 5$ allein vor die Eichleitung gelegt werden. (Breisig: Verhandl. d. dtsh. phys. Ges. 1910, 184. — Lichtenstein: ETZ 1920, S. 188, 208. — Breisig: ETZ 1921, S. 933. — Küpfmüller: ETZ 1921, S. 1482. — Lüschen u. Küpfmüller: Wiss. Veröff. a. d. Siemens-Konzern Bd. 2, S. 401, 1922. — Meyer, U.: TFT 1926, S. 1.)

(1049) Bestimmung der Dämpfung aus den Anfangs- und Endwerten von Strom oder Spannung. Um die Dämpfung einer Leitung durch Vergleich mit einer Eichleitung zu bestimmen, müssen beide Enden der Leitung am selben Ort sein (Schleife). Andernfalls läßt sich die Dämpfung aus den Scheinwiderständen berechnen (S. 232), aber auch nur, wenn die Leitung nicht zu lang ist ($\beta l < 1,5$), weil sonst der Unterschied zwischen Kurzschluß und Leerlaufwiderstand zu gering wird. Bei langen Leitungen, bei denen $\text{Coj } \gamma l = \text{Sin } \gamma l = \frac{1}{3} e^{\gamma l/2}$ gesetzt werden darf, kann man die Dämpfung erhalten, wenn man bei offener Leitung die Spannung (oder bei kurzgeschlossener den Strom) am Anfang und Ende mißt. Denn es ist dann

$$U_a = \frac{1}{2} U_e e^{\gamma l} \text{ also } \beta l = \ln 2 | U_a / U_e |.$$

Während die Messung am Anfang mit gewöhnlichen gut geeichten Wechselstrominstrumenten ausgeführt werden kann, bereitet die Messung am Ende wegen der sehr geringen Größe der zu messenden Werte einige Schwierigkeiten. Am besten geeignet ist noch ein Röhrenvoltmeter (K. Hohage: Helios 1919, S. 193, 201); es bietet insbesondere den Vorteil, daß wegen seines hohen Widerstandes die Leitung tatsächlich als offen angesehen werden darf.

Eine Abart dieser Methode führt wieder zur Verwendung von Eichleitungen. Statt die kleine Spannung am Ende unmittelbar zu messen, vergleicht man sie

mit einer anderen, die ein bekannter Bruchteil einer gut meßbaren größeren Spannung ist. Am Orte, wo die Leitung endet, wird eine Eichleitung mit demselben Wellenwiderstand wie diese aufgestellt und an eine gleichgroße Spannung gelegt, wie die an der zu messenden Leitung; dann kann die Dämpfung der Eichleitung wieder so verändert werden, bis gleiche Lautstärke im Empfänger am Ende vorhanden ist. Eine Ausführungsform dieser Anordnung s. (1050).

(1050) Streckendämpfung. Amt A (Abb. 607) entsendet einen Wechselstrom bestimmter Frequenz und einer bestimmten Spannung am Anfang der zu messenden Leitung (Punkte c und d). Letztere wird unmittelbar durch Messen des Stromes I_a mit Hilfe eines Thermo-Meßgeräts oder eines anderen geeigneten Meßinstruments ermittelt. Das ferne Ende der Leitung (Amt B) wird reflexionslos abgeschlossen ($R_e = Z_e$). Im Amt B wird dieselbe Spannungsdämpfung in einem Vergleichsmeßsatz hergestellt, indem 1. derselbe Strom I_a und 2. durch Verändern der einstellbaren Kunstleitung dieselbe Endspannung $|U_e|$ eingestellt werden. Die Übereinstimmung von $|U_e|$ am Ende der wirklichen Leitung und der Kunstleitung K wird mit Hilfe eines Verstärker-

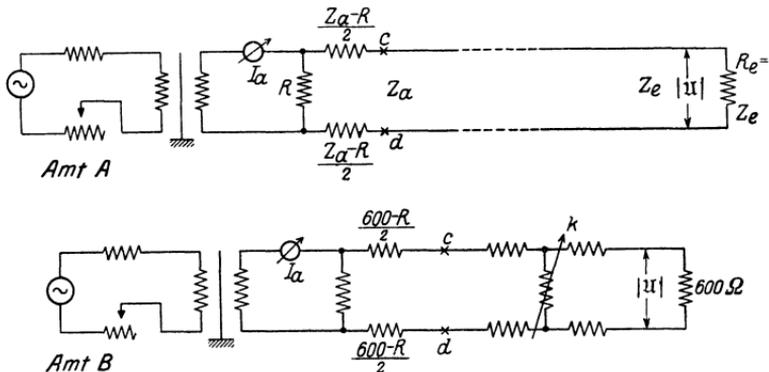


Abb. 607. Messung der Streckendämpfung.

Gleichrichters (mit hohem Eingangswiderstand), der an die beiden Endwiderstände angeschaltet wird, geprüft. Die an der Kunstleitung K eingestellte Dämpfung b_k ist dann ein Maß für die Restdämpfung der Leitung. Mit Rücksicht auf die Verschiedenheit der Eingangsscheinwiderstände der Leitung bedarf das Ergebnis noch einer Korrektur. Die tatsächliche Restdämpfung

$b_r = b_k - \log \text{nat} \sqrt{\frac{Z \text{ fernes Ende (A)}}{Z \text{ eigenes Ende (B)}}}$. Die beiden Meßämter müssen daher

die Eingangsscheinwiderstände der Leitung kennen. Nach neueren internationalen Festsetzungen mißt man die Restdämpfung einer gestreckten Leitung, indem man an den Anfang der Leitung eine EMK legt, die bei einem inneren Widerstand der Stromquelle von 600Ω eine Leistung von 1 mW in einem äußeren Widerstand von 600Ω zu entwickeln imstande ist. Das ferne Ende der Leitung wird gleichfalls mit 600Ω abgeschlossen.

(1051) Messung der Verstärkungsziffer. [TFT 1925, S. 29; vgl. (1658)]. Es bedeuten (Abb. 608): S_u einen Summer zur Erregung von V ; W einen Kompensationswiderstand, wie er in Verbindung mit der Frankeschen Maschine benutzt wird; U_0, U_1, U_2 die Spannungen in den Punkten 0, 1, 2; V den Verstärker mit dem Eingangsscheinwiderstand \mathfrak{B} ; \mathfrak{I}, i_1 die Ströme in den durch Pfeile bezeichneten Stromwegen; $Z, Z-R$ und R sind lineare Widerstände, von denen Z mit den reellen Wellenwiderständen der Leitungen (bei Fernkabelleitungen Abstand der 1. Spule

in halbem Normalabstand vorausgesetzt) übereinstimmen muß, also der jeweiligen Frequenz gemäß zu wählen ist.

Man erzeuge den Verstärker in der Meßanordnung durch Su , verbinde das Röhrevoltmeter mit den Punkten 2 (Umschalter rechts) und stelle den Spannungsausschlag fest. Dann lege man den Umschalter nach links und ermittle den Teilwiderstand ϱ von W , bei dem das Voltmeter denselben Aus Schlag zeigt wie vorhin, dann ist

$$s = \log \text{nat} \frac{2\varrho}{R}$$

Beweis: In dem aus den beiden langen Leitungen und aus dem Verstärker bestehenden System ist: $U_a/U_e = eb$, wenn b die resultierende Dämpfung, U_a die Anfangsspannung und U_e die Endspannung (bei reflektionslosem Abschluß) bedeuten. Wenn ferner $b = b_1 + b_2 - s$ gleich der Summe der Dämpfungszahlen vermindert um die Betriebsverstärkungsziffer ist, so ist

$$es = \frac{|U_e| \cdot e^{b_2}}{|U_a| \cdot e^{-b_1}} = \frac{|U_2|}{\left| \frac{U_1}{2} \cdot \frac{\mathfrak{B} + Z}{\mathfrak{B}} \right|}$$

Da $|U_2|$ am Kompensationswiderstand W kompensiert wird, und zwar an ϱ , ist $|U_2| = \varrho \cdot |I|$. Ferner ist

$$U_1 = U_0 \cdot \frac{\mathfrak{B}}{Z - R + \mathfrak{B}} = Ri_1 \cdot \frac{\mathfrak{B}}{Z - R + \mathfrak{B}} = R \cdot I \cdot \frac{Z - R + \mathfrak{B}}{Z + \mathfrak{B}} \cdot \frac{\mathfrak{B}}{Z - R + \mathfrak{B}}$$

$$\text{Folglich } es = \frac{2\varrho}{R} \text{ oder } s = \log \text{nat} \frac{2\varrho}{R}.$$

Sofern die Verstärkungsziffer nur für das mit Hilfe der Frankeschen Maschine erzeugbare Frequenzband gemessen wird, kann die Kompensation nach Betrag und Phase mit Hilfe der genannten Maschine verwendet werden. Übersteigt das Frequenzband den Bereich der Frankeschen Maschine, so verwendet man einen Röhrengenerator genügender Leistung und zum Vergleich der Wechselspannung am Endwiderstand mit der Spannung am Kompensationswiderstand ϱ ein genügend empfindliches Röhrevoltmeter. Bei diesem Verfahren ist peinliche Sorgfalt auf Säuberung des Meßstroms von allen Oberschwingungen und auf Symmetrierung gegen Erde zu verwenden.

Das Pohlmannsche Meßverfahren gestattet also, die betriebsmäßige Verstärkungsziffer zu messen, ohne daß man gezwungen ist, wirkliche Leitungen zu den Messungen heranzuziehen. Man braucht nur den Scheinwiderstand der Leitungen vor und nach dem Verstärker zu kennen. Das Pohlmannsche Verfahren ist auch für Verstärker in einer Apparatanordnung beliebiger Art verwendbar, sofern die Scheinwiderstände der vor und hinter dem Verstärker liegenden Apparate für das zu übertragende Frequenzband bekannt sind.

Literatur: Best, F. H.: Measuring Methods for Maintaining the Transm. Efficiency of Teleph. Circuits. J. Am. I. El. Eng. Febr. 1924. — Harden, W. H.: Practises in Telephone Transmission Maintenance Work. The Bell System Techn. Journ. 1925, S. 26.

Rechenbehelfe.

(1052) **Formeln für die Eigenschaften von eisenhaltigen Apparaten und Leitungen.** Bei Vorhandensein von ferromagnetischen Stoffen ändern sich die elektrischen Größen, da die Selbstinduktivität wegen der veränderlichen Permeabilität mit der Stromstärke ansteigt und der Widerstand durch Wirbelstrom-

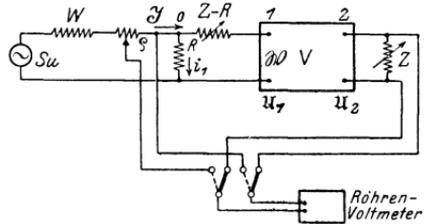


Abb. 608. Messung der Verstärkungsziffer.

und Hystereseverluste eine Vergrößerung erfährt. Eine einheitliche Bezeichnungsweise der maßgebenden Größen ist bisher nicht im Gebrauch, es erscheint aber angebracht, hier eine Darstellungsweise anzuführen, die sich durch Einfachheit auszeichnet. Auf jeden Fall steigt der Wirbelstromwiderstand mit dem Quadrat der Frequenz, der Hysterese-widerstand dagegen ist der Frequenz selbst proportional. Außerdem kann bei den geringen Stromstärken, die in der Schwachstromtechnik vorkommen, im allgemeinen der Anstieg der Permeabilität mit der Feldstärke als geradlinig angenommen werden, dann wird auch die Abhängigkeit der Selbstinduktivität und des Widerstandes von der Stromstärke durch eine Gerade dargestellt. Es sei

- L die Selbstinduktion in Henry,
 ΔR der Widerstandszuwachs in Ohm,
 ω die Kreisfrequenz,
 \mathfrak{H} die magnetische Feldstärke.

Dann ist

$$L = F \mu_o (1 + \alpha \mathfrak{H})$$

$$\frac{\Delta R}{\omega L} = \omega k \mu_o (1 + \alpha \mathfrak{H}) + \frac{4\alpha}{3\pi} \frac{\mathfrak{H}}{1 + \alpha \mathfrak{H}} + p.$$

In der letzten Gleichung rührt das erste Glied von den Wirbelströmen, das zweite von der Hysterese und das dritte von der Nachwirkung her, das Vorhandensein der letzteren ist in letzter Zeit von Jordan behauptet worden, in vielen Fällen kann sie vernachlässigt werden. Dabei ist F ein reiner Formfaktor in cm, während die übrigen noch vorkommenden Größen reine Materialkonstanten sind, und zwar μ_o die Anfangspermeabilität, α die Hysteresekonstante, k die Leitfähigkeitskonstante (nur von der el. Leitfähigkeit und der Unterteilung, aber nicht von der Menge des magnetischen Materials abhängig), p die Nachwirkungskonstante.

Der Zusammenhang des Anstiegs der Selbstinduktion mit der Hysteresekonstante ist für kleine magnetische Kräfte von Jordan nachgewiesen worden.

Für Toroidspulen gilt

$$F = 4\pi V \left(\frac{N}{l}\right)^2 \cdot 10^{-9}$$

$$\mathfrak{H} = 0,4\pi \frac{N}{l} I \sqrt{2},$$

wobei V das Eisenvolumen, N die Windungszahl, l die magnetische Länge, I die Stromstärke ist.

Bei Krarupleitungen ist (L in Henry/km)

$$F = \frac{4nq \sin^2 \varphi}{2r+d} \cdot 10^{-4}, \quad \mathfrak{H} = \frac{0,4}{2r+d} I \sqrt{2},$$

wenn r der Radius des Kupferleiters, d die Dicke der Krarupumspinnung, q deren Querschnitt und n die Anzahl von Windungen pro cm ist.

Die Bestimmung der Konstanten erfolgt aus Messungen bei verschiedenen Stromstärken und Frequenzen.

(1053) Auswertung von Meßergebnissen. Für die Berechnung der Eigenschaften von homogenen Leitungen aus dem Kurzschlußwiderstand U_k und dem Leerlaufwiderstand U_l gelten folgende Formeln:

$$\text{Wellenwiderstand } Z = Z e^{i\zeta} = \sqrt{U_k \cdot U_l}$$

$$\text{Fortpflanzungskonstante } \gamma l = \Re \Im \sqrt{U_k / U_l}.$$

Um die komplexe hyperbolische Funktion auszuwerten, geht man am besten so vor, daß $\sqrt{U_k / U_l} = e^{-\psi + i\varphi}$ gesetzt wird, dann ist

$$2\beta l = \Re \Im \frac{\cos \varphi}{\cos \psi} \quad 2\alpha l = \pi n + \text{arc tg} \frac{\sin \varphi}{\sin \psi}.$$

Dabei ist für n eine gerade Zahl zu nehmen, wenn ψ positiv ist, eine ungerade, wenn ψ negativ ist.

Die Leitungskonstanten ergeben sich aus

$$\begin{aligned} R + i\omega L &= \gamma Z \\ G + i\omega K &= \gamma / Z. \end{aligned}$$

Bei pupinisierten Leitungen ist wegen der punktförmigen Verteilung der Selbstinduktivität an den Größen α und β noch eine Korrektur vorzunehmen, indem man setzt

$$\beta' = \beta \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \quad \alpha' s = 2 \sin \frac{\alpha s}{2},$$

wobei ω_0 die Grenzfrequenz, s der Spulenabstand ist. Auch so erhält man die Leitungskonstanten nicht sehr genau. Da L meist bekannt ist, kann man hier C auch aus der Formel

$$\omega \sqrt{LC} = \alpha',$$

die mit großer Annäherung bei pupinisierten Leitungen gilt, berechnen.

Inhomogene Leitungen und allgemeine Vierpole haben von beiden Seiten aus gesehen verschiedene Scheinwiderstände, aber auch hier gilt stets die Gleichung

$$\Re \gamma l = \sqrt{U_k / U_l}.$$

Durch Messung von U_k und U_l läßt sich daher auch die Dämpfung bestimmen, die von Apparaten, Amtseinrichtungen usw. hervorgerufen wird.

Bei kurzen Leitungslängen ist es nicht empfehlenswert, über die hyperbolischen Funktionen zu rechnen, da $(R + i\omega L)l$ und $(G + i\omega K)l$ sich in diesem Fall nur wenig von $U_k = r + i\omega l$ und $1/U_l = g + i\omega k$ unterscheiden, und diese Abweichungen bei der umständlichen Rechnung kaum genügend genau erhalten werden. Es ist besser und auch kürzer, die Reihenentwicklung für $\Re \gamma$ zu benutzen; daraus lassen sich folgende Formeln ableiten, wobei zur Abkürzung $rg - \omega^2 \lambda k = \varepsilon$ und $g\omega \lambda + r\omega k = \eta$ gesetzt ist:

$$\begin{aligned} R &= \frac{r}{l} \left[1 + \frac{\varepsilon - \frac{\omega \lambda}{r} \eta}{3} + \frac{\varepsilon^2 - \eta^2 - 2 \frac{\omega \lambda}{r} \varepsilon \eta}{5} + \dots \right] \\ L &= \frac{\lambda}{l} \left[1 + \frac{\varepsilon + \frac{r}{\omega \lambda} \eta}{3} + \frac{\varepsilon^2 - \eta^2 + 2 \frac{r}{\omega \lambda} \varepsilon \eta}{5} + \dots \right] \\ G &= \frac{g}{l} \left[1 + \frac{\varepsilon - \frac{\omega k}{g} \eta}{3} + \frac{\varepsilon^2 - \eta^2 - 2 \frac{\omega k}{g} \varepsilon \eta}{5} + \dots \right] \\ K &= \frac{k}{l} \left[1 + \frac{\varepsilon + \frac{g}{\omega k} \eta}{3} + \frac{\varepsilon^2 - \eta^2 + 2 \frac{g}{\omega k} \varepsilon \eta}{5} + \dots \right] \end{aligned}$$

Bei all diesen Rechnungen mit komplexen Zahlen hat man häufig von der Form $a + ib$ in die Form $r e^{i\varphi}$ überzugehen, und umgekehrt. Sehr geeignet für diese Rechnungen ist ein Rechenschieber von 50 cm Länge, der auf der Rückseite Teilungen für \sin und tg hat. Man stellt auf der unteren Skala a ein, bringt auf dem Schieber b damit zur Deckung und findet nach Umdrehen auf der Rückseite das zugehörige φ auf der tg -Teilung; wenn $b > a$ ist, vertauscht man beide und findet so $90^\circ - \varphi$. Das so erhaltene φ stellt man dann auf der \sin -Teilung ein und findet auf der Vorderseite über dem Wert von b (auf dem Schieber) auf der oberen Skala das zugehörige r ; man kann auch $90^\circ - \varphi$ einstellen und über a den Wert von r finden, es empfiehlt sich, stets den größeren Wert zu benutzen.

Für die umgekehrte Rechnung stellt man das gegebene φ auf der sin-Teilung ein (bezüglich $90^\circ - \varphi$) und findet unter dem Wert r der oberen Skala auf dem Schieber b (bezüglich a).

Bei pupinisierten Leitungen zeigt die Kurve des Wellenwiderstandes in Abhängigkeit von der Frequenz gewisse Schwankungen, die von den Ungleichmäßigkeiten der Leitung hervorgerufen werden. Aus dem Frequenzabstand $\Delta\omega$ zweier aufeinander folgenden Maxima oder Minima läßt sich die Entfernung x größerer Ungleichmäßigkeiten berechnen; es ist $x = \pi / \Delta\omega \sqrt{LC}$; vgl. Küpfmüller, J.K.: Tel.- u. Fernspr.-Techn. Bd. 11, S. 45, 1922; Wagner, K. W. und Küpfmüller, K.: Arch. Elektrot. Bd. 9, S. 461, 1921. — Feldtkeller, R.: Tel.- u. Fernspr.-Techn. 1925, S. 189.

Messungen mit Hochfrequenz.

(1054) **Hochfrequenz und Tonfrequenz** sind keine wesentlich verschiedenen Erscheinungen. Bis zu 10 und 30 Kilohertz hinauf kann das menschliche Ohr Töne wahrnehmen; Wechselströme bis zu diesen Frequenzen nennt man darum tonfrequent; Wechselströme höherer Frequenz heißen Hochfrequenzströme; ihre obere Grenze ist durch die Unmöglichkeit bestimmt, beliebig kleine Stromkreise zu bauen. Technisch werden hochfrequente Ströme bis hinauf zur Frequenz 10^8 Hertz verwendet; der Bereich der hochfrequenten Wechselströme umfaßt also die Wellenlängen 30 km bis 3 m.

Darum ist das Telephon, das im Gebiet der tonfrequenten Ströme eine große Rolle bei vielen Meßmethoden spielt, nicht mehr unmittelbar als Stromanzeiger für hochfrequente Ströme zu verwenden. Weitere Unterschiede gegenüber der Meßtechnik im tonfrequenten Gebiet sind darin begründet, daß mit steigender Frequenz die Kondensatoren und Spulen der Stromkreise mehr und mehr verkleinert werden müssen, so daß neben ihnen die Verbindungsleitungen, die Meßinstrumente und alle Schaltorgane mit ihrer Kapazität, ihrer Selbstinduktion und ihren Verlusten berücksichtigt werden müssen; wie weit das im Einzelfalle gelingt, und wie weit man die Methoden der Tonfrequenz anwenden kann, wird durch die persönliche Übung des Messenden mitbestimmt. Die Zeitkonstanten der Spulen und Kondensatoren der Hochfrequenztechnik sind um wenigstens drei Dezimalstellen von der Schwingungsdauer entfernt und üben keinen merklichen Einfluß auf sie aus. Die Dämpfung der Schwingungskreise, ausgedrückt durch das logarithmische Dekrement einer freien Schwingung, hat kleine Beträge, meist weniger als 0,1; infolgedessen kann man scharfe Abstimmungen vornehmen. Die Hochfrequenzmeßtechnik macht darum mehr als ihre tonfrequente Schwester von Resonanzerscheinungen Gebrauch.

(1055) **Strom** wird meistens aus der Erwärmung eines von ihm durchflossenen Drahtes bestimmt; doch bleibt die Gleichstromeichung bei steigender Frequenz nicht ohne weiteres genau erhalten.

a) Hitzdrahtinstrumente mit Zeigerablesung von Hartmann & Braun haben bei Widerständen von der Größenordnung 1 Ohm Meßbereiche von etwa 1 A. Kann man größere Widerstände in Kauf nehmen, so läßt sich ein Meßbereich von 0,04 A erzielen. Für größere Stromstärken werden Instrumente mit Nebenschluß hergestellt; damit ihre Eichung für alle Frequenzen erhalten bleibt, ist erforderlich, daß sowohl der Hitzdraht selbst als auch der Nebenschluß keine merkliche Selbstinduktivität besitzen, daß sie also keine merkliche Windungsfläche umschließen. In den Geräten für besonders große Stromstärken (50 bis 500 A) kommen nicht Drähte, sondern Bänder zur Verwendung, die auf einem Zylindermantel angeordnet sind, und von denen das eine als Strommesser ausgebildet ist. Der Zeiger wird bei diesen Instrumenten durch die Längenänderung des Heizfadens eingestellt (Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 5, S. 517; 1912).

b) Die Weston-Instrumente (ETZ 1925, S. 848; Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 25, S. 164; 1925) besitzen einen Heizfaden, der ein Thermoelement erwärmt, das seinerseits den Ausschlag bewirkt. Sie werden ebenfalls in ihrer empfindlichsten Form als Milliampereometer gebaut; für Stromstärken über 50 A werden sie als Nebenschlußinstrumente ausgebildet.

c) Bolometer und Thermolemente messen in Verbindung mit empfindlichen Spiegelgalvanometern und bei gutem Wärmeschutz Stromstärken bis in die Gegend von 10—4 A herab, wenn sie nur wenige Ohm Widerstand haben dürfen; und wenn größere Widerstände zugelassen werden können, kann man die Empfindlichkeit noch eine Dezimalstelle weiter treiben. Das Thermogalvanometer von Duddell (Electr. Bd. 55, S. 260; 1905) ist ein Drehspuleninstrument mit Spiegelablesung; die in einem Magnetfeld angeordnete Spule *S* (Abb. 609) besitzt nur eine Windung und enthält ein Thermolement *T*, das durch einen dünnen Draht *D* erwärmt wird, der dicht darunter vorbeiführt und von dem zu messenden Strome durchflossen wird. Es hat den Vorteil, daß die Gleichstromrichtung bis zu den höchsten Frequenzen richtig bleibt.

Über die Empfindlichkeit der verschiedenen Instrumente gibt die Tabelle im Lehrbuch der drahtlosen Telegraphie von Zenneck und Rukop, 5. Aufl., S. 93, 1925 nähere Auskunft.

4. Ein Dynamometer zur absoluten Stromstärkemessung hat Semiller beschrieben (Ann. Physik 33, S. 414; 1910).

5. Bei Nullmethoden kommt es nur darauf an, festzustellen, ob wahrnehmbarer Hochfrequenzstrom vorhanden ist oder nicht; bei Resonanzmethoden ist die Kenntnis der Stromstärke oft gleichgültig, und es ist nur wesentlich, einen Höchstwert des Stromes einstellen zu können. In diesen Fällen kommen alle Methoden in Anwendung, die beim Empfang funktetelegraphischer und -telephonischer Zeichen in Gebrauch sind, also alle Methoden, die Detektoren verwenden, insbesondere Elektronenröhren mit oder ohne Verstärkermittel; sie gestatten, hochfrequente Ströme von weit kleinerer Stärke zu beobachten, als die eigentlichen Meßgeräte, doch werden sie mit steigender Empfindlichkeit unzuverlässig, so daß es nicht mehr gelingt, sie zu eichen. Die Grundform dieser Anordnungen ist der aperiodische Detektorkreis (Abb. 610); er wird direkt oder magnetisch mit dem Schwingungskreise gekoppelt und mit einem Fernhörer oder einem Galvanometer als Anzeiginstrument ausgerüstet.

(1056) Spannungsmessungen werden auch im hochfrequenten Gebiet vielfach mit Strommessern von hohem Widerstand ausgeführt [vgl. (1055, a) und b)].

1. Hitzdrahtinstrumente werden nach Spannung geeicht für Bereiche bis zu 150 V.

2. Die sogenannten statischen Voltmeter sind zur Messung des effektiven Mittelwertes von hochfrequenten Spannungen im Gebrauch; es kommen in Betracht solche Instrumente, die auf der Anziehung entgegengesetzt geladener Körper beruhen, also Quadrantelektrometer in verschiedenen Abarten (Palm: Z. Fernmeldetechn. 1921, Heft 11); außerdem werden Elektrometer verwendet, bei denen sich zwei gleichnamig geladene Körper (Blättchen oder Fäden) abstoßen; hierher gehören das Braunsche (Braun, F.: Wied. Ann., Bd. 44, S. 771; 1891) und das Wulfsche Elektrometer (Wulf, Th.: Phys. Z., Bd. 15, S. 250; 1914).

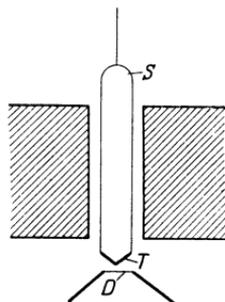


Abb. 609. Thermogalvanometer.

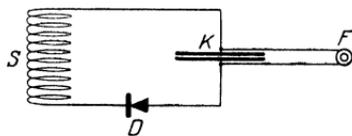


Abb. 610. Detektorkreis.

Zu beachten ist beim Gebrauch dieser Instrumente, daß ihre Kapazität nicht immer zu vernachlässigen ist; denn sie beträgt bei Fadenelektrometern wenigstens 5 cm, bei Multizellularvoltmetern erreicht sie Beträge bis zu 50 cm; darum muß mit steigender Frequenz der Einfluß des Meßgeräts auf die Eigenfrequenz des Meßkreises beachtet werden.

3. Das Funkenmikrometer mißt die Höchstwerte der Spannung durch die Schlagweite, die sie in Luft durchschlagen kann; z. B. rund 20000 V bei 6 mm Funkenlänge zwischen 1 cm dicken Kugeln (Tabellen über Funkenlängen siehe Zenneck: Lehrb. d. drahtl. Telegr. S. 477; 1925; Kohlrausch: Prakt. Physik, Tabelle 35).

4. Das Röhrenvoltmeter erzeugt Gleichstrom durch die zu messende Wechselspannung. Hierzu ist grundsätzlich jeder Widerstand mit gekrümmter Kennlinie geeignet; die Elektronenröhre mit einer kalten und einer glühenden Elektrode stellt einen solchen Widerstand von besonders konstanten Eigenschaften dar. Bei einem Dreielektrodenrohr mit negativer Gittervorspannung ist die Kennlinie nahezu parabelförmig und der beobachtete Anodenstrom darum dem quadratischen Mittelwert der angelegten Spannung gut proportional.

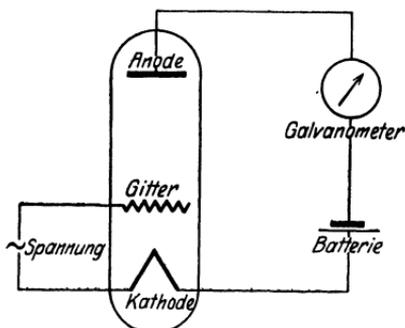


Abb. 611. Röhrenvoltmeter.

Die Empfindlichkeit des Röhrenvoltmeters wird gesteigert, wenn man die zu messende Spannung dem Gitter der Dreielektrodenröhre zuführt (Abb. 611). Dann lassen sich noch Wechselspannungen von 0,01 V bestimmen. (Hohage: Helios 1919, S. 193; Trautwein: Tel.- u. Fernspr.-Techn. 1920, S. 107 u. 119, Z. techn. Phys. 3. Jahrg., S. 123; 1922.)

Scheitelspannungen werden gemessen, indem man der Wechselspannung eine solche Gleichspannung überlagert, daß soeben kein Anodenstrom zustande kommt.

(1057) Leistungen werden zumeist errechnet aus dem gemessenen Strom und dem Widerstand des durchflossenen Leiters; dabei muß im Falle von temperaturabhängigen Widerständen (Glühlampen) der Widerstand in seiner Abhängigkeit vom Strom mit Gleichstrom geeicht sein.

Für Fälle, wo außer dem Strommesser kein Widerstand in der Strombahn liegt, eicht man auch diesen nach Leistungen. So sind in den Wellenmessern Hitzdrahtinstrumente für Meßbereiche von 1 W im Gebrauch.

Über Leistungsbestimmungen aus Dämpfung oder Phasenwinkel vgl. (1059) und (1060).

(1058) Frequenzen lassen sich bei Strömen, die mit Hochfrequenzmaschinen hergestellt sind, aus der Umdrehungszahl der Maschine, ihrer Polteilung und dem Grade der Transformation, bzw. der Ordnungszahl der abgenommenen Oberschwingung bestimmen. Bei allen anderen Erregungsarten muß die Frequenz auf Umwegen ermittelt werden.

1. Mit Hilfe eines rotierenden Spiegels hat Feddersen die Frequenz von Schwingungen gemessen, die mit Funken erregt waren. Die Methode ist von Diesselhorst (Verhandl. d. dtsh. phys. Ges. 14. Jahrg., S. 317; 1907) vervollständigt worden, wobei nicht ein Funkenbild, sondern das Bild einer mit Schwingungen betriebenen Gehrkeschen Glummlichröhre aufgelöst wird; diese Methode ist brauchbar für Schwingungen von wenigstens 50 W Leistung und für Frequenzen bis in die Nähe von 100 Kilohertz.

2. Durch Wellenerregung am Lecherschen Paralleldrachtsystem kann man Frequenzen zwischen 105 und 109 Hertz messen (Drude: Abh. sächs. Ges. d. Wiss. Bd. 23, S. 62; 1896; ETZ 1905, S. 339; Gehrcke: ETZ 1905, S. 697; Diesselhorst: Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 1, S. 262; 1908). Das Lechersche System wird mit dem Hochfrequenzstrom führenden Stromkreis gekoppelt, und es bildet sich ein gerades oder ein ungerades Vielfaches der Viertelwelle aus, je nachdem beide Enden isoliert oder beide Enden mit einem Bügel leitend überbrückt sind, oder das eine Ende isoliert und das andere durch einen verschiebbaren Bügel überbrückt ist. Als Indikator für die stärkste Erregung der Drähte dienen je nach der verfügbaren Leistung Hitzdrahtinstrumente, deren Hitzdraht als Bügel des Lecherschen Systems ausgebildet ist, oder mit Edelgas gefüllte elektrodenlose Leuchtröhren, die im Spannungsbauch angelegt werden, oder aperiodische Detektorkreise, die nahe der Brücke gekoppelt werden; aus der beobachteten Wellenlänge findet man die Frequenz, indem man die Lichtgeschwindigkeit ($3 \cdot 10^{10}$ cm s⁻¹) durch die Wellenlänge dividiert.

3. Als Wellenmesser bezeichnet man üblicherweise in der Hochfrequenztechnik geeichte Schwingungskreise mit veränderlicher Eigenperiode; denn man charakterisiert die raschen Schwingungen selten durch die Angabe ihrer Periode, weil man dann un bequem kleine Zahlen braucht, wenn man die Sekunde als Einheit benutzt; der reziproke Wert der Periode, die Frequenz, wird auch nicht oft in der Praxis benutzt, sondern man nimmt in der Funkerei als Maß der Periode das Produkt aus Lichtgeschwindigkeit und Periode; es ist eine Länge; und zwar stimmt diese Länge überein mit der Länge der an Lecherschen Drähten erzeugten Wellen und mit der Länge der Wellen, die eine mit Schwingungen der gegebenen Periode gespeiste Antenne im freien Äther erzeugen würde. Der Brauch, die Periode schneller Schwingungen durch Angabe der gleichgestimmten Welle zu kennzeichnen, hat die Bezeichnung Wellenmesser für die Periodenmessung zur Folge gehabt.

Die Wellenmesser bestehen meist aus festen Spulen und einem Drehkondensator; jede feste Spule umfaßt einen bestimmten Wellenbereich, in dem der Drehkondensator alle Wellen einzustellen gestattet; die genaue Bestimmung von Selbstinduktion der Spule und Kapazität des Kondensators sowie der Vergleich mit Lecherschen Drähten und drittens Frequenzbestimmungen mit der Methode von Diesselhorst ermöglichen eine Eichgenauigkeit der Wellenmesser von 1:1000. Die Wellenmesser sind für zwei Verwendungsweisen eingerichtet. Man kann die Frequenz der Sendeströme messen; für diese Verwendungsweise ist der Wellenmesser mit einem Hitzdrahtinstrument oder mit einer Leuchtröhre oder mit einem Detektor nebst Galvanometer oder Fernhörer ausgestattet. Zweitens kann man die Abstimmung von Empfängern messen, indem man sie mit dem Wellenmesser gleichstimmt; für diese Verwendungsweise ist der Wellenmesser mit einem Selbstunterbrecher ausgestattet (Abb. 612), der seine jeweilige Eigen schwingung schwach erregt, wie es zur Prüfung eines Empfangssystems ausreicht.

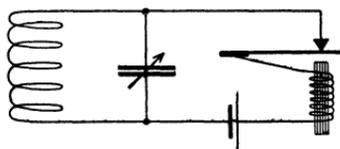


Abb. 612. Wellenmesser durch Summer erregt.

Näheres über den Bau und den Gebrauch der Wellenmesser und ihre mannigfaltigen Formen (auch direkt anzeigende Instrumente) findet man in den Büchern von E. Nesper: Handbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie, Berlin: Julius Springer, 1921; und: Die Frequenzmesser und Dämpfungsmesser der Strahlentelegraphie, Leipzig: Veit & Co., 1907). Eine neuere zusammenfassende Darstellung über die Prüfung von Wellenmessern haben E. König und F. Buchmüller in den Techn. Mitt. d. schweiz. Telegr.- u. Teleph.-Verwalt. Jahrg. 2, S. 170—180; 1924 gegeben mit 37 Literaturnachweisen. Über die Verwendung

des Kurzschlußringdynamometers als Wellenmesser vgl. Mandelstam und Papalexii: Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 4, S. 605; 1914.

Über die Genauigkeit absoluter Wellenmessungen vgl. Giebe, E. und Alberti, E.: Z. techn. Phys. 6. Jg., S. 92; 1925; Giebe, E., Alberti, E. und Leithäuser, G.: Über zwischenstaatlichen Vergleich der Wellenlängen, ENT Bd. 3, S. 69; 1926.

Als Wellenlängennormalien kommen piezoelektrisch erregte Kristalle in Aufnahme, vgl. Pierce, G. W.: Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 23, S. 79; 1924; Giebe, E. und Scheibe, A.: ZS f. Phys. Bd. 33, S. 335; 1925.

(1059) Die Dämpfung zeigt sich bei einem etwa durch einen Funken erregten und dann sich selbst überlassenen System in einer zeitlichen Abnahme der Schwingungsamplitude; man kann sie zahlenmäßig beschreiben, wenn die Dämpfungsursachen von der Stromstärke unabhängig sind; dann erfolgt die Abnahme einer Schwingung von der Kreisfrequenz ω in der Zeit t nach einem Exponentialgesetz, also in der Form $e^{-\delta\omega t}$. Das logarithmische Dekrement δ der Dämpfung kann man unmittelbar bestimmen aus Schwingungsaufnahmen mit dem Glimmlicht-

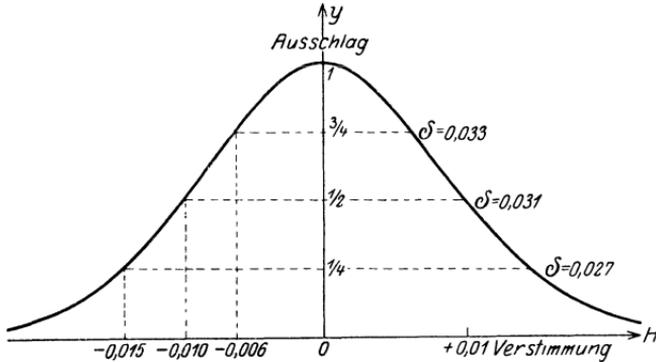


Abb. 613. Resonanzkurve.

oszillographen nach Diesselhorst oder durch photographische Aufnahmen mit der Braunschen Röhre (Zenneck: Phys. Z. Jahrg. 14, S. 226; 1913).

Werden Schwingungen in einem Kreise dauernd unterhalten, etwa durch eine Hochfrequenzmaschine, einen Flammenbogen oder eine Elektronenröhre, so tritt keine zeitliche Abnahme der Amplitude ein, aber ihr Betrag stellt sich je nach der Größe der dämpfenden Ursachen auf einen größeren oder kleineren Wert ein. Man spricht auch dann noch vom Dämpfungskoeffizient, obgleich die Schwingung keine Abnahme zeigt, und versteht darunter den Ausdruck $\pi R\sqrt{C/L}$, also eine Eigenschaft des Schwingungskreises, die man aus der Kapazität C seines Kondensators, sowie der Selbstinduktion L und dem Widerstand R seiner Spule berechnet. Die Messung dieser Größen wird im folgenden Abschnitt beschrieben.

Aus der Resonanzkurve, deren Verlauf ein Bild von der Abstimmungsschärfe darstellt, bestimmt man die Summe der Dekremente beider Kreise; der Meßkreis ist dabei ein Wellenmesser mit Hitzdrahtinstrument; er wird in loser Kopplung von dem Primärkreise erregt, und während eine Reihe von Einstellungen des Wellenmessers in der Nähe der Resonanz vorgenommen werden, liest man die zugehörigen Ausschläge am Wellenmesser ab; in einem Kurvenblatt trägt man als Abszisse x die Verstimmung auf und als Ordinate y den Ausschlag, bezogen auf den Resonanzausschlag als Einheit (Abb. 613). Bjercknes hat berechnet, daß diese Resonanzkurve unter bestimmten Voraussetzungen nach der Gleichung verläuft: $\delta = \pi \cdot x \cdot \sqrt{y/(1-y)}$. Die drei Voraussetzungen für diesen einfachen, von

der Kopplung unabhängigen Verlauf sind folgende: Die Kopplung muß sehr lose sein; die Dekremente müssen numerisch klein sein, und die Verstimmung darf nur klein sein. Außerdem ist selbstverständliche Voraussetzung, daß es überhaupt ein konstantes, d. h. vom Strom unabhängiges Dekrement gibt, was z. B. nicht der Fall ist, wenn der Primärkreis eine Funkenstrecke enthält. Ob die Bjerknesschen Bedingungen für die Anwendbarkeit der Methode im Einzelfalle erfüllt sind, erkennt man daran, daß man an jeder Stelle der Resonanzkurve denselben Wert für die Dekrementsumme findet; dies ist in praktischen Fällen selten mit 20 vH. der Fall (vgl. Abb. 613); meist muß man sich mit einer Zuverlässigkeit von 50 vH. begnügen. Praktisch verfährt man so, daß man auf eine solche Prüfung verzichtet und nur den sogenannten halben Resonanzausschlag mißt, für den $y = 1/2$; an dieser Stelle hat die Dekrementsumme den Betrag: $\delta = \pi x$.

Eine strenge Methode der Dekrementbestimmung, die außerdem den Vorteil hat, für beliebig feste Kopplungen brauchbar und mit der normalen Ausrüstung jeder Funkenstation ausführbar zu sein, hat H. Pauli angegeben (Z. techn. Phys. Bd. 5, S. 376; Bd. 6, S. 118; 1921). Diese Methode erfordert einen ungedämpft erregten, mit Abstimmitteln und einem Instrument zum Ablesen des Effektivstroms I_1 ausgerüsteten Kreis; er wird mit dem zu messenden Kreise z. B. magnetisch gekoppelt; in diesem wird der Strom I_2 abgelesen. Als dritter Kreis ist ein empfindlicher Wellenmesser erforderlich, der am besten als Überlagerer benutzt wird und die Wellenlänge λ angibt. Während man die Abstimmittel des ersten Kreises schrittweise verändert, liest man zusammengehörige Werte von I_1 , I_2 und λ ab; dabei wird ein Minimum des Wertes I_1/I_2 durchschritten, das die Resonanzstelle anzeigt. Man bildet dann die Verhältnisse $y = I_1^2/I_2^2$ und sucht zu beiden Seiten der Resonanzstelle λ_r zwei Wellenlängen λ_1 und λ_2 , die zu gleichem y gehören und bildet $x = \left(\frac{\lambda_1^2 - \lambda_2^2}{2\lambda_r^2} \right)^2$; dann trägt man die x als Abszissen, die y als Ordina-

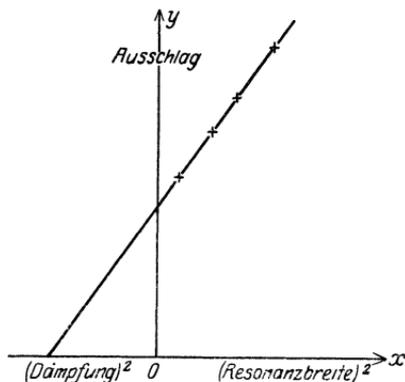


Abb. 614. Dämpfungsbestimmung nach Pauli.

ten in ein Kurvenblatt ein (Abb. 614); die erhaltenen Punkte ordnen sich in eine gerade Linie, und die Strecke, welche diese auf der x -Achse abschneidet, ist die Größe $(\delta/\pi)^2$.

(1060) Phasen werden im Gebiet rascher Schwingungen mit Vorteil mittels der Braunschen Kathodenstrahlröhre bestimmt, weil der masselose Kathodenstrahl den hochfrequenten Feldern ohne Verzerrung folgen kann. Kreuzt man zwei Wechselfelder unter 90° , und läßt man den Kathodenstrahl senkrecht zu beiden verlaufen, so beschreibt er eine Ellipse, deren Lage zu den Feldrichtungen den Phasenunterschied zwischen den Feldern anzeigt. Wird die eine Ablenkung durch das elektrische Feld einer vom Hochfrequenzstrom durchflossenen Anordnung bewirkt, und die dazu senkrechte durch ihr Magnetfeld, so stellt der Flächeninhalt der vom Lichtfleck beschriebenen Strom-Spannungskurve ein Maß für die Leistung dar.

Mit größerer Genauigkeit lassen sich Phasen und Leistungen mit Elektrodenröhren messen. Die von Trautwein (TFT 1921, S. 81) hierfür angegebenen

Methoden gehen aus von einer Anordnung, bei der zwei in der Phase verschobene Wechselfspannungen an Gitter und Anode einer Röhre angelegt werden; der Anodenstrom, der dann zustande kommt, bildet ein Maß für die Phasenverschiebung.

Meist ist die Kenntnis des Phasenwinkels zwischen Strom und Spannung nur von mittelbarem Interesse für die Dämpfung oder die Leistung. Hat man Gelegenheit, das Dekrement zu messen, so findet man den Phasenwinkel als \arctg des Dekrements.

(1061) Die Analyse der Hochfrequenzströme gelingt, wenn man ihren zeitlichen Verlauf aufnimmt. Die Möglichkeit hierzu bietet der Glimmlichtoszillograph; besser eignet sich die Braunsche Röhre in Verbindung mit einem rotierenden Spiegel oder mit einer bewegten photographischen Platte oder mit einem durch ein wechselndes Hilfsfeld seitlich pendelnden Lichtfleck; für sehr rasche Schwingungen werden die Bilder freilich lichtschwach und auch unscharf. Neuere Beschreibungen haben Casper, Hubmann und Zenneck (Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 23, S. 32 u. 63; 1924) veröffentlicht.

In vielen Fällen wünscht man nur zu wissen, ob die Schwingung sinusförmig ist, oder ob sie Oberschwingungen enthält; dann genügt es, mit einem lose gekoppelten Wellenmesser die Oberschwingungen durch Resonanz festzustellen; ihre Amplitude ist meist erheblich kleiner als die der Grundschwingung; man muß darum entweder die Möglichkeit haben, die Kopplung mit dem Wellenmesser zu vergrößern oder ihn mit einem empfindlicheren Stromanzeiger zu benutzen.

Messungen der Eigenschaften von Schwingungskreisen.

(1062) Allgemeines. Die Eigenschaften, welche den Stromverlauf in einem von Hochfrequenzstrom durchflossenen Stromkreis bestimmen, sind: Selbstinduktivität und Widerstand der stromführenden Teile sowie Kapazität und Isolation (Ableitung) der die Spannung führenden Teile. Induzieren mehrere Kreise aufeinander, so tritt noch die Gegeninduktivität und die Kopplung hinzu. Ebenso wie im Gebiete der tonfrequenten Ströme, wo diese Größen ebenfalls auftreten, setzt man sie als konstant voraus, d. h. als unabhängig von der Frequenz und der Amplitude. Für die Kapazität der Kondensatoren ist diese Voraussetzung zulässig; die Selbstinduktivität von Spulen zeigt indessen eine geringe Frequenzabhängigkeit insofern, als die Stromverteilung im Drahtquerschnitt sich unter dem Einfluß des hochfrequenten Feldes ändert; wenn Eisen im Spulenfeld vorhanden ist, tritt hierzu noch eine Verkleinerung der Selbstinduktivität mit steigender Stromstärke, die sehr erheblich sein kann, indem sie sich dem Wert nähert, der sich bei Abwesenheit des Eisens ergeben würde. Widerstände werden wegen der mit steigender Frequenz wachsenden Hautwirkung größer, mit wachsender Stromstärke erwärmen sie sich und ändern damit ihren Wert. Die Ableitungen können Hysterese zeigen und damit eine Vergrößerung mit steigender Frequenz.

Die Methoden der Wechselstromtechnik sind in weitem Umfang anwendbar (Küpfmüller, K.: ENT 1925, S. 263). Neben der Wheatstoneschen Brücke ist der Hausrathsche Differentialtransformator im Gebrauch (Trautwein, F.: Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 18, S. 261; 1921). Doch häufen sich mit steigender Frequenz die Schwierigkeiten, störende Kapazitäten und Windungsflächen neben den immer kleiner werdenden Kondensatoren und Spulen zu vermeiden, und im Gebiet der Wellenlängen unter 100 m ist man genötigt, sich einzeln über Kapazität, Selbstinduktion, Widerstand und Ableitung eines jeden Konstruktionsteils Rechenschaft zu geben, einschließlich der Meßgeräte, Verbindungsleitungen und Umschalter.

Auf der anderen Seite bietet das Messen bei steigender Frequenz große Vorteile insofern, als die kleinen Kondensatoren und Spulen leicht so gebaut werden können, daß ihre Kapazität bzw. Selbstinduktivität bequem aus den genau meß-

baren geometrischen Abmessungen berechnet werden kann. Dazu tritt die Bequemlichkeit, die kurzen Wellen mit Lecherschen Drähten unmittelbar messen zu können.

Das wichtigste Meßgerät im Gebiet der hochfrequenten Ströme ist der Wellenmesser; die Methoden, die dieses Gebiet beherrschen, sind vorwiegend Resonanzmethoden. Absolute Messungen der Eigenschaften von Leitern und Isolatoren stehen dabei nicht im Vordergrund; in der Regel handelt es sich um den Vergleich mit Normalien, deren Eigenschaften mit langsamen Vorgängen absolut bestimmt worden sind.

(1063) **Kapazitäten** bestimmt man, indem man sie mit einer Spule von bekannter Selbstinduktivität zu einem Schwingungskreis schaltet und seine Eigenschwingung mit dem Wellenmesser mißt; mit der Thomsonschen Formel:

$\lambda = 2\pi \cdot c \cdot \sqrt{CL}$ wird dann die gesuchte Kapazität aus der bekannten Selbstinduktivität und der gemessenen Wellenlänge gefunden. Eine Anordnung wird in Abb. 615 dargestellt. Dabei ist der Wellenmesser durch einen Summer erregt, und als Indikator dient ein aperiodischer Detektorkreis, der lose mit dem gemessenen Kreise gekoppelt ist, aber vom Wellenmesser nicht unmittelbar erregt wird. An Stelle des Wellenmessers kann auch ein geeichter

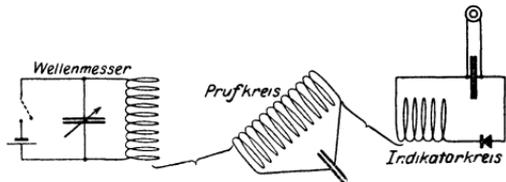


Abb. 615. Kapazitätsmessung mit Wellenmesser.

Schwingungskreis treten, der mit einem Flammenbogen nach Poulsen erregt wird (Kiebitz: Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 2, S. 357; 1909); er liefert Schwingungen von rund 100 W; als Indikator im Meßkreise eignet sich dann statt des aperiodischen Kreises auch eine Leuchtröhre, die man den Anschlußklemmen des Kondensators nähert, oder eine kleine Glühlampe, die in die Strombahn geschaltet wird. Erregt man den Wellenmesser durch Funken, so ist die Abstimmstärke weniger gut und darum die Einstellung ungenau. Dagegen bietet Röhrenerregung den Vorteil großer Genauigkeit. Der Detektorkreis wird mit einem Hörer oder mit einem Galvanometer ausgestattet, je nach der gewählten Erregungsweise.

Man kann auch, je nach den vorhandenen Hilfsmitteln, die Schwingung im Meßkreise erregen und den Indikator im Wellenmesser benutzen.

Steht keine geeichte Spule zur Verfügung, sondern ein geeichter Drehkondensator, so bildet man den Prüfkreis aus einer beliebigen Spule und dem zu messenden Kondensator, stellt am Wellenmesser Resonanz her und ersetzt dann den unbekanntem Kondensator durch den Drehkondensator; stimmt man nun bei unverändertem Wellenmesser die Kreise wieder gleich, so hat der substituierte Drehkondensator dieselbe Kapazität wie der unbekannte. Bei dieser Methode braucht der Wellenmesser nicht geeicht zu sein. Unter Umständen ist es bequem, den Drehkondensator dauernd eingeschaltet zu lassen und den unbekanntem zu- und abzuschalten; man findet dann seine Kapazität als Differenz zwischen zwei Kondensatoreinstellungen. Unter anderen Umständen kommt man bequem zum Ziel, wenn man einen Prüfkreis mit bekanntem festem Kondensator mißt; dann schaltet man den unbekanntem Kondensator hinzu, parallel oder in Reihe, je nachdem, ob er kleiner oder größer ist als der bekannte, mißt die verursachte Änderung der Welle und berechnet, wieder auf Grund der Thomsonschen Formel, aus der Kapazität des bekannten Kondensators und den beiden gemessenen Wellen die gesuchte Kapazität.

Für genaue Messungen muß die Kapazität und die Selbstinduktion der Verbindungsleitungen berücksichtigt werden (Bangert: Phys. Z. 11, S. 124; 1910).

Geringe Kapazitätsänderungen lassen sich mit großer Genauigkeit bestimmen, wenn man Röhrenschwingungen anwendet und mit Überlagerungsempfang beobachtet (Herweg: Verhandl. dtsh. phys. Ges. Jahrg. 21, S. 572; 1919; Pungs und Preuner: Phys. Z. Jahrg. 20, S. 551; 1919; Glitsch: Phys. Z. Jahrg. 23, S. 544; 1922).

Auf Kapazitätsmessungen beruhen auch die Ermittlungen der Dielektrizitätskonstanten; zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten mit sehr kurzen Drahtwellen hat Drude ein besonderes Meßverfahren ausgearbeitet (Drude: Wied. Ann. Bd. 55, S. 633; 1895; Ann. Physik Bd. 8, S. 336; 1902).

(1064) Die Selbstinduktivität einer Spule mißt man, indem man sie mit einem geeichten Kondensator zu einem Schwingungskreis zusammenschaltet und seine Eigenschwingung mit einem Wellenmesser bestimmt. Hat man ein geeichtes Variometer zur Verfügung — so nennt man Spulenanordnungen mit einstellbarer Selbstinduktivität —, so kann man die unbekannte Spule durch das Variometer ersetzen. Besitzt man eine Spule mit bekannter Selbstinduktivität und einen geeichten Drehkondensator, so stellt man dieselbe Welle ein mit den beiden Spulen und dem Drehkondensator; die Einstellungen des Drehkondensators stehen dann im umgekehrten Verhältnis zueinander wie die Spulen. Die Möglichkeiten, unbekannte Spulen in gleichgestimmten oder gemessenen Schwingungskreisen mit bekannten Spulen oder mit bekannten Kondensatoren zu vergleichen, sind außerordentlich mannigfaltig.

(1065) Die Gegeninduktivität $M = L_{12}$, die zwei Spulen in bestimmter gegenseitiger Lage aufeinander ausüben, findet man, indem man die Selbstinduktivitäten L_1 und L_2 der einzelnen Spulen mißt, etwa in einer Resonanzschaltung, und dann die Gesamtinduktivität $L_1 + L_2 \pm L_{12}$, welche die beiden Spulen zeigen, wenn man sie in einem und im entgegengesetzten Sinne hintereinander schaltet.

Ist die Gegeninduktivität neben den Selbstinduktivitäten nicht sehr klein, so kann man die beiden Einzelspulen mit Drehkondensatoren zu zwei gleichgestimmten Kreisen verbinden; die beiden gekoppelten Kreise zeigen zwei mit dem Wellenmesser meßbare Kopplungsschwingungen mit den Wellen λ_1 und λ_2 ; aus diesen berechnet man zunächst den Kopplungsgrad $\kappa = (\lambda_1^2 - \lambda_2^2) / (\lambda_1^2 + \lambda_2^2)$ und weiter die Gegeninduktivität aus der Beziehung $L_{12} = \kappa \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2}$.

Statt die beiden Kreise gleichzustimmen, kann man auch die eine Spule kurz schließen und die Verstimmung messen, die der andere Kreis dadurch erfährt (Kiebitz: Verhandl. dtsh. phys. Ges. Jahrg. 15, S. 1240; 1913).

(1066) Widerstände werden durch Vergleich mit geeichten Widerstandsdrähten gemessen. Dabei ist zu beachten, daß die Gleichstromeichung kleinere Werte ergibt als der Draht bei schnellen Schwingungen zeigt; die Abweichungen steigen mit der Frequenz und mit der Drahtdicke an; z. B. muß bei der Wellenlänge 3000 m ein Silberdraht dünner sein als 0,33 mm, ein Konstantandraht dünner als 1,80 mm, wenn der Widerstand nur 1 vH. größer als der Gleichstromwiderstand sein darf; und bei 100 m Wellenlänge ist dann die zulässige Dicke 0,06 mm für Silber und 0,30 mm für Konstantan (Austin, Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 6, S. 588; 1913). Mit dieser Vorsicht kann man in einem Schwingungskreis, der den unbekanntem Widerstand enthält, diesen durch einen dünnen Draht ersetzen, dessen Länge so verändert wird, daß die Stromstärke unter sonst gleichen Verhältnissen dieselbe ist. Erregt man den Schwingungskreis mit dem unbekanntem Widerstand in sehr loser Kopplung durch einen ungedämpft schwingenden Sender, auf den der Prüfkreis abgestimmt ist, so ist im Resonanzfall die Stromstärke dem Widerstand proportional; indem man darum einen bekannten Zusatzwiderstand einschaltet und die Verringerung der Stromstärke beobachtet, hat man alle Angaben zur Berechnung des unbekanntem Widerstandes (Fischer: Ann. Physik Bd. 28, S. 57; 1909; Lindemann: Verhandl. dtsh. phys. Ges. Jahrg. 11, S. 28 u. 682; 1909; Loewe: Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 7, S. 365; 1913). Wegen ihrer kleinen Querschnitte können

die Widerstandsdrähte nur mit sehr schwachen Strömen belastet werden; müssen Widerstände bei großer Stromstärke gemessen werden, so benutzt man Kohlestäbe; diese können bei 3000 m Wellenlänge 16, bei 100 m 3 mm dick sein, ohne mehr als 1 vH Vergrößerung des Gleichstromwiderstandes zu zeigen; freilich erfordern sie beträchtliche Längen zur Herstellung großer Widerstandswerte, und ihr großer Temperaturkoeffizient macht eine besondere Eichung für große Stromstärken erforderlich.

In vielen praktischen Fällen führt die Messung durch Vergleich mit bekannten Widerständen nicht zum Ziele. Man ermittelt dann die Dämpfung nach einer der Methoden von Bjerknes oder Pauli (1059) und berechnet den Widerstand R aus dem Dekrement δ , der Kapazität C und der Selbstinduktion L auf Grund der Formel:
$$R = \frac{\delta}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Fast alle Widerstandsmessungen erfassen neben dem Leitungswiderstand der Spulen und der eingeschalteten Instrumente zugleich alle Verluste, die in dem Schwingungskreis und in seiner Umgebung eintreten; ihre Ursachen sind mannigfaltiger Art: Das Magnetfeld der Spule erzeugt Wirbelströme in allen benachbarten Metallteilen, vor allem in den Konstruktionsteilen des Kneises selbst; das Dielektrikum des Kondensators ist niemals ein vollkommener Isolator, und wenn auch sein Leitungswiderstand praktisch oft nicht ins Gewicht fällt, so setzt es dem Wechsel der Feldstärke oft beträchtliche Widerstände durch Nachwirkung entgegen (Wagner: Arch. Elektrot. Bd. 2, S. 371; 1914); in Funkenstrecken wird auf Kosten der Schwingung Wärme, Licht und Schall entwickelt, und ähnliche Verluste verursachen Büschelentladungen, die gelegentlich an hochgeladenen Teilen auftreten.

Messend kann man alle diese Verluste kaum trennen; nur selten gelingt es, kalorimetrisch die Wärmemengen zu bestimmen, die in den einzelnen Teilen eines Schwingungskreises entwickelt werden. Doch erlauben in vielen Fällen überschlägliche Berechnungen, zu erkennen, welche Verlustursachen an den gemessenen Widerstands- oder Dämpfungswerten in erster Linie beteiligt sind und welche nicht in Betracht kommen.

(1067) Antennen werden nach den bisher angeführten Methoden zur Messung von Eigenschaften der Schwingungskreise gemessen. Doch tritt bei den Antennenkreisen insofern ein neuer Gesichtspunkt auf, als Kapazität und Selbstinduktivität nicht mehr streng in einem Kondensator bzw. in einer Spule zusammengefaßt sind, sondern über den Leiter verteilt erscheinen, so daß die Teile der Antenne sowohl Strom wie Spannung führen. Es bedarf darum streng genommen einer besonderen Festsetzung darüber, was man unter der Kapazität und unter der Selbstinduktivität von Antennen verstehen will.

Die vollkommenste Antenne ist ein gerader Draht, der in der Eigenschwingung schwingt; für ihn erscheinen Kapazität und Selbstinduktivität im Verhältnis $2 : \pi$ verkleinert gegenüber den mit statischen Mitteln oder bei langsamen Wechselströmen gefundenen Werten. Bei den Antennen der Praxis liegt im allgemeinen nicht annähernd diese starke Verteilung von Kapazität und Selbstinduktivität vor, und man begeht selten einen Fehler von mehr als 5 vH., wenn man im Bereich der Betriebswellen die statisch bestimmte Kapazität gelten läßt und als Selbstinduktivität den Betrag, der sich nach der Thomsonschen Formel aus dieser Kapazität und der Eigenschwingung ergibt.

Die Eigenschwingung von Antennen bestimmt man in folgender Weise (Abb. 616). Man schaltet in Reihe eine Erdverbindung E , eine passende Spule L , einen Drehkondensator C und einen Umschalter U , der wahlweise die Erdverbindung oder die Antenne A anzulegen gestattet; man mißt mit einem Wellenmesser die Frequenz des Gebildes LC für die beiden Stellungen des Umschalters bei verschiedenen Einstellungen des Kondensators; dabei findet man eine Kondensatorstellung, bei der es für die Wellenmessung gleichgültig ist, ob der Um-

schalter auf *A* oder *E* gestellt ist; in diesem Falle zeigt der Wellenmesser die gesuchte Eigenschwingung der Antenne an.

Die Strahlung von A_n Antennen kann man berechnen aus der Größe der ausgestrahlten Felder, die man in gemessener Entfernung bestimmt (1068 u. f.). An den Vorgängen im Sender macht sich die Strahlung dadurch bemerkbar, daß sie eine Dämpfung der Antennenschwingung verursacht. Diese Dämpfung mißt man mit neben allen Verlusten, wenn man irgendeine Widerstands- oder Dekrementmethode anwendet. Eine einfache Meßmethode, welche die Strahlungsdämpfung am Sender, getrennt von den Verlusten, zu messen gestattet, gibt es nicht. Man ist darauf angewiesen, den Anteil der Strahlungsdämpfung an der gemessenen Gesamtdämpfung zu schätzen; hierzu dient einerseits eine zahlenmäßige Schätzung der Verluste, andererseits eine Schätzung der Strahlung aus der Antennenform. Eine Schirmantenne, deren Höhe x neben der Wellenlänge λ klein erscheint, besitzt einen Strahlungswiderstand R_s , den

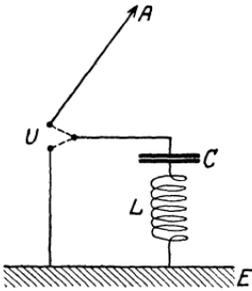


Abb. 616. Eigenschwingung einer Antenne.

man nach der Formel findet: $R_s = 1578 \left(\frac{x}{\lambda}\right)^2$. Für die Antennenhöhe hat man dabei einen mittleren Wert des Abstandes der Antennendrähte vom Erdboden und von Metalltürmen anzunehmen; diese Schätzung unterstützt man, indem man aus der Formel für die Kapazität des Plattenkondensators $C = \frac{\text{Oberfläche}}{4 \pi \text{ Abstand}}$ den Abstand berechnet aus der gemessenen Antennenkapazität und der Größe der Fläche, die der Antennenschirm überdeckt.

Literatur: Radio Instruments and Measurements. Circular of the Bureau of Standards, Nr. 74. — Hund: Hochfrequenzmeßtechnik. Berlin: Julius Springer, 1922. — Kohlrusch: Lehrbuch der praktischen Physik. Leipzig: B. G. Teubner. — Rein-Wirtz: Radiotelgr. Praktikum. Berlin: Julius Springer, 1924. — Zenneck-Rukop: Lehrb. der drahtl. Telegr., 5. Aufl. Enke, 1925. — Nesper: Handbuch der drahtl. Telegr. und Telephonie. Berlin: Julius Springer, 1921. — Möller: Die Elektronenröhren. 2. Aufl. Braunschweig: Vieweg, 1922. — Barkhausen: Elektronenröhren. Leipzig: Hirzel, Bd. I, 1923; Bd. II, 1925. — Orlich: Kapazität und Induktivität. Braunschweig: Vieweg, 1909. — Martens: Physikalisch-technische Elektrizitätslehre. Braunschweig: Vieweg, 1927.

Feldstärkemessungen.

(1068) **Feldstärke.** Als Maß der Stärke des einfallenden Wechselfeldes einer drahtlosen Sendestelle bezeichnet man die elektrische Feldstärke in Volt je Meter (V/m). Man versteht darunter die Potentialdifferenz, die zwei in der Luft in senkrechter Richtung zur Erde 1 m voneinander entfernte Punkte unter der Einwirkung dieses Wechselfeldes gegeneinander besitzen. Aus den Hertzschen Gleichungen für die Strahlung eines Senders ergeben sich im technischen Maßsystem in der Äquatorebene einer senkrechten Sendeantenne, also an der Erdoberfläche, an der wir die Feldstärke messen, folgende Beziehungen:

$$\mathcal{E} = 120 \pi \frac{I_1 h_1}{\lambda \cdot d} + i 60 \frac{I_1 h_1}{d^2} \dots \dots \dots (1)$$

Darin bedeuten \mathcal{E} die Feldstärke in V/m, I_1 den Strom in der Sendeantenne in A, h_1 = die wirksame Höhe der Sendeantenne in m, λ = die Wellenlänge in m, d = die Entfernung in m, i soll eine Phasenverschiebung von 90° kennzeichnen.

Die wirksame Höhe der Antenne ist eine fiktive Größe, die die elektrischen Eigenschaften der Antenne umschließt und die durch besondere Verfahren ermittelt werden muß (1067).

Das erste Glied der Formel (1) stellt das Strahlungs- oder Fernwirkungsglied dar, das zweite wird als Induktions- oder Nahwirkungsglied bezeichnet.

Das Nahwirkungsglied nimmt mit der zweiten, das Strahlungsglied mit der ersten Potenz der Entfernung ab. In einer Entfernung von $\frac{\lambda}{2\pi}$ sind die beiden Glieder einander gleich. Bei 4 Wellenlängen beträgt das Nahwirkungsglied 4 vH des Strahlungsgliedes, bei 16 Wellenlängen nur noch 1 vH. Man muß daher bei den Messungen den Einfluß des Nahwirkungsgliedes berücksichtigen, oder die Entfernung so groß wählen, daß man es vernachlässigen kann.

(1069) Empfangsstrom und Empfangsspannung. Bei periodischen Vorgängen, mit denen wir es in der Funktelegraphie zu tun haben, werden auf der abgestimmten Empfangsantenne durch die einfallenden Wechselfelder Spannungen bzw. Ströme hervorgerufen, die nach Barkhausen mit dem elektrischen Feld durch die Beziehung

$$\mathcal{E} = \frac{I_2 \cdot R_2}{h_2} \dots \dots \dots (2)$$

verknüpft sind. Es sind hierbei I_2 der Strom in der Empfangsantenne in A, R_2 der Widerstand des Antennenempfangskreises in Ω , h_2 = die wirksame Höhe der Empfangsantenne in m. Für eine Rahmenantenne gilt

$$\mathcal{E} = \frac{E \cdot \lambda}{2\pi n F} = \frac{I_2 R_2 \lambda}{2\pi n F} \dots \dots \dots (3)$$

wobei E die Spannung am Abstimmkondensator, R_2 = der Widerstand des abgestimmten Rahmenkreises in Ω , I_2 = der Strom im Rahmenkreis in A, n = die Zahl der Rahmenwindungen, F = die Rahmenfläche in m^2 ist.

Die Bestimmung der Feldstärke eines Senders ist damit auf die Messung des in der Antenne oder im Rahmen fließenden Stromes bzw. der Spannung am Abstimmkondensator, die Messung des Widerstandes des Empfangsstromkreises und die Bestimmung der wirksamen Höhe der Empfangsantenne zurückgeführt. Die Messung des Widerstandes erfolgt am einfachsten nach dem Zusatzverfahren von Lindemann oder Pauli. Die Ermittlung der wirksamen Höhe der Luftleiter wird später erörtert werden.

Die vorstehenden Beziehungen sowie die im folgenden angeführten Meßanordnungen gelten nur für ungedämpfte Schwingungen. Bei dem heutigen Stand der drahtlosen Nachrichtentechnik erübrigt es sich, auf die gedämpften Schwingungen einzugehen

(1070) Unmittelbare Messungen des Empfangsstromes oder der Empfangs-EMK. a) Mit Rahmen nach Braun und Rausch von Traubenberg.

Aus den oben stehenden Formeln erkennt man, daß die Feldstärkemessungen am einfachsten mit einem Rahmen bei Einschaltung eines Hochfrequenzmeßinstrumentes oder Thermoelementes in den Rahmenkreis zur Bestimmung des Rahmenstromes auszuführen sind. Der Widerstand des Meßinstrumentes muß dabei dem Widerstand des Rahmenkreises möglichst angepaßt werden. Diese einfache Methode ist jedoch wegen der Beschränkung der Größe des Rahmens und der geringen Empfindlichkeit des Thermoelementes nur auf verhältnismäßig kurze Entfernungen anwendbar. Es war z. B. nicht mehr möglich, die Feldstärke von Nauen ($\lambda = 18000$ m, Sendestrom $I_1 = 470$ A, wirksame Höhe $h_1 = 170$ m) in einer Entfernung von 20 km mit einem Rahmen von 32 Umwindungen und $2,5 m^2$ Fläche zu bestimmen.

b) In einer offenen Antenne. Der Entfernungsbereich der einfachen Anordnung unter a) wird durch die Verwendung einer offenen Antenne erweitert, wobei das Meßinstrument in die Erdleitung einzuschalten ist. Die Messung erfordert jedoch die Bestimmung der wirksamen Höhe der Empfangsantenne. Das geschieht am einfachsten und sichersten durch gleichzeitige oder kurz hintereinander erfolgende Messung eines nahen bekannten Senders mit Rahmen und offener Antenne. Aus den Formeln (2) und (3) folgt

$$h_2 = 2 \pi n F \frac{I_2 a R_2 a}{I_2 r R_2 r \cdot \lambda} \text{ m.}$$

Index *a* für Antenne, Index *r* für Rahmen.

Das Dreiecksverfahren von Pession ist umständlicher; es setzt die Zusammenarbeit von drei Empfangsstellen *a*, *b*, *c*, von denen zwei mit Sendern ausgerüstet sein müssen, voraus. Unter Benutzung der Beziehung

$$I_2 = \frac{\mathcal{E} h_2}{R_2} = \frac{120 \pi I_1 h_1 h_2}{\lambda \cdot d \cdot R_2}$$

ergibt sich beim Senden von *a* nach *b*

$$h_a h_b = \frac{I_2 b R_2 b \lambda \cdot d_{ab}}{120 \pi I_1 a},$$

beim Senden von *a* nach *c* und von *b* nach *c* erhält man ähnliche Ausdrücke unter Vertauschung der Indexbuchstaben, woraus die drei gesuchten Höhen der

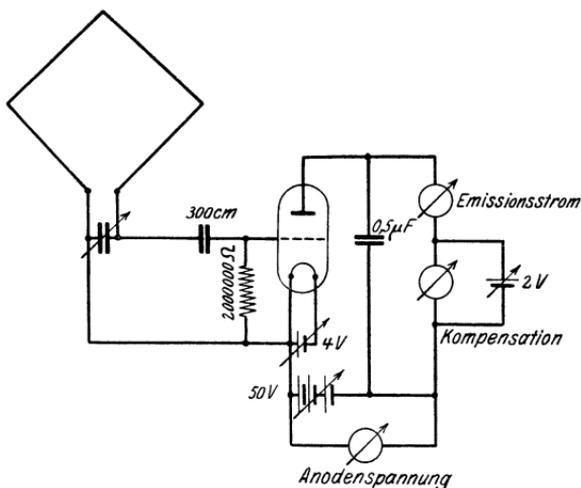


Abb. 617. Kompensationsmeßanordnung,

Empfangsantennen zu berechnen sind. Das Verfahren eignet sich nur auf Entfernungen zwischen den drei Stellen, bei denen noch keine Absorptionsverluste der ausgestrahlten Leistung der Sendeantenne anzunehmen sind.

c) Mit Rahmen und einer Audionröhre. Die von G. Anders angegebene Meßanordnung ist im Telegraphentechnischen Reichsanstalt ausgearbeitet worden und beruht auf dem Grundgedanken, daß die am Abstimmkondensator auftretende Hochfrequenzspannung mit einem als Röhrenvoltmeter wirkenden Audion gemessen wird. Zur Erhöhung der Empfindlichkeit wird der Ruheanodenstrom mit einer besonderen Batterie kompensiert (Abb. 617). Zwei Hilfsinstrumente (Volt- und Amperemeter) dienen dazu, die Anordnung bei jeder Messung auf gleiche Empfindlichkeit, d. h. die Anodenspannung und den Emissionsstrom auf die bei der Eichung benutzten Werte einzustellen.

Die Eichung erfordert die Bestimmung der Abhängigkeit des Ausschlages α des Meßinstrumentes von der im abgestimmten Rahmenkreis auftretenden Wechsel-EMK E . Man bestimmt die Beziehung zwischen E und α , indem man den Empfangsrahmen induktiv mit einem zweiten Rahmen koppelt und diesen mit einem kleinen ungedämpften Sender auf der zu messenden Welle erregt.

Es ist $E = \omega M I_0$ Volt, wobei ω = die Kreisfrequenz $= \frac{2\pi c}{\lambda}$, M = die Gegeninduktivität in Henry, I_0 = der mit einem Thermoelement im Erregerrahmen gemessene Strom in A ist.

M kann man berechnen oder durch folgende Methode bestimmen: Man schaltet in den Empfangsrahmenkreis nach Abschaltung des Audions ein Thermoelement und mißt die Ströme I_1 im Sende- und I_2 im Empfangsrahmen sowie den Widerstand R_2 des Empfangsrahmens mit eingeschaltetem Thermoelement. M ist alsdann $= I_2 R_2 / \omega \cdot I_1$. Die Feldstärke ist mit der Rahmen-EMK durch die Beziehung verknüpft

$$\mathcal{E} = \frac{E \cdot \lambda}{2\pi n F m} \cdot V.$$

(1071) Messungen nach dem Hilfssenderverfahren. Die unter (1070) erwähnten Methoden versagen, wenn es sich darum handelt, die kleinen Feldstärken

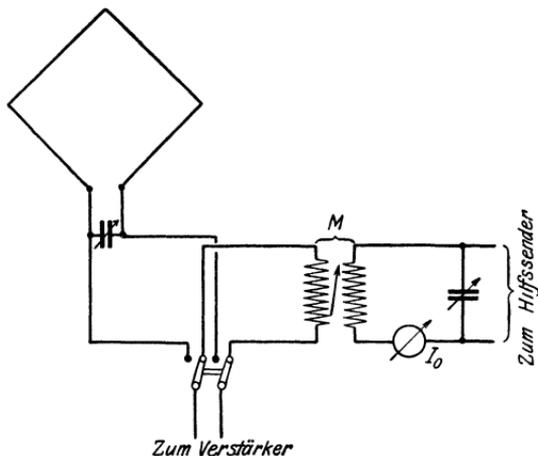


Abb. 618. Meßanordnung nach Hollingworth.

entfernt gelegener Sendestellen zu bestimmen. Die Stromstärken in den Luftleitern oder Rahmen sind in diesen Fällen so gering, daß sie selbst mit den empfindlichsten Instrumenten nicht mehr zu messen sind. Die Lösung der Aufgabe wird darin gefunden, daß der von einem Hilfssender erzeugte Strom entsprechender Frequenz in einem Meßkreis über eichbare induktive, kapazitive oder Widerstandskopplungen soweit verkleinert wird, bis er mit dem in der Antenne von den fernern Sendern hervorgerufenen Strom übereinstimmt.

a) Verfahren von Hollingworth. Diese Meßmethode stellt eine Erweiterung des unter (1070, c) beschriebenen Verfahrens dar. Die Empfindlichkeit wird durch die Zuschaltung eines Hochfrequenzverstärkers mit Widerstandskopplung erhöht. Als Indikator wird ein empfindliches Galvanometer im Anodenkreis der letzten Röhren verwendet, dessen Ausschlag wie unter (1070, c) kompensiert wird (Abb. 618). Durch Umschaltung auf den Hilfssender wird die am Eingang des Hochfrequenzverstärkers erzeugte EMK $E = \omega I_0 M$ (I_0 = Hilfssenderstrom) gleich der beim Empfang von der Außenstation kommenden EMK

$$E = \frac{2\pi}{\lambda} n \cdot F \cdot \mathcal{E} \cdot \frac{\omega L_2}{R_2}$$

gemacht (Herstellung gleicher Ausschläge im Galvanometer). Die Gegeninduktivität M ergibt sich zu $\frac{I_2 R_2}{\omega I_1}$ (vgl. 1070, c). Die Rahmeninduktivität L_2 und der Widerstand R_2 werden durch Messung bestimmt. Die Feldstärke ist alsdann

$$\mathcal{E} = \frac{I_0 M \cdot R_2 \cdot \lambda}{2 \pi n F L_2} \frac{V}{m}.$$

Wegen der Widerstandskopplung ist die Anordnung nicht sehr empfindlich und nur für Wellen über 3000 m anwendbar. In England konnten nur europäische Großstationen damit gemessen werden. Der Widerstand des Rahmenkreises muß wegen der Rückwirkung des Eingangswiderstandes des Verstärkers häufig nachgeprüft werden.

b) Verfahren nach Anders. Das Verfahren ist im Telegraphentechnischen Reichsamt von G. Anders nach Vorarbeiten von Leithäuser und Wie-

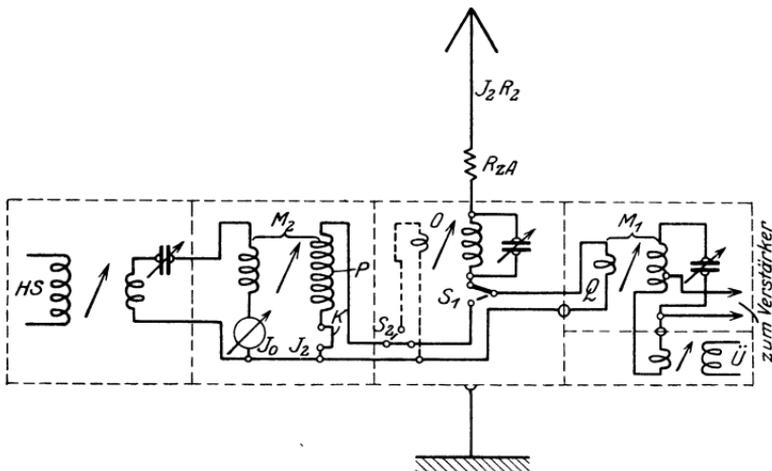


Abb. 619. Meßanordnung nach Anders.

denhoff durchgebildet worden. Die Schaltung der Anordnung zeigt Abb. 619. Sie ist sowohl für offene Antennen wie für Rahmen verwendbar. Die Empfangsanordnung besteht aus einem Antennenkreis, der kleinen Kopplungsspule Q , einem Sekundärkreis, einer Verstärkeranordnung (Hoch- und Niederfrequenzverstärker), einem Tonkreis und Überlagerer. In die Primärwicklung eines im Ausgang des Niederfrequenzverstärkers liegenden Spannungstransformators ist ein Fernhörer zur Auffindung der zu messenden Station geschaltet. An der Sekundärwicklung dieses Transformators liegt ein Wulfsches Einfeldenelektrometer, das für die Messungen benutzt wird. Der Hilfssender besteht aus einem Röhrengenerator, dem Meßkreis und einem nicht abgestimmten Kreis (Spulen P und Q), der über eine eichbare Kopplung M an den Meßkreis angekoppelt wird. Ist die Antennenstromstärke I_2 so groß, daß sie mit Thermoelement oder Baretter gemessen werden kann, so wird die Meßschleife Q unmittelbar in den Meßkreis gelegt. Bei schwachen Strömen ist das Übersetzungsverhältnis zwischen dem Meß- und dem nicht abgestimmten Kreis PQ zu bestimmen. Es wird eine Art Umkehrung des Stromwandlerprinzips angewendet, und zwar ist

$$\frac{I_0}{I_2} = \ddot{u} = \frac{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}{\omega M},$$

hierin bedeuten u = das Übersetzungsverhältnis, I_0 = den Strom im Meßkreis in A, I_2 = den Strom im Kreis PQ in A, R = der Verlustwiderstand in Ω , L = die Induktivität des Kreises PQ , M = die Gegeninduktivität der beiden Kreise in H. Bei verlustarmen Kreisen ist $(\omega L)^2$ leicht $\gg R^2$ zu machen. Dann ist das Übersetzungsverhältnis $u = I_0/I_2 = L/M$ also unabhängig von Frequenz- und Widerstandsänderungen. Es wird experimentell für die verschiedenen Stellungen des Transformators bestimmt. Der gesuchte Antennenstrom I_2 ist alsdann I_0/u .

Als Instrumente werden im Meßkreis Thermoelement oder Baretter je nach der Größe der zu messenden Ströme verwendet. Die Anordnung gestattet Antennenströme bis 10^{-7} A zu bestimmen.

Die Messungen werden in der Weise ausgeführt, daß die Empfangsanordnung auf einen gewünschten Ausschlag im Elektrometer abgestimmt wird, wobei sie der Anforderung genügen soll, daß der Elektrometersausschlag in dem betreffenden Meßbereich möglichst der Antennenstromstärke linear proportional ist. Alsdann wird die Spule Q auf den Hilfssender umgeschaltet und durch Abstimmung und Kopplungseinstellung des Hilfssenders bei unveränderter Belassung der Empfangsanordnung der Elektrometerfaden auf gleichen Ausschlag wie vorher gebracht. Es fließt alsdann in der Spule Q derselbe Strom in Frequenz und

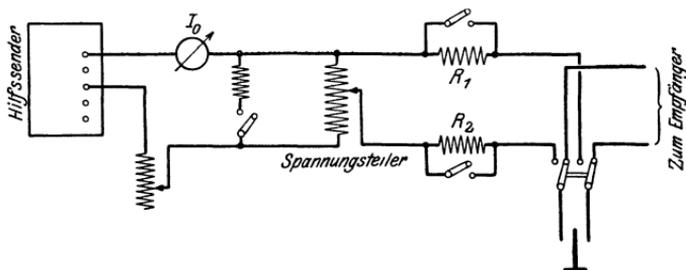


Abb. 620. Meßanordnung nach Austin.

Amplitude wie aus der Antenne. Nach den in Formel (1069, 2) gegebenen Beziehungen $\mathcal{E} = I_2 \cdot R_2/h_2$ wird alsdann das elektrische Feld nach Bestimmung der wirksamen Höhe der Empfangsantenne und des Widerstandes des Antennenempfangskreises berechnet. Die Anordnung arbeitet völlig objektiv und ist unabhängig von der Einwirkung der Luftstörungen auf den Ausschlag des Elektrometers. Die zu messenden Zeichen lassen sich von den Luftstörungen sicher unterscheiden.

Mit der Anordnung sind seit dem Sommer 1922 umfangreiche Messungen der einfallenden Wechselfelder der amerikanischen Großstationen Rocky Point und Marion (WQK, WQL, WSO), Bestimmungen von Antennenhöhen (Nauen, Königs-Wusterhausen, Herzogstand, Rundfunksender in Berlin) ausgeführt worden. Die elektrischen Felder der amerikanischen Großstationen haben dabei Werte in der Größenordnung von $15 \mu\text{V/m}$ am Tage, bis $250 \mu\text{V/m}$ in der Nacht ergeben.

c) Verfahren von L. W. Austin und E. B. Judson. In Amerika führt L. W. Austin seit längerer Zeit Feldstärkebestimmungen aus. Er bedient sich dabei einer Meßanordnung, die öfter abgeändert und jetzt nach Abb. 620 geschaltet ist. Sie beruht auf einem Lautstärke- und Tonvergleich des über die Empfangs- und über die Meßanordnung erzeugten Tones im Fernhörer. Der von dem Hilfssender (Stimmgabelgenerator) erzeugte Tonfrequenzstrom 1000, auf den auch der Empfangston eingestellt werden muß, wird mit einem Hochfrequenzmeßinstrument gemessen und über einen gestuften Spannungsteiler dem Fernhörer zugeführt, so daß der Telefonstrom berechnet werden kann.

Der Hilfssenderstrom beträgt gewöhnlich 10 mA, so daß über den Spannungsteiler von 100Ω ein Spannungsabfall von 1 V eintritt. Für schwache Ströme ist noch ein Nebenschluß vorgesehen, damit der Strom im Meßkreis nicht geändert zu werden braucht. Die Widerstände R_1 und R_2 betragen je $0,2 M\Omega$ und sind so groß bemessen, daß eine Veränderung der Impedanz des Fernhörer vernachlässigbar ist.

Experimentell ist gefunden worden, daß beim Schwebsempfang, den die Methode anwendet, der Strom I_t im Fernhörer gleich der Quadratwurzel aus der Leistung in Watt in der Empfangsantenne ist

$$\sqrt{N} = B I_t.$$

Da ferner

$$N = \frac{E^2}{R} = \frac{h^2 \mathcal{E}^2}{R}$$

ist, wird die Feldstärke

$$\mathcal{E} = \frac{B I_t + \sqrt{R}}{h}$$

gefunden.

B ist eine Apparatkonstante, die von Zeit zu Zeit durch Messung der Zeichen einer bekannten Station oder mit einem zweiten Hilfssender über eine Widerstandskopplung bestimmt wird.

Die Methode verzichtet auf eine getreue Nachbildung der auf der Antenne einfallenden Hochfrequenzschwingungen, sondern bestimmt objektiv nur die Stromstärke im Fernhörer mittels des Hilfssenders. Sie setzt eine gute Konstanz der Anordnung voraus; Änderungen können nur durch Nacheichung bei einer neuen Bestimmung der Konstante B erkannt werden.

d) Andere Meßverfahren. Meßanordnungen sind ferner von G. Vallauri, M. Guierre, H. I. Round und F. C. Lunnon, G. W. Pickard, sowie von R. Bown, C. A. Englund und H. D. Friis ausgebildet worden. Sie benutzen das Hilfssenderverfahren und den Lautstärkevergleich im Fernhörer und unterscheiden sich nur durch die Art der Bestimmung des Hilfssenderstromes im Meßkreis.

Vallauri verwendet zwei senkrecht zueinander stehende Rahmen, von denen der eine durch die zu messende Station, der andere durch den Hilfssender erregt wird. Die dem Hilfssenderrahmen aufgedrückte Spannung wird gleich der vom Außensender gemacht (Ton und Lautstärkevergleich im Fernhörer) und über geeichte induktive Kopplungen bestimmt.

Guierre benutzt zum Empfang eine offene Antenne (Schiffsantenne des Kreuzers Aldebaran) und induziert auf diese eine regel- und berechenbare EMK. Ein Ersatzkreis ist nicht vorhanden. Das Verfahren erfordert eine Zusammenarbeit zwischen Sender und Empfänger, da in der Zeit der Einschaltung des Hilfssenders die zu messende Station nicht senden darf.

Pickard verwendet einen Rahmen und erregt ihn durch den Hilfssender über eine ohmsche Widerstandskopplung, deren Endglied auch beim Fernempfang im Rahmenkreis liegt. Beim Messen muß der Rahmen zwischen Maximum- und Minimumstellung hin- und hergedreht werden, damit der Außensender keine Spannung induzieren kann.

Bown, Englund und Friis nehmen an Stelle der Widerstandskopplung eine künstliche Leitung, die bei gleichen Eingangs- und Ausgangswiderständen nur rein ohmsche Widerstände in Reihen- und Parallelschaltung enthält und deren Schwächungsfaktor bekannt ist. Die Widerstandskopplungen haben den Nachteil, daß ungewollte kapazitive Kopplungen, wie Möller und Schrader gezeigt haben, leicht zu fehlerhaften Meßergebnissen führen können.

Round und Lunnon verwenden eine offene Antenne und für den Hilfssender einen Ersatzkreis mit künstlicher Antenne.

Eine prinzipiell gleiche Anordnung hat Bergmann in der Telefunken-Zeitung 7. Jahrg., S. 22—29, 1925, beschrieben.

An eine Meßanordnung muß die Forderung der Objektivität gestellt werden. Dieser Grundsatz ist bei den unter (1071, c u. d) aufgeführten Anordnungen nicht erfüllt. Sie verwenden den Fernhörer als Anzeigemittel und beruhen daher auf einem Ton- und Lautstärkevergleich, wenn auch der Ersatzstrom mit geeigneten Instrumenten über geeichte Kopplungen objektiv bestimmt wird. Die Meßergebnisse sind dem subjektiven Empfinden des Beobachters und der Unzuverlässigkeit des Ohres, das Lautstärkeunterschiede bis zu 25 vH. nicht wahrnimmt, unterworfen. Bei Austin und Round und Lunnon kommt noch hinzu, daß ein von Störungsgeräuschen überlagerter und ein reiner Ton miteinander verglichen werden müssen. Der Außenton erscheint durch die Störungsgeräusche stark geschwächt, so daß der Hilfssender zu wenig erregt wird und Meßfehler sehr leicht auftreten können.

Beim Zusammenbau der Meßanordnungen ist allgemein darauf zu achten, daß vom Hilfssender nur die gemessenen Strombeträge auf die Empfangsanordnung gelangen. Die einzelnen Kreise sind daher durch Einbau in metallbeschlagene Kästen abzuschirmen. Die unter (1071, b) besprochene Anordnung ist z. B. in vier abgeschirmten Kästen untergebracht: 1. Hilfssender, 2. Stromwandler, 3. Antennenabstimmittel, 4. Hochfrequenzverstärker und Überlagerer.

Literatur: Barkhausen: Theorie der gleichzeitigen Messung von Sendem- und Empfangsstrom. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 5, S. 261, 1912. — Lindemann: Untersuchung über die Widerstandszunahme von Drahtlitzten bei schnellen elektrischen Schwingungen. Ebenda Bd. 4, S. 561, 1911. — Pauli, H.: Dämpfungsmessungen mit ungedämpften elektrischen Schwingungen. Z. techn. Phys. Bd. 5, S. 376, 1921. — Braun, F.: Eine absolute Messung des vom Eiffelturm ausgestrahlten Feldes in Straßburg. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 8, S. 132, 212, 1914. — Rausch von Traubenberg: Über quantitative Bestimmungen elektromagnetischer Strahlungsfelder in der drahtlosen Telegraphie. Ebenda Bd. 14, S. 569, 1919. — Pession: The Measurement of the Effective Height of Aerials. Radio Rev. Bd. 2, S. 228, 1921. — Reich: Quantitative Messungen der durch elektrische Wellen übertragenen Energie. Phys. Z. Bd. 14, S. 934, 1913. — Anders, G.: Messung der Empfangsintensität im Radiotaschenbuch von Banneitz. Berlin: Julius Springer. — Ders.: Quantitative Empfangsmessungen in der Funkentelegraphie. Dresdner Dissertation 1925. — Baumler, M.: Die Ausbreitung der elektrischen Wellen in der Großstadt. El. Nachrichtentechn. Bd. 1, S. 160, 1924. — Ders.: Neue Untersuchungen über die Ausbreitung der elektro-magnetischen Wellen. Ebenda Bd. 1, S. 50, 1924. — Austin u. Judson: A Method of Measuring Radio Field Intensities and Atmospheric Disturbances. Proc. Inst. Radio Eng. Bd. 12, S. 521, 1924. — Austin: Some Trans-Pacific Radio Field Intensity Measurements. Ibid. Bd. 13, S. 150, 1925. — Hollingworth: The Measurement of the Electric Intensity of Received Radio Signals. J. Inst. El. Eng. Bd. 61, S. 504, 1923. — Vallauri: Measurement of the Electromagnetic Field of Waves received during Transoceanic Transmission. Proc. Inst. Radio Eng. Bd. 8, S. 286, 1920. — Guierre: The Transmission of Wireless Signs between Toulon and Haiti. Radio Rev. Bd. 2, S. 618, 1921. — Pickard: The Direction and Intensity from European Stations. Proc. Inst. Radio Eng. Bd. 10, S. 161, 1920. — Bown, Englund and Friis: Radio Transmission Measurements. Ibid. Bd. 11, S. 115, 1923. — Round and Lunnon: Discussions on Long Distance Wireless Transmission. J. Inst. El. Eng. Bd. 59, S. 685, 1921. — Möller und Schrader: Über die Herstellung kleiner Wechselspannungen mit bekannter Amplitude. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 22, S. 56, 1923.

Messungen an Elektronenröhren.

(1072) Aufnahme der Kennlinien. Bis zu 400 V empfiehlt es sich, die Anodenspannung vom Potentiometer *P* (Abb. 621) abzunehmen. Über 400 V ist der Kurzschlußstecker 4,5 zu ziehen, eine Gleichstromhochspannungsmaschine oder ein Gleichrichteraggregat einzuschalten und das Potentiometer nur noch zur Feinregulierung der Anodenspannung zu benutzen. Als Sicherungen für den Anodenstrom- und Raumladenetzstrommesser benutzt man vorteilhaft Wollastondrähre. Ein $5\ \mu$ starker Wollastondraht z. B. brennt bei 30 mA durch. Vor das Gittervoltmeter lege man einen Stromwender. Als Gitterstrommesser wird man häufig ein hochempfindliches Galvanometer benutzen müssen. Zum Schutze dieses Instrumentes rüste man den Apparat mit Kurzschließer und Vorschaltwiderstand (1 M Ω Silitwiderstand) aus.

Um von den Verzerrungen der Charakteristik durch den Spannungsabfall des Heizstroms (1194) und durch das Magnetfeld des Heizstroms (1198) freizukommen, kann man den 3fachen Kurzschlußstecker 1, 2, 3 ziehen und die Schottkysche Kontakteinrichtung anschließen. Die Bedeutung der Dämpfungskreise D wird in (1202) erläutert.

(1073) Einstellung des Heizstromes. Der Sättigungsstrom ist sehr stark von der Heizung abhängig. Auf seine Einstellung ist große Sorgfalt zu verwenden. Am ungenauesten ist die Kontrolle des Heizstromes mit dem Amperemeter, zuverlässiger die Beobachtung der Heizspannung. Denn diese steigt bei einer Zunahme des Heizstromes in doppelter Weise, einmal nach dem Ohmschen Gesetze: $\partial U_1 = R dI$, andererseits infolge der Widerstandszunahme des Fadens

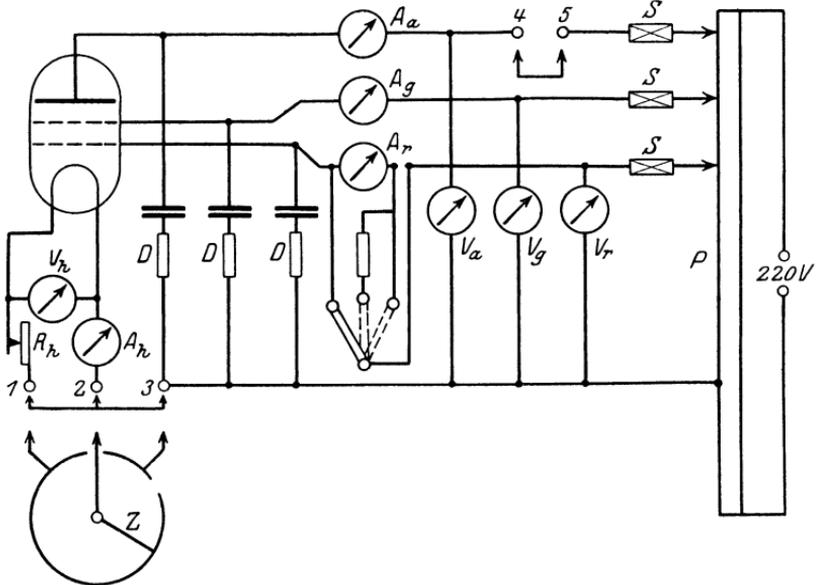


Abb. 621. Apparat zur Kennlinienaufnahme. A Amperemeter, V Voltmeter, S Sicherung, P Potentiometer, a Anodenkreis, g Gitterkreis, r Raumladungsgitterkreis, h Heizkreis, D Dämpfungen, Z Kontakteinrichtung.

mit wachsender Temperatur (mit wachsendem Strom): $\partial U_2 = I(dR/dI)dI$. Das Verhältnis der prozentischen Anstiege der Spannung $dU/U = (\partial U_1 + \partial U_2)/U$ und des Stromes dI/I berechnet sich zu $dU/U : dI/I = 1 + I^2 dR/U dI > 1$.

Noch empfindlicher ist die Einstellung des Heizstromes unter Beobachtung des Sättigungsstromes.

Die Angaben des Heizstromes werden durch den Elektronenstrom gefälscht. Die negative Hälfte des Glühfadens ist immer die heißere, denn durch diese fließt der Heizstrom + Elektronenstrom, während am positiven Ende nur der Heizstrom fließt. In der Lage 1a und 2b, Abb. 622a und b, mißt das Heizamperemeter Heizstrom + Elektronenstrom, in der Lage 2a und 1b nur den Heizstrom.

Bei unverändertem Heizwiderstand wird in der Stellung 1a und 2b der Heizamperemeterauschlag bei steigendem Anodenstrom steigen, im Falle 1b und 2a fallen. Eine Nachregulierung des Heizstromes im Falle 1a und 2b auf konstanten Heizstrom hätte durch Zuschalten von Widerstand zu geschehen.

Es ist nicht gleichgültig, ob man eine Röhre mit hoher Spannung und großem Vorschaltwiderstand oder gerade mit der richtigen Spannung und ohne Vorschaltwiderstand heizt.

Eine Nachregulierung des Heizstromes auf gleiche Heizspannung würde bei einem temperaturunabhängigen Heizfadenwiderstand eine Zuführung konstanter Gesamtheizleistung bedeuten. Steigt der Widerstand mit der Temperatur, so wird bei hohen Anodenströmen der Faden bei konstanter Heizspannung etwas unterlastet.

Bei hohen Anodenspannungen wird die Anode erhitzt und die Fadentemperatur durch Rückheizung gesteigert.

Bei Wechselstromheizung mit einer Zuführung des Anodenstromes in der Mitte des Fadens ist die Fadentemperatur am gleichmäßigsten. Sofern der Heizstrom eine genügend hohe Frequenz hat, ist die Wechselstromheizung der Gleichstromheizung vorzuziehen.

(1074) Fadentemperatur. Die mittlere Temperatur des Fadens wird man meist aus der Widerstandserhöhung berechnen. Sind die Glühfäden an die Halter nicht angeschweißt, wird die Widerstandsmessung leicht durch Übergangswiderstände gestört. Als Kontrolle steht die Aufnahme der Kennlinie für negative Steuerspannungen zur Verfügung; man ermittle dann T aus der Schottkyschen Beziehung: $I = I_s \cdot \frac{2}{\pi} \sqrt{\varepsilon \varphi / k T} \cdot e^{-\varepsilon \varphi / k T}$ oder $d \ln I / d \varphi = -\frac{\varepsilon}{k T} + \frac{1}{2 \varphi}$.

Das 2. Glied $1/2\varphi$ spielt in praxi keine Rolle, so daß man die Temperatur nach Barkhausen-Rothe einfach aus der Beziehung

$$T = \frac{10^5}{8,6} \frac{d \varphi}{d \ln I_e}$$

berechnen kann. Bei dieser Messung ist auf die Störungen durch die ungleichmäßige Temperaturverteilung des Fadens (1073) und durch das Potentialminimum (1175) zu achten. Letztere werden namentlich bei hochemittierenden Glühfäden (Zahlenrechnung nach 1197) bedenklich. Im allgemeinen wird man auf das Potentialminimum keine Rücksicht zu nehmen brauchen, wenn man mit Elektronenströmen arbeitet, die kleiner als 10^{-6} A auf 1 cm Glühfadenlänge sind.

Bei Oxydverstärkerröhren mit niedriger Heizspannung und kurzen Heizfäden ist oft die Wärmeableitung nach den Fadenenden beträchtlich und dadurch die Elektronenausbeute (1174) gering. Es kann dies an der fertigen Röhre durch das Studium der Temperaturverteilung an Hand der Kennlinien festgestellt werden (1192).

(1075) Verteilungskurven, Absonderung von Sekundärelektronen. Wegen der Linearität der Gleichungen ist sowohl für die Elektronenbewegung wie auch für das elektrische Feld die prozentische Verteilung des Emissionsstromes auf Gitter und Anode nur vom Spannungsverhältnis abhängig (1199). Man kann daher die Absolutwerte der Spannungen nach Belieben wählen. Um vom Einfluß der Sekundärelektronen frei zu sein, wähle man nach Barkhausen geringe Spannungen und geringe Heizungen.

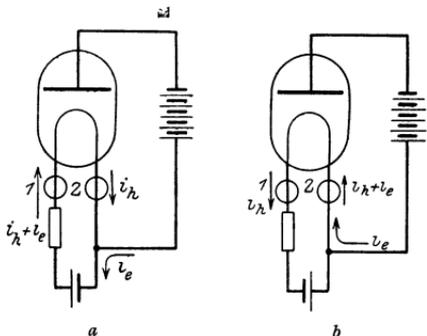


Abb. 622. Beeinflussung der Heizung durch den Elektronenstrom. Die Elektronen laufen in der Pfeilrichtung.

Um die langsamen Sekundärelektronen von den rascheren Primärelektronen zu trennen, benutze man nach Barkhausen-Lange ein koaxiales Magnetfeld. Ist z. B. der Anodenstrom über seinen normalen Wert hinaus durch Sekundärelektronen gesteigert, die vom Gitter ausgehen, so werden diese Sekundärelektronen eine geringere Geschwindigkeit als die primären haben. Man kann dann ein koaxiales Magnetfeld so einstellen, daß die Sekundärelektronen auf das Gitter zurückgebogen werden, während die primären noch zur Anode kommen.

(1076) **Das elektrische Feld in Röhren mit Spiralgitter.** Wenn man die günstigsten Maße einer Elektronenröhre ermitteln will (Dicke und Abstand der Gitterwindungen, Abstand Gitter—Anode), wird man im allgemeinen auf Probieren angewiesen sein, da sich nur die Feldverteilung in den weniger gebräuchlichen Röhren mit Parallelgitterstäben theoretisch durchrechnen läßt. Die Potentialverteilung in Röhren mit gewickeltem Gitter läßt sich sehr leicht in einem geneigten elektrolytischen Trog aufnehmen, der mit verdünnter Kupfersulfatlösung gefüllt ist und in dem in vergrößertem Maßstabe die Elektroden (G, A) aus Kupfer eingebaut sind (Abb. 623). Auf dem Grunde der Schale liegt ein geöltes

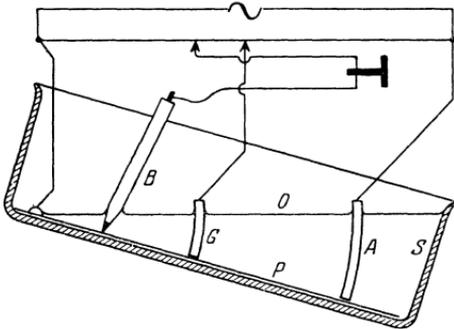


Abb. 623. Aufnahme der Potentialverteilung in Röhren.

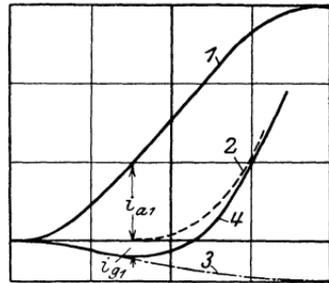


Abb. 624. Gitterkennlinie bei gashaltigen Röhren.

Zeichenblatt oder eine Mattglasscheibe P . Die Potentiallinien sind unter Beobachtung des Schweigens im Telefon mit dem elektrisch angeschlossenen Bleistift B direkt aufzuzeichnen.

(1077) **Gasgehalt.** a) Die Ionisationsmethode. Es sei z. B. die Anodenspannung einer Verstärkerröhre 200 V, die Gitterspannung -2 V. Bei gutem Vakuum wird dann ein kräftiger Elektronenstrom, z. B. 4 mA zur Anode fließen, während auf das negative Gitter praktisch keine Elektronen fliegen. Das Gitter ist also stromlos.

Befinden sich Gasreste in der Röhre, so werden diese ionisiert. Die hierdurch entstehenden Elektronen wandern mit zur Anode, die positiven Gasionen zum Gitter. Dieser Ionenstrom (β) ist proportional dem Gasdruck und dem erregenden Elektronenstrom (I). Bei positivem Gitter addiert sich hierzu der normale Gitterelektronenstrom (2); man erhält dann Kennlinien von der Form der Abb. 624 (4). Bei gutgepumpten Röhren soll der Gasfaktor $[i_g/i_a$ (Barkhausen)] 10^{-4} nicht überschreiten, i_g bei 1 mA Anodenstrom kleiner wie 10^{-6} A bleiben.

Der Proportionalitätsfaktor Q in der empirischen Gleichung $\beta = Q i_g / i_a$ hängt von den Abmessungen der Röhre und der Natur des Gases ab.

Telefunken schlägt vor, die Anode negativ und das Gitter positiv zu laden. Der Gasionenstrom fließt dann zur Anode.

b) Gasfreiheit der Elektroden. Die Elektronenröhren durften wohl immer so gut gepumpt sein, daß bei kalter Anode Gas nicht nachweisbar ist.

Wohl aber tritt bei glühender Anode Gas aus dem Metall aus. Die Elektroden müssen daher bei der Herstellung durch Erhitzen mit Elektronenbombardement oder durch Induktionsströme sorgfältig entgast werden.

Der Gasgehalt einer Elektrode ist aber nur festzustellen, wenn er durch Erhitzen freigemacht wird, wenn man also mißt, während die Elektrode heiß ist, da sie beim Abkühlen das Gas wieder absorbiert. Um die Gasfreiheit des Gitters zu untersuchen, würde man also die Telefunkturmethode benutzen, während die Gasfreiheit der Anode nach (1077, a) zu prüfen wäre.

c) Thoreffektabnahme. Für Senderöhren stehen Anodenspannungen, die hinreichen, um bei negativem Gitter so starke Anodenströme zu erzeugen, daß die Anodenbleche zum Gluhen kommen, meist nicht zur Verfügung. Die unter a beschriebenen Methoden sind also nicht anwendbar. Nun enthält jeder Wolframdraht Thoroxyd und zeigt eine Erhöhung der Emission durch Thorium (1174). Diese Thorschicht ist sehr empfindlich gegen Ionenbombardement. Sowie Gas aus der Anode austritt, wird die Thorschicht mit zunehmendem Gasgehalt immer mehr zerstört. Die prozentische Bedeckung, die sich als dynamisches Gleichgewicht einstellt, sinkt und mit ihr der Sättigungsstrom. Ein Absinken des Sättigungsstromes um 20 vH bei glühender Anode wurde während des Krieges bei den Prüfungen der Senderöhren durch die Militärbehörde zugelassen.

d) Leuchterscheinungen bei dunkelglühenden Oxydröhren. Bei Oxydröhren bietet auch das im völlig verdunkelten Zimmer wahrnehmbare blaue Leuchten ein recht scharfes Kriterium für Gasreste. Bei Verstärkeröhren tritt es bei 200 V Gitter- und Anodenspannung und etwa 20 bis 30 mA Elektronenstrom auf, während es bei normalem Betrieb nicht zu beobachten ist. Kornblumenblaues Leuchten (von dem graublauen bei schlechtem Vakuum wohl zu unterscheiden) zeigt Gasreste an, die nach der Ionisationsmethode meist nicht mehr nachweisbar sind.

Man verwechsle dabei dieses Leuchten nicht mit der Fluoreszenz der auf die Anode zerstäubten Oxydteilchen. Man sehe genau in der Richtung des Fadens durch die Röhre, damit der Faden durch die Halter verdeckt ist, da bereits schwache Rotglut das Auge blendet.

(1078) Isolationsprüfung. Für Verstärkeröhren ist gute Isolation von hoher Wichtigkeit (1180). Diese wird leicht durch schlechte Vergußmasse, nicht einwandfreies Material der Sockelplatten, in die die Steckerstifte eingesetzt sind, oder fehlerhaftes Eingipsen verdorben. Für die Messung extrem schwacher Gleichströme mit Hilfe von Röhren ist von R. Jäger im Laboratorium des Siemenskonzernes eine Spezialröhre mit hochisoliertem Gitter (Gitterdurchführung Abb. 625) entwickelt worden.

Eine betriebsmäßige Prüfung der Isolation mit einem Galvanometer ist umständlich. Von C. H. F. Müller (Hamburg) wird daher folgende Prüfmethode angewandt (Abb. 626). Man stellt den Schalter S der Reihe nach auf die Stellungen 1, 2, 3. — 1. Man mißt den Sättigungsstrom. Prüfung, ob der Faden die richtige Emission hat. — 2. Der Strom sinkt bei richtigem Durchgriff auf $\frac{2}{3}$ des Sättigungsstromes. Prüfung des Durchgriffes. — 3. Wenn die Röhre hinreichend isoliert ist und kein Gas hat, entleert sich das Gitter über den Xylolwiderstand von 1000 M Ω . Das Milhamperemeter geht auf Null. Hat die Röhre einen Isolationsstrom oder Gasionenstrom von mehr als $2 \cdot 10^{-8}$ A, so bleibt

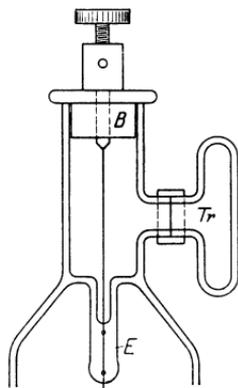


Abb. 625. Hochisolierte Gittereinführung einer zum Messen extrem schwacher Gleichströme von R. Jäger konstruierten Röhre.

ein Ausschlag des Anodenamperemeters bestehen. Um zu entscheiden, ob es sich um Gas oder Isolationsfehler handelt, schalte man den Glühdraht aus und neu wieder ein. Ist die Isolation gut, so lädt sich das Gitter während des Ausschaltens negativ und der Anodenstrom setzt nach dem Neueinschalten des Heizstromes nicht wieder ein.

Diese Betriebsprüfung hat den Vorteil, daß nur das handliche und durch eine Wollastondrahtsicherung leicht zu schützende Milliampereometer benutzt wird.

(1079) Röhrenkapazität. Um die Widerstandverstärkung auch für kürzere Wellen anwenden zu können, sowie um die Eigenfrequenz der mit der folgenden Röhre belasteten Zwischentransformatoren im Lautverstärker herabzusetzen, ist es wichtig, die Kapazität von Röhren, Sockeln und Stecker soweit wie möglich zu verringern.

Die kleinen Kapazitäten werden am besten nach der Schwebungsmethode gemessen [Abb. 629 (1080)], unter Ersatz der Röhre durch einen geeichten Fein-

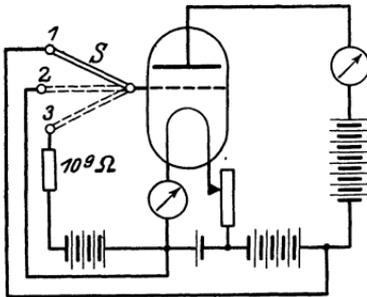


Abb. 626. Betriebskontrolle von C. H. F. Müller, Hamburg.

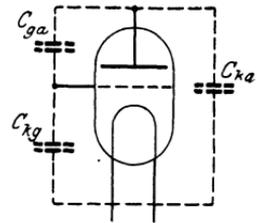


Abb. 627. Innere Kapazitäten einer Röhre.

kondensator. Um die 3 Röhrenkapazitäten C_{ga} , C_{kg} , C_{ka} zu erhalten (in Abb. 627 sind diese Kapazitäten punktiert neben die Röhre gezeichnet), sind 3 Messungen nötig:

1. Gitter und Anode kurzgeschlossen, zwischen Gitter und Kathode gemessen. Man erhält $C_1 = C_{kg} + C_{ka}$.

2. Gitter und Kathode kurzgeschlossen, zwischen Gitter und Anode gemessen; man erhält $C_2 = C_{ga} + C_{ka}$.

3. Anode und Kathode kurzgeschlossen; zwischen Anode und Gitter gemessen; man erhält $C_3 = C_{kg} + C_{ga}$.

Die Einzelwerte für C_{ga} , C_{ka} , C_{kg} sind dann aus $C_1 C_2 C_3$ zu berechnen.

Um die Kapazität von Röhre, Sockel und Stecker herabzusetzen, hat C. H. F. Müller gemeinsam mit Dr. Schrader den in Abb. 628 dargestellten kapazitätsarmen Röhrensockel gebaut.

(1080) Eichung des Feinkondensators. Zur Durchführung der geschilderten Röhrenkapazitätsmessungen braucht man einen Feinkondensator, der eine Kapazitätsänderung von 1 mm noch abzulesen gestattet. Mit der Seibtschen Meßbrücke kann man aber Kapazitäten unter 200 cm mit guter Genauigkeit nicht mehr messen. Zur Eichung des Feinkondensators wird daher eine Methode gebraucht, die gestattet, einen größeren Kondensator in genau gleiche Teile zu teilen.

Zu diesem Zwecke schalte man den Kondensator in die Apparatur Abb. 629 an Stelle von X ein und stimme den Schwebungston mit einem Stimmgabelton gleich. Dann verstimme man X über die absolute Resonanz heraus, bis der Schwebungston wieder dem Stimmgabelton gleich. Der Feinkondensator X sei um ΔC vergrößert. Dann drehe man C_f zurück, bis wieder der Stimmgabelton

erreicht ist, und wiederhole das Verfahren. Jedesmal ist der zu eichende Kondensator X um genau das gleiche Stück ΔC vergrößert worden. Wir erhalten so eine Einteilung in genau gleiche Teile, deren Größe man dann durch Division

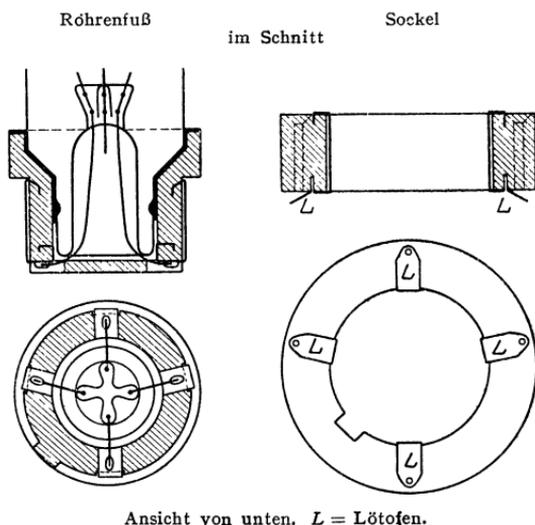


Abb. 628. Kapazitätsarmer Sockel nach Dr. Schrader-Müller.

mit der Teilzahl aus der leicht genau zu messenden Gesamtkapazität des Feinkondensators X erhält.

Da die einzelnen Abstimmungen leicht auf 10^{-6} genau gemacht werden können, sind die Fehler der einzelnen Messungen so gering, daß sich auch der Gesamtfehler in zulässigen Grenzen hält.

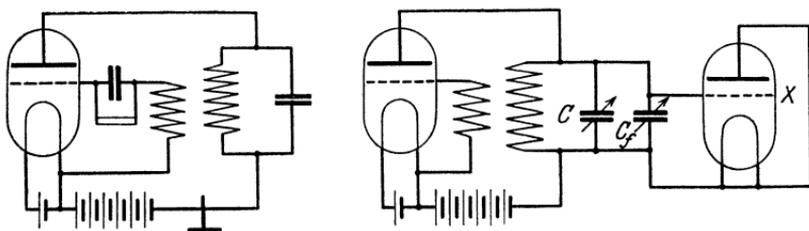


Abb. 629. Einteilung eines Feinkondensators in gleiche Teile.

Die Kapazität der Zuleitungen, die mehrere Zentimeter betragen kann, geht in die Messung nicht ein, bildet also keine Fehlerquelle.

(1081) Durchgriff. Eine bequeme Messung mit Wechselstrom. Man stelle in Abb. 630 den Brückenkontakt c so ein, daß das Telephon schweigt. Das Brückenverhältnis a/b gleicht dem Durchgriff. Es gilt dann

$$I_{ma} = di_a/de_{at} \cdot (-U_{mg} + DU_{ma}) = 0; \quad -U_{mg} + DU_{ma} = 0; \quad U_{mg}/U_{ma} = a/b = D.$$

(1082) Messungen mit Röhrengleichrichtern. Vorsichtsmaßregeln beim Messen mit Röhrevoltmtern. Die Meßanordnungen für die Eichung des Hohageschen Röhrevoltmeters und des Audionvoltmeters sind in Abb. 633 und

634, die Eichkurven in Abb. 631 und 632 dargestellt, ihre Theorie wird in (1216, 1217) besprochen. Als Vorsichtsmaßregeln kommen in Frage:

a) Beseitigung unbeabsichtigter kapazitiver Kopplungen. Man trenne die Kopplungsspule von der Kathode, dann wird der Anodenstrom beim Röhren-

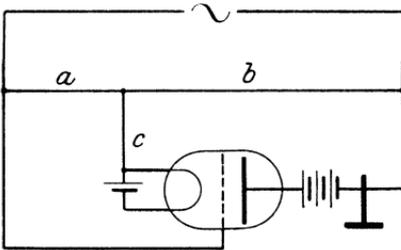


Abb. 630. Messung des Durchgriffes mit Wechselstrom.

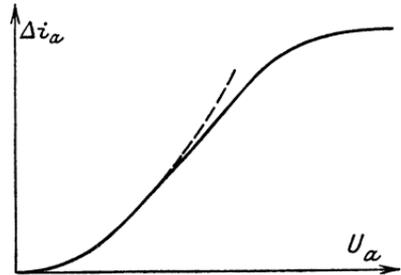


Abb. 631. Eichkurve des Hohageschen Röhrenvoltmeters, gestrichelt Parabel.

voltmeter steigen, beim Audionvoltmeter sinken. Wenn man jetzt den Wechselstrom in Spule L_1 einschaltet, darf sich der Anodenstrom nicht ändern.

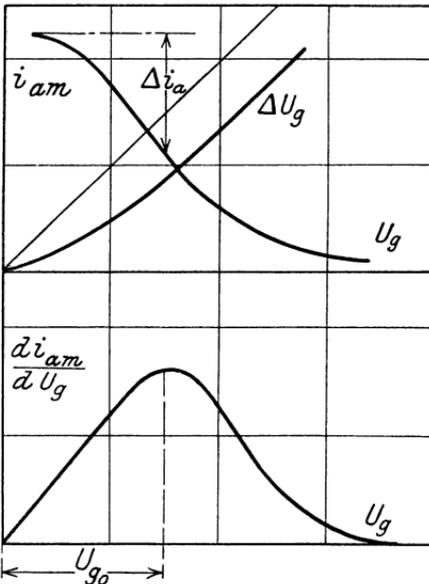


Abb. 632. Eichkurven des Audionvoltmeters.

b) Um die Symmetrie des zeitlichen Verlaufes des Wechselstromes zu prüfen, pole man die Spule L_2 um. Ist der zur Messung verwandte Wechselstrom symmetrisch, darf sich hierdurch der Röhrenvoltmeterausschlag nicht ändern (Abb. 635).

c) Da L_2 zusammen mit der Röhre einen schwach gedämpften Schwingungskreis bildet, sind bei Veränderung der Frequenz Resonanzmaxima, wie in Abb. 635 dargestellt, zu erwarten. Das würde bei jedem andern statischen Voltmeter (Einfadenelektrometer) auch der Fall sein.

(1083) Röhrengalvanometer für Gleichstrom. Die Messung der sehr schwachen Photoströme und der von Röntgenstrahlen ausgelösten Ionisationsströme erfordert Strommesser, deren Empfindlichkeit die eines Spiegelgalvanometers noch um einige Zehnerpotenzen übertrifft. Durch Verbindung eines hohen Wider-

standes ($10^3 \text{ M}\Omega$) mit der in (1078, Abb. 625) abgebildeten Spezialröhre mit hochwertig isoliertem Gitter, gelang es Jäger, Ströme bis zu $5 \cdot 10^{-13} \text{ A}$ mit einem technischen Zeigergalvanometer zu messen.

Durch die in Abb. 636 und 637 wiedergegebenen Gleichstromrückkopplungen gelang es ihm, auf eine Stromempfindlichkeit von etwa 10^{-14} A und eine Spannungsempfindlichkeit von 10^{-6} V zu kommen. Eine weitere wesentliche Steigerung der Empfindlichkeit ist durch feinere Einstellung der Rückkopplung leicht

möglich. Die Verwendung noch höherer Empfindlichkeiten als 10^{-14} A scheidet aber zur Zeit noch an der Schwierigkeit, den Heizstrom genügend konstant zu halten.

(1084) Messungen an Röhrengeneratoren. Experimentelle Aufnahme der Schwing- und Leistungslinien. In Abb. 638 sind V_1, V_2, V_3 Einfadenelektrometer. V_3 dient zur Bestimmung der Phasenverschiebung nach der 3-Voltmetermethode. Es ist durch den darüber liegenden Kondensator gegen Gleichspannung blockiert. Der Ausschlag des im Anodenkreis liegenden Hitzdrahtamperemeters ist proportional $I_a^2 + 1/2 I_{ma}^2$. Um $1/2 I_{ma}^2$ und hieraus I_{ma} zu erhalten, muß I_a

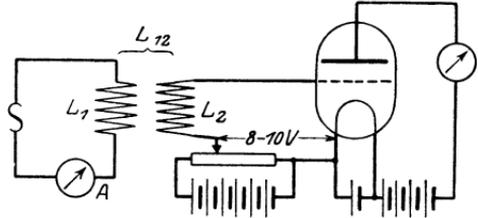


Abb. 633. Gleichrichtung um den unteren Knick.

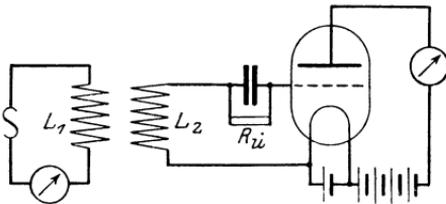


Abb. 634. Audiogleichrichtung.

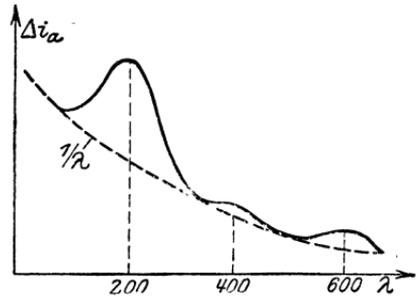


Abb. 635. Resonanzmaxima.

mit einem Gleichstrominstrument gemessen werden. Gleichstrominstrumente und -maschinen sind mit Kondensatoren zu überbrücken. Ein Potentiometer zur

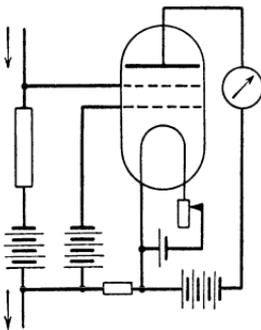


Abb. 636.

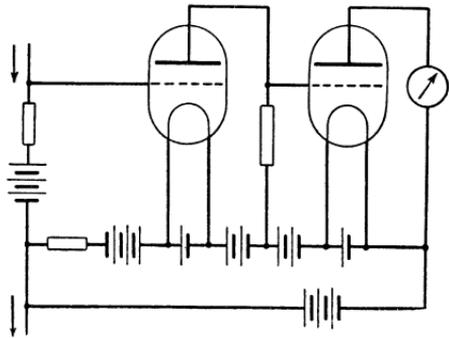


Abb. 637.

Gleichstromrückkopplungsschaltungen von R. Jäger.

Verminderung von U_g und Gleichstromvoltmeter zum Ablesen von U_g und U_a können leicht noch eingefügt werden.

Es können dann alle zur Aufzeichnung der Schwing- und Leistungslinien nötigen Ströme und Spannung abgelesen (bei den Strömen aus dem Wechsel-

strominstrument abgelesenen Strom I_i und aus dem am Gleichstrominstrument abgelesenen Strom I_a nach $I_i^2 = 1/2 I_{ma}^2 + I_a^2$ zu berechnen) und die Phase φ berechnet werden.

Der Audionwellenmesser.

1085) Schwingungseinsatz und Schwingungsweite eines rückgekoppelten Generators. Im Schwingaudion sind Röhrengenerator und Audiongleichrichter vereinigt. Die Größe der eigenen

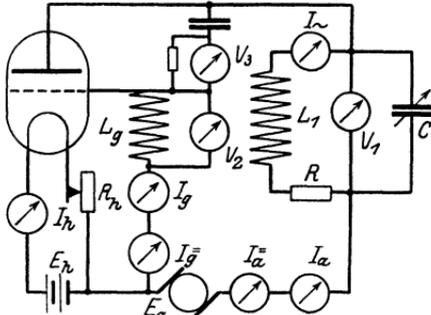


Abb. 638. Apparat zur Aufnahme der Schwing- und Leistungslinien.

legen. Einmal sind die Wechselströme, die von einer kleinen Verstärkerröhre erzeugt werden, so schwach, daß sie mit einem Hitzdrahtinstrument nicht mehr gemessen werden können. Ohne die Methode der Milliampereometermessung würden alle die genannten Versuche nur mit größeren Senderröhren angestellt werden können. Andererseits finden alle diese Untersuchungen Anwendung auf den Schwingaudionempfänger. Zum Studium seiner Einstellung ist das Milliampereometer unentbehrlich.

(1086) Einstellen der Heizung und Rückkopplung eines Schwingaudionempfängers. Nach (1207, 1208) wird die Empfangslautstärke am größten, wenn die Heizung so eingestellt ist, daß die Schwinglinie am Anfang möglichst genau geradlinig verläuft, wenn man also an der Grenze zwischen Folgen und Reißen ist. Andererseits soll man sich im Maximum der dI_a/dU_{ma} -Kurve (1082, Abb. 632) befinden. Dieses Maximum tritt ein, wenn der Anodenstrom bis dicht über den unteren Knick der Charakteristik abgesunken ist. Bei Telephonieempfang ist der Kreis durch Festigen der Rückkopplung so weit zu entdämpfen, bis das Milliampereometer bei einer Verstärkerröhre z. B. auf 1,5 mA abgesunken ist. Diese Rückkopplung liegt meist unterhalb des kritischen Wertes, bei dem die Schwingungen einsetzen. Ein festeres Rückkoppeln verringert die Empfangslautstärke.

Zwecks Einstellung der Heizung beobachte man den Schwingungseinsatz beim Festigen der Rückkopplung. Solange die Röhre folgt, verringere man den Heizstrom. Zu starke Heizung verringert die Lautstärke. Kommt man bei Röhren mit kleinem Durchgriff auf diese Weise zu allzu niedrigen Heizungen, muß die Anodenspannung erhöht werden.

Um die Störung des Rundfunkempfanges durch das Schwingen des eigenen Empfängers und das hierdurch bedingte Pfeifen vermeiden zu können, muß jeder Funkliebhaber wissen, daß er den Schwingungseinsatz durch ein plötzliches Absinken des Milliampereometerauschlags oder durch einen Knack im Telephon erkennen kann. Ist der Knack im Telephon scharf, so springt die Röhre; die Einstellung der Heizung ist für einen empfindlichen Empfang unbrauchbar; ist der Knack „weich“, so ist die Heizung richtig.

vereinigt. Die Größe der eigenen Schwingungsweite läßt sich mit Hilfe eines in den Anodenkreis geschalteten Milliampereometers messen. Hat man die Eichkurve des Audiongleichrichters (1082) festgelegt, so kann man sämtliche Messungen, für welche das Ablesen der Schwingungsweite nötig ist, durch Milliampereometerbeobachtungen ausführen, also sämtliche Versuche über den Schwingungseinsatz, über das „Ziehen“, Resonanzkurven und Dämpfungsmessungen.

Auf die Messungen mit dem Milliampereometer ist aus zwei Gründen besonderer Wert zu

(1087) Abstimmung eines Schwingungskreises auf ein Schwingaudion. Koppelt man mit dem Schwingaudion einen Schwingungskreis und stimmt man letzteren ab, so wird in der Resonanzlage der angekoppelte Kreis dem Schwingaudion Energie entziehen. Die Schwingungen werden schwächer, der Ausschlag im Milliampereometer steigt. Man erhält folgende Resonanzkurven. (Die obere

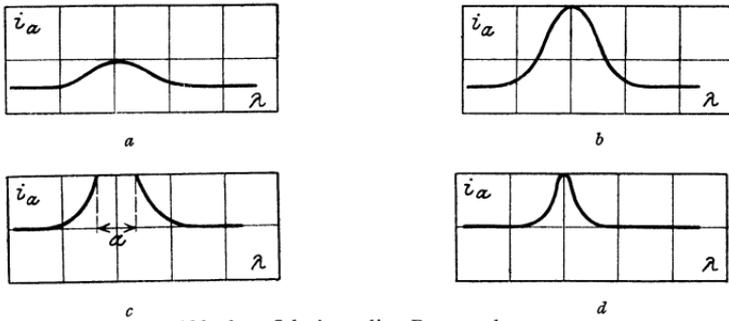


Abb. 639. Schwingaudion-Resonanzkurven.

Netzlinie stellt immer den Milliampereometerausschlag im schwingungslosen Zustande dar.) In Abb. 639a ist die Rückkopplung fest, die Kopplung zwischen Audion und Meßkreis lose.

In Abb. 639b sind L_{1g} (Rückkopplung) und L_{12} (Kopplung mit dem Meßkreis) fest. In Abb. 639c ist L_{1g} lose, L_{12} fest, in Abb. 639d ist die Rückkopplung so eingestellt, daß in der Resonanz die Schwingungen eben noch nicht aussetzen. Die Resonanzkurve wird außerordentlich scharf.

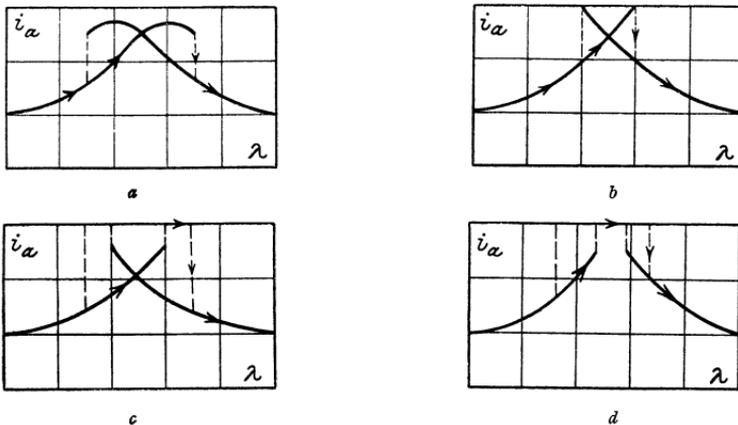


Abb. 640. Zieherscheinungen beim Schwingaudion.

Die Heizung ist wie beim Schwingaudionempfänger (1086) so einzustellen, daß man an der Grenze des „Springens“ und „Folgens“ aber noch im Folgegebiet arbeitet.

(1088) Die Zieherscheinungen. Bei zu fester Kopplung mit dem Meßkreis treten die Zieherscheinungen auf. In Abb. 640a ist die Rückkopplung fest, in Abb. 640b lose. Die Schwingungen setzen aus.

Folgen die Schwingungen nicht, sondern springen und reißen sie, so erhält man statt Abb. 640a Abb. 640c, statt Abb. 640b Abb. 640d.

Nach der hier angegebenen Methode kann man auch ein Schwingaudion auf einen Meßkreis abstimmen. Man erhält Resonanzkurven, die denen der Abb. 639 und 640 im Prinzip gleichen. Da aber der RKF jetzt nicht nur von der Meßkreisrückwirkung, sondern auch von der Frequenzänderung der Audionschwingung abhängt, werden die Resonanzkurven unsymmetrisch.

(1089) Der Audionwellenmesser. Auf die beschriebenen Abstellverfahren läßt sich ein Wellenmesser gründen, mit dem man sämtliche Messungen ausführen kann, und der nur aus einem roh zusammengestellten Schwingaudion und einem einfachen geeichten Kreise ohne Detektor, Summer, Leuchtröhre, Hitzdrahtinstrument besteht.

Die Vorteile dieses Wellenmessers sind:

a) Der mechanisch sauber auszuführende geeichte Kreis besteht nur aus Selbstinduktion und Kapazität. Er ist infolge seiner Einfachheit billig und leicht mit großer Genauigkeit herzustellen.

b) Die Resonanzkurven sind außerordentlich scharf und lassen sich bei sehr loser Kopplung (Abstand Schwingaudion—Meßkreis bis zu 1 m) aufnehmen. Schwer kontrollierbare Verstimmungen des geeichten Meßkreises durch Kapazitäten gegen nahe Teile des Audions werden dadurch vermieden.

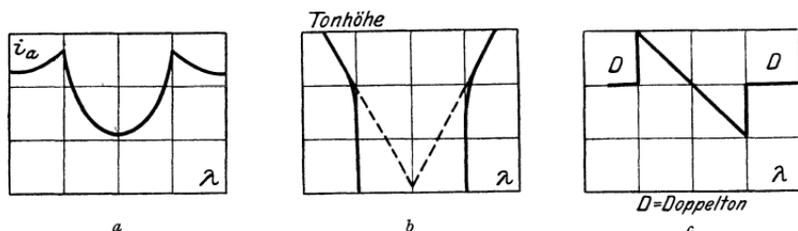


Abb. 641. Mitnahmebereichempfang.

(1090) Messung einer ungedämpften Welle. Man ersetze das Milliampere-meter durch ein Telephon und stimme auf zwei tiefe Schwebungstöne durch Vergleich mit einer tiefen Stimmgabel oberhalb und unterhalb der Resonanzlage ab. In der Mitte zwischen den beiden dicht aneinander liegenden Kondensatoreinstellungen ist die genaue Resonanzlage.

(1091) Abstimmung im Mitnahmebereich. Ist die zu messende Schwingung nicht allzuschwach, so beobachtet man in der Nähe der Resonanz einen schmalen Bereich, in dem der Schwebungston erlischt (Abb. 641b), während das Milliampere-meter (Abb. 641a) starke Schwingungen anzeigt. Die gleichen Kurven beobachtet man, wenn man die Abstimmung des Schwingaudions bestehen läßt und die des Senders ändert. Beobachtet man hierbei die Tonhöhe der Schwebungen des Schwingaudions mit einem Hilfssender, so findet man (Abb. 641c), daß dieser Schwebungston außerhalb des Mitnahmebereiches konstant bleibt, ein Zeichen dafür, daß das Schwingaudion mit konstanter Frequenz schwingt. Den Ton der Schwebungen mit dem Hauptsender hört man nebenbei als veränderlichen Ton. Man beobachtet also einen Doppelton D.

Im Mitnahmebereich verschwindet der Schwebungston des Hauptsenders. Die Tonhöhe der Hilfssenderschwebungen ändert sich mit der Verstimmung des Hauptsenders, ein Zeichen, daß das Schwingaudion vom Hauptsender mitgenommen wird. Daher der Name „Mitnahmebereich“.

Durch Festigen der Ruckkopplung und Lockern der Kopplung zwischen Schwingaudion und Hauptsender läßt sich die Breite des Mitnahmebereiches bequem auf wenige Schwingungen je Sekunde zusammenziehen. Die geschilderte Abstimmung ist also sehr scharf.

(1092) **Feinabstimmung eines Meßkreises** mit Hilfe der Zieherscheinungen. Die Rückwirkung eines angekoppelten Kreises ist im Falle der Resonanz durch einen eingeschalteten Ohmschen Widerstand, im Falle der Verstimmung durch Widerstand plus Selbstinduktion oder Widerstand plus Kapazität zu ersetzen. Der angekoppelte Kreis bewirkt also nicht nur eine Erhöhung der Dämpfung, sondern auch eine Verstimmung des Arbeitskreises, also neben der Amplitudenveränderung auch eine Frequenzänderung N (Abb. 642). Bei starken Verstimmungen ist die Rückwirkung und damit diese Frequenzänderung klein. Als Verstimmung ist dabei nicht die Differenz der Meßkreiseigenschwingung gegen die Eigenschwingung des Arbeitskreises, sondern die Differenz der Meßkreiseigenschwingung gegen die wirklich vorhandene einzusetzen. Auf dieser Grundlage läßt sich die Senderfrequenz in Abhängigkeit von der Resonanzkreiseigenfrequenz berechnen oder noch einfacher graphisch ermitteln (Abb. 642).

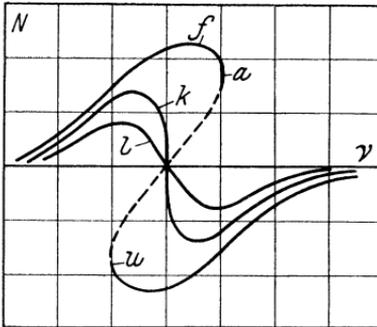


Abb. 642. Frequenzschwankungen infolge Ziehens. l lose, k kritische, f feste Kopplung zwischen Schwingaudion und Meßkreis.

Geht man mit der Kopplung dicht an die kritische heran, so kann die Veränderung der Frequenz N des Aggregates leicht auf 10ν bis 20ν ge-

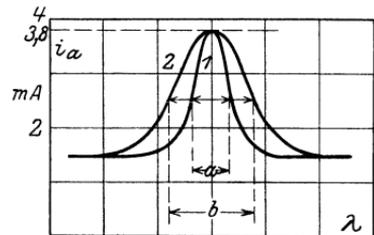


Abb. 643. Dämpfungsmessung mit Schwingaudion und Gleichstrom-Milliamperemeter.

steigert werden. Da man nun N nach der Schwebungsmethode durch Beobachtung der Schwebungen des Schwabingstones mit dem Ton eines Tongenerators auf eine Schwebung je Sekunde einstellen kann, so kann man die Meßkreisfrequenz ν auf $1/20$ Schwingung je Sekunde einstellen. Bei 600 m Wellenlänge wurde das eine Genauigkeit von 10^{-7} sein. Eine größere Genauigkeit ist infolge der unvermeidlichen Schwankungen der Heiz- und Anodenkategorie wohl nur mit umfangreichen Sicherheitsmaßregeln (Verlöten aller Kontakte, Verschweißen der Glühfäden mit den Haltern, Schutz der Widerstände und Röhren gegen Luftzug und Temperaturschwankungen, $1/4$ Stunde Einbrennen der Röhren vor Beginn der Messung, statischer Schutz, Benutzung eines Lautsprechers an Stelle eines durch Kopfkapazität beeinflussten Telefons) zu erreichen.

(1093) **Dämpfungsmessung** mit Milliamperemeter und Normalwiderstand. Man reguliere den Heizstrom so, daß die Schwingungen eben noch nicht anspringen (1207 u. 1208). Dann stelle man die Rückkopplung so ein, daß der Anodenstrom auf einen bestimmten Wert (z. B. von 4 mA auf 2 mA) absinkt, kopple den Kreis so fest, daß der Anodenstrom in der Resonanz z. B. auf 3,8 mA ansteigt. Man erhält dann die Resonanzkurve 1 Abb. 643. Nun schalte man in den Meßkreis einen geeichten Widerstand R_x ein, festige die Kopplung zwischen Schwingaudion und Meßkreis, bis in der Resonanz wieder 3,8 mA erreicht werden, und nehme die Resonanzkurve 2 auf. Kurve 2 ist dann durch Kompression in Richtung der λ -Achse in 1 überführbar. Bezeichnet man die Kreisdämpfung mit R_x , so gilt

$$\frac{R_x}{R_x + R_N} = \frac{a}{b}$$

Irgendwelche Eichungen sind für diese Messung nicht erforderlich.

Messungen an Elementen.

Innerer Widerstand.

(1094) Messung mit dem Strommesser. Das Element wird einmal über den bekannten Widerstand R_1 , ein zweites Mal über den bekannten Widerstand R_2 geschlossen; der eingeschaltete Strommesser (dessen Widerstand mitgezählt werden muß) zeigt die Stromstärken I_1 und I_2 . Dann ist der innere Widerstand des Elementes (unter der Voraussetzung, daß sich seine EMK nicht geändert hat),

$$R = \frac{I_2 \cdot R_2 - I_1 \cdot R_1}{I_1 - I_2}.$$

Weil die chemischen Vorgänge im Element, welche den Strom liefern, mehr oder minder langsam verlaufen, und weil durch sie der innere Widerstand erhöht wird, so geben alle Meßverfahren, bei denen erhebliche Strommengen entzogen werden, nur bedingt richtige Werte.

(1095) Messung mit Wheatstonescher Brücke und Telephone (193). Der Meßdraht soll genügend hohen Widerstand besitzen, damit er durch den Strom des Elementes nicht zu stark erwärmt wird. Wenn man rasch mißt, erhält man leidlich genaue Werte. Die schädliche Stromentnahme vermeidet man, wenn man zwei Elemente der gleichen Art gegeneinander schaltet, so daß ihre EMKe sich aufheben. Bringt man beide Elemente in denselben Zweig der Schaltung, so erhält man die Summe ihrer Widerstände $R_1 + R_2$; bringt man das eine in den linken, das andere anstatt des Vergleichswiderstandes in den rechten Zweig, so ergibt sich $R_1 : R_2$, woraus in bekannter Weise R_1 und R_2 einzeln berechnet werden. Hat man drei Elemente derselben Art zur Verfügung, so schaltet man 1 gegen 2, 2 gegen 3 und 3 gegen 1; aus den gewonnenen drei Gleichungen bekommt man die Einzelwerte

Für die Messung einer dreiteiligen Taschenbatterie kann man deren EMK auch durch die Gegenschaltung eines zweizelligen Bleisammlers einigermaßen aufheben; wenn die Sammlerzellen genügend groß sind, darf man ihren inneren Widerstand vernachlässigen.

Der Wechselstrom soll 400 bis 500 Per/s haben. Um Gleichströme überall zu vermeiden, empfiehlt es sich, in den Stromkreis des Induktoriums einen Blockkondensator zu schalten. Das Tonminimum ist besonders bei kleinen und bei schon gebrauchten Elementen verwaschen; man kann es durch Zuschalten von passenden Selbstinduktionen verbessern. Noch vorteilhafter dürfte der Gebrauch einer kleinen Hochfrequenzmaschine sein.

(1096) Verfahren mit Kondensatoren. Um sicher zu vermeiden, daß dem Element bei der Messung Strom entzogen wird, legen Nernst und Haagn in die beiden benachbarten Zweige der Brückenschaltung Kondensatoren, für welche das Verhältnis ihrer Kapazitäten $C_1 : C_2$ bekannt war. Damit auch der Widerstand des Schleifkontaktes die Messung nicht stört, wählten Dolezalek und Gahl (Ztschr. f. Elektrochemie 1900) die in Abb. 644 angegebene Schaltung. Darin ist R_1 R_2 der Meßdraht; der Widerstand seines Abschnittes R_1 soll klein gegen R_2 sein (nötigenfalls ist R_2 durch Zuschalten eines bekannten Widerstandes zu vergrößern). Der gesuchte innere Widerstand des Elementes ist

$$R = \frac{C_2}{C_1} \cdot R_2 - R_1.$$

Für die Eichung schaltet man an Stelle von R bekannte induktionsfreie Widerstände.

Elektromotorische Kraft und Spannung.

(1097) Messung mit dem Spannungsmesser. Der Spannungsmesser soll mindestens 100 Ω inneren Widerstand für 1 V der zu messenden Spannung besitzen.

(1098) Nullverfahren. Genaue Werte liefert das Kompensationsverfahren nach Poggendorf (Abb. 644 b). An die Enden des Meßdrahtes mn wird eine konstante EMK E_0 gelegt, welche größer als die des zu messenden Elementes ist,

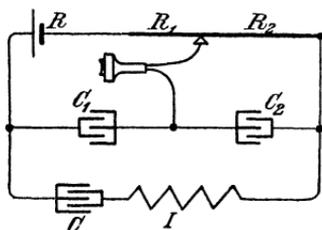


Abb. 644a. Innerer Widerstand eines Elementes, stromfreie Messung.

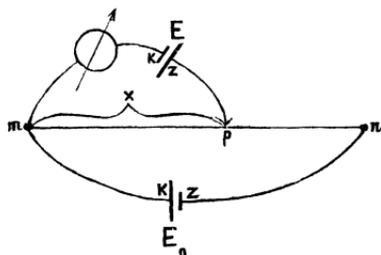


Abb. 644 b. Kompensationsverfahren nach Poggendorf.

z. B. ein Sammler mit 2 V. Der Kontakt p wird verschoben, bis das in dem Zweig des Elementes E liegende Galvanometer nicht mehr ausschlägt. Dann ist

$$E : E_0 = mp : mn.$$

Um E_0 zu ermitteln, schaltet man an Stelle von E ein Normalelement. In Ermangelung eines Normalelementes kann man auch die an mn liegende Spannung mit einem Spannungsmesser von hohem Widerstande messen.

Bei leicht polarisierbaren Elementen ermittle man durch einen Vorversuch die ungefähre Lage von p , damit nachher beim Einstellen dem Element nicht unnötig Strom entzogen wird.

(1099) Klemmenspannung. Sobald das Element Strom liefert, verteilt sich seine Spannung auf den äußeren Stromkreis und das Innere des Elementes nach dem Verhältnis ihrer Widerstände. Es seien E die EMK und U die Klemmenspannung, R_i der innere, R_a der äußere Widerstand und I die Stromstärke, dann ist

$$E = U + I \cdot R_i,$$

worin

$$U = I \cdot R_a.$$

Wenn die EMK des offenen Elementes E , die Klemmenspannung U , sowie I oder R_a bekannt sind, kennt man auch R_i . Diese in der Technik übliche, weil bequeme Messung von R_i ist nicht genau, weil E bei Stromentnahme sinkt.

Infolge der Polarisation sinkt bei erheblicher Belastung die Klemmenspannung zu Anfang sehr rasch. Man hat deshalb vereinbart, sie erst 1 min nach Stromschluß zu messen (in besonderen Fällen nach 10 s).

(1100) Messung der EMK mit dem Elektrometer. (174). Man ermittelt zuerst die Ablenkung, welche ein Normalelement bewirkt, und dann die durch das zu untersuchende Element. Die EMK verhalten sich wie die Ablenkungen.

(1101) Kondensatorverfahren. Man lädt einen Kondensator mit dem Element auf und entlädt ihn durch ein Galvanometer; ebenso verfährt man mit dem Normalelement. Die EMKe verhalten sich wie die Ausschläge des Galvanometers.

Leistung.

(1102) Äußere Einflüsse. Die Leistung des Elementes ist um so größer, mit je geringerer Stromstärke es entladen wird und je öfter ihm Erholungspausen gegönnt werden. Deshalb ist es möglichst unter den gleichen Bedingungen zu prüfen, unter denen es arbeiten soll. Weil auch im ruhenden Element chemische Umsetzungen vor sich gehen, welche seine Leistungsfähigkeit vermindern, hängt

ferner die Zahl der gelieferten Ah und Wh vom Alter des Elementes ab. Weil drittens auch die Temperatur Einfluß hat, soll der Meßraum etwa 20° haben.

(1103) Vorschriften der Reichspost. Für die heute vorzugsweise verwendeten Trockenelemente, deren EMK mindestens 1,5 V und deren innerer Widerstand höchstens 0,1 Ω sein soll, darf die Klemmenspannung bei einem äußeren Widerstande von 10 Ω nicht unter 1,45 V betragen (1 min nach Stromschluß!). Die Leistung wird festgestellt, indem das Element über 5 Ω immer 3 min lang mit 12 min Ruhe entladen wird, bis seine Klemmenspannung auf 0,7 V gefallen ist. Es sollen dabei in mindestens 100 Tagen wenigstens 100 Ah geleistet werden.

Die gelieferten Elemente sind binnen 14 Tagen nach Empfang auf ihre vertragsmäßige Beschaffenheit zu prüfen. Als unbrauchbar gelten Elemente, deren Klemmenspannung bei 10 Ω nach 2 min unter 0,7 V sinkt.

(1104) Vorschriften des Verbandes der Fabrikanten galvanischer Elemente. Danach soll die Lebensdauer geprüft werden, indem je 1 Trockenelement jeder Art allwöchentlich über 1 Ω geschlossen und nach 10 s seine Klemmenspannung gemessen wird. — Taschenlampenbatterien werden über 5 Ω für jedes Element (also für die übliche 3-Becher-Batterie 15 Ω) ohne Unterbrechung entladen, bis ihre Klemmenspannung auf je 0,6 V (also 1,8 V) gesunken ist.

(1105) Vorschriften des Bureau of Standards. Das Zirkular Nr. 79 des amerikanischen Bureau of Standards empfiehlt folgende Prüfungsweisen für Elemente, welche zum Zünden von Explosionsmotoren dienen, für Fernsprechelemente und für Taschenlampenbatterien:

a) Zündprüfung: Sechs hintereinander geschaltete Elemente werden über 16 Ω täglich zweimal 1 h mit 11 h Ruhe entladen, bis am Ende der Stunde ein Stromstoß über 5 Ω weniger als 4 A liefert.

b) Fernsprechprüfung. Drei hintereinander geschaltete Elemente werden über 20 Ω täglich während 10 Stunden 4 min stündlich entladen, aber an jedem 7. Tage nur jede 2. Stunde, bis die Spannung auf 2,8 V gefallen ist.

c) Taschenlampenbatterien. Die 3-Elemente-Batterie wird über 12 Ω täglich 5 min lang entladen, bis die Spannung auf 2,25 V gesunken ist.

(1106) Entladung mit konstanter Stromstärke. Für elektrochemische Untersuchungen eignet sich besonders die von der Firma Philipp Schneider in Frankfurt a. M. empfohlene Entladung von Taschenbatterien mit 0,2 A (bis 2,0 V hinab). Bei dieser Entladungsweise kann man eine größere Zahl von Batterien hintereinander schalten und ist dann sicher, daß jede in gleichem Grade elektrochemisch arbeitet.

(1107) Anodenbatterien. Es wird vorgeschlagen, die übliche 90-V-Batterie täglich 3 Stunden lang mit 0,01 A zu entladen, bis die Spannung auf 60 V gefallen ist.

Messungen an Sammlern (Akkumulatoren).

Allgemeines. Bei den Messungen ist darauf zu achten, daß der innere Widerstand sehr klein ist, und daß man deshalb einen starken Strom erhält, wenn man den Sammler durch einen geringen Widerstand schließt.

(1108) Widerstand. Der Einfluß des inneren Widerstandes auf die Spannung wird im allgemeinen von dem der Polarisation übertroffen. Aus letzterem Grunde versagen auch die meisten der für Primärelemente angegebenen Meßmethoden. Man berechnet ihn genau genug aus der zwischen den Platten befindlichen Säure (Widerstand von 1 cm³ Akkumulatorensäure etwa 1,4 Ω), wobei man zur Berücksichtigung der übrigen Widerstände für das geladene Element etwa 50 %, für das entladene 100 bis 150 % aufschlägt.

Zur genauen Messung dient für den stromlosen Akkumulator die Methode von Kohlrausch (193). Die Verwendung von Wechselstrom vermeidet das Entstehen einer Polarisation. Erforderlich sind: ein kleines Induktorium, ein Telefon und eine induktionsfreie Wheatstonesche Brücke mit gerade ausgespanntem

Draht. Zur Vermeidung von Entladeströmen schaltet man zwei Akkumulatoren gegeneinander und mißt den Gesamtwiderstand, oder man fügt in die einzelnen Stromkreise Kondensatoren ein, die den Wechselstrom durchlassen, den Gleichstrom sperren (s. d. folg.).

Methoden zur Messung des inneren Widerstandes während der Ladung und Entladung haben Boccali, Uppenborn, Frölich (ETZ 1891) sowie Nernst und Haagen angegeben, von denen besonders die letztere in der Ausführung von Dolezalek und Gahl (Abb. 644a) einwandfreie Resultate liefert. (Zeitschr. f. Elektrochemie 1900.) Die Vergleichswiderstände der Brücke sind hier durch Kondensatoren ersetzt. In Abb. 644a ist der Akkumulator allein gezeichnet; legt man die Ladespannung unter Vorschaltung eines großen Widerstandes oder den Entladekreis an die Zelle, so wird hierdurch der gemessene Widerstand nur unmerklich geändert.

(1109) Elektromotorische Kraft und Klemmenspannung unterscheiden sich um das Produkt des inneren Widerstandes R mit den Stromstärken I . Während der Entladung ist $E = U + RI$, während der Ladung $= U - RI$. Mißt man bei stromloser Batterie, so erhält man die EMK, die in diesem Falle gleich der Ruhespannung ist; liefert die Batterie Strom oder wird sie geladen, so erhält man die Klemmenspannung, aus der man die EMK berechnen kann.

Die EMK ist abhängig von dem Säuregehalt in der wirksamen Masse der Platten. Während der Entladung wird eine Verarmung an Schwefelsäure innerhalb der wirksamen Masse der Platten infolge Bildung von Bleisulfat hervorgerufen, die teilweise durch Zufuhr von Schwefelsäure aus dem Elektrolyten wieder ausgeglichen wird. Ebenso bildet sich bei der Ladung eine Anreicherung von Säure innerhalb der wirksamen Masse, die allmählich aus der Masse heraustritt. Infolgedessen erhält man einen genauen Wert der Ruhespannung erst bei einer Messung nach einer etwa 24stündigen Ruhezeit des Elementes. Die EMK einer arbeitenden Batterie ist nur mit großer Schwierigkeit und besonderer Apparatur zu bestimmen. Man berechnet sie am besten mit genügender Genauigkeit aus der augenblicklichen Klemmenspannung und dem Spannungsabfall bzw. der Spannungszunahme, die durch den inneren Widerstand bedingt sind.

Messung der Ruhespannung. a) mit direkt zeigenden Apparaten (198, b). Bei großer Kapazität der Sammler ist der geringe Verlust in dem Spannungsmesser zu vernachlässigen. b) Mittelst Kompensationsmethoden vgl. (200) bis (202). c) mit dem Elektrometer. Schaltung s. (174). Es wird zuerst die Ablenkung gemessen, die ein Normalelement von bekannter EMK (180 u. f.) hervorbringt, und dann diejenige, welche das zu untersuchende Element erzeugt. Die EMKe verhalten sich wie die Ablenkungen. d) mit dem Kondensator. Man lädt einen Glimmerkondensator mit dem zu untersuchenden Element und entlädt den Kondensator durch ein Galvanometer (199); ebenso verfährt man mit dem Normalelement. Die EMKe verhalten sich wie die Ablenkungen.

(1110) Arbeitsmessung. Die von einer Sammlerbatterie während der Ladung aufgenommene sowie die bei der Entladung abgegebene Arbeit wird bestimmt durch fortwährende Messungen von Klemmenspannung und Stromstärke.

Man geht hierbei von der vollständig geladenen Batterie aus, entlädt bis zu der vom Fabrikanten vorgeschriebenen Klemmenspannung (etwa 1,8 V) und lädt bis zur vollen Gasentwicklung (Klemmenspannung etwa 2,6 bis 2,8 V).

Es bedarf einiger Übung, um bei der nachfolgenden Ladung genau wieder den Punkt zu treffen, von dem man ausgegangen ist. Man lade nicht zu lange, da die bereits bei 2,4 V allmählich einsetzende Gasentwicklung Energieverlust bedeutet; man lade aber auch nicht zu wenig, da im Betriebe die Batterie bei zu schwacher Ladung notwendig sulfatieren muß. Will man zuverlässige Werte erhalten, so muß der ursprünglichen Ladung mindestens eine

vollständige Entladung mit derselben Stromstärke möglichst unmittelbar vorausgegangen sein.

Aus den Messungen bei der Entladung ergibt sich der Inhalt oder die Kapazität der Batterie. Man unterscheidet den Inhalt in Amperestunden (C_a) von dem Inhalt in Wattstunden (C_w).

Wird bei der Entladung die Stromstärke I konstant gehalten, so ist die Kapazität in Amperestunden:

$$C_a = I T,$$

worin T die Entladedauer in Stunden angibt. Je kleiner die Entladestromstärke gewählt wird, um so größer wird nicht nur die Entladedauer T , sondern auch die Kapazität C_a . Für die Berechnung des Inhalts bei verschiedenen Entladeströmen sind mehrfach Formeln aufgestellt worden, so von Liebenow und Peukert, doch ergeben sie große Abweichungen. Nach Liebenow findet zwischen T und C_a folgende einfache Beziehung statt:

$$C_a = k / \left(1 + \frac{b}{\sqrt{T}} \right).$$

Von den Konstanten k und b hängt letztere nur von der Plattenkonstruktion ab, k ist der Anzahl der Plattenpaare des Elementes direkt proportional.

Ist die Stromstärke nicht konstant, so liest man am besten in regelmäßigen Zeitintervallen ΔT ab und hat dann:

$$C_a = \Sigma I \Delta T.$$

Mißt man in gleicher Weise während der Ladung die Stromstärken I' in den Zeitintervallen $\Delta T'$, so nennt man den Quotienten $\Sigma I \Delta T / \Sigma I' \Delta T'$ das Güteverhältnis des Akkumulators.

In gleicher Weise verfährt man zur Bestimmung des Inhalts in Wattstunden, wobei nur das Produkt $I \Delta T$ überall noch mit der Klemmenspannung U zu multiplizieren ist.

$$\text{Es ist } C_w = \Sigma U I \Delta T.$$

Der Quotient

$$\Sigma U I \Delta T / \Sigma U' I' \Delta T' = \eta$$

heißt der Wirkungsgrad.

Güteverhältnis und Wirkungsgrad sind nicht ganz unabhängig von den Stromstärken.

Zur besseren Übersicht trägt man die Ablesungen in ein Koordinatennetz ein, wobei die Abszissen die Zeit, die Ordinaten bei gleichbleibender

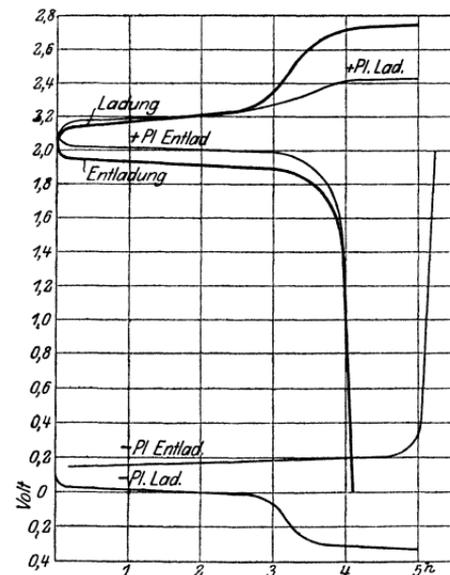


Abb. 645. Spannungskurve einer Akkumulatorenzelle bei Ladung und Entladung mit gleichbleibender Stromstärke.

Stromstärke die Spannungen und bei wechselnder Leistung darstellen. Die zu einer Entladung gehörige Ladung zeichnet man auf dasselbe Blatt. In Abb. 645 stellen die stark ausgezogenen Linien eine solche Entladung und Ladung mit konstanter Stromstärke einer Zelle der Accumulatorenfabrik A.-G. dar. Ladung und Entladung von Edisonzellen s. Abb. 650 bis 655, S. 285 u. 286.

Mit Registrierinstrumenten erhält man ohne weiteres die fertigen Diagramme. An kleinen Akkumulatoren ermittelt man gelegentlich die entnommene Strom-

menge mit dem Voltmeter. Es entspricht dann 1 Amperestunde 1,18 g Kupfer oder 626 cm³ Knallgas bei 0° C und 760 mm Druck (23).

Zur Bestimmung der Elektrizitätsmengen oder der ganzen Arbeit kann man die für elektrische Anlagen gebräuchlichen Elektrizitäts- und Arbeitsmesser benutzen.

Die Ermittlung des spezifischen Gewichtes der Säure gibt einen Aufschluß über die noch erforderliche Ladezeit bzw. über den noch vorhandenen Vorrat an Elektrizität (vgl. im Abschnitt Akkumulatoren), doch hat man darauf zu achten, daß der Säurestand nachhinkt und das spez. Gew. von der Temperatur abhängig ist.

(1111) **Spannungsverteilung.** Für die genauere Untersuchung einer Zelle bedient man sich der F u c h s'schen Methode, indem man eine Hilfselektrode aus

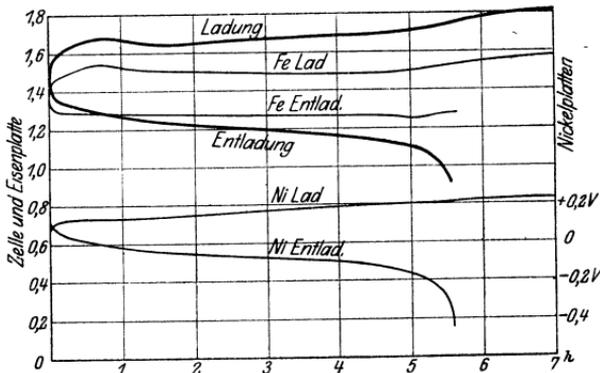


Abb. 646. Spannungsverlauf bei Ladung und Entladung einer Edisonzelle.

Kadmium oder amalgamiertem Zink in den Elektrolyten einführt und bei jeder Ablesung nicht nur die Klemmenspannung des Elementes, sondern auch die Spannungen sowohl zwischen Anoden und Hilfselektrode, als auch zwischen Kathoden und Hilfselektrode mißt. Diese drei Ablesungen trägt man wie oben als Ordinaten in ein Koordinatennetz ein und erhält so einen Überblick über die Kapazität sowohl der Anoden wie der Kathoden (siehe Abb. 645 die schwach ausgezogenen Linien). Die Kapazität des Elementes ist erschöpft, sobald eine der beiden Elektrodenarten erschöpft ist. Über Vorsicht bei dieser Messung siehe L i e b e n o w, Zeitschrift für Elektrochemie Bd. 8, 1902, S. 616.

H o l l a n d (Electrician 1910, 21. Oktober, S. 48) benutzt teilweise entladene Kupferoxyd- oder Nickeloxydelektroden für Messungen an Edisonzellen. Abb. 646 gibt den Verlauf der Eisen- und Nickelelektrode bei Ladung und Entladung wieder.

Vierter Teil¹⁾.

Schwachstromtechnik.

Erster Abschnitt.

Gleichstrom und niederfrequenter Wechselstrom.

Primärelemente.

(1112) Vorgang im Element. In den galvanischen Elementen wird chemische Energie in elektrische Energie umgesetzt. Wie bei der Dampfmaschine die Verbrennung der Kohle die Energie liefert, so ist bei den üblichen Elementen Zink der Heizstoff. Er ist zwar teuer, aber in bezug auf den Wirkungsgrad ist das galvanische Element den Wärmekraftmaschinen weit überlegen. Freilich wird bei ihm eine restlose Ausnutzung des Stoffes durch störende Nebenvorgänge verhindert.

Ein z. B. in verdünnte Schwefelsäure tauchendes Zinkblech löst sich unter Wasserstoffentwicklung und die Flüssigkeit erwärmt sich. Wenn ihm aber ein Platinblech oder eine Kohleplatte gegenübergestellt und mit ihm außerhalb der Flüssigkeit durch einen Leitungsdraht verbunden wird, so entwickelt sich der Wasserstoff am Platin oder an der Kohle; die Flüssigkeit erwärmt sich nur noch durch die Ohmsche Wärme, welche der durch sie und den Leitungsdraht fließende elektrische Strom in ihr entwickelt.

Mit der gelieferten Strommenge ist die Menge des aufgelösten Zinks und des entwickelten Wasserstoffs durch das Faradaysche Gesetz der Elektrolyse verbunden (78). Durch chemische Nebenvorgänge wird die Gültigkeit des Faradayschen Gesetzes nur scheinbar beeinträchtigt.

(1113) Polarisation. Die anfänglich hohe Spannung zwischen dem Zink und der Kohle (oder Platin) wird durch den die Kohle bedeckenden Wasserstoff rasch auf einen geringen Betrag vermindert; dies Element polarisiert sich sehr stark. Um dauernd einen starken Strom zu gewinnen, muß man den Wasserstoff durch ein starkes Oxydationsmittel beseitigen (zu Wasser verbrennen).

(1114) Elemente mit flüssigem Depolarisator. Bei dem Bunsen-Element wird konzentrierte Salpetersäure als Depolarisator verwendet, beim Chromsäureelement Chromsäure oder, was auf dasselbe herauskommt, eine Lösung von Kaliumbichromat und Schwefelsäure. Durch die Verwendung der Chromsäure wird zwar keine so vollkommene Depolarisation erzielt, aber die Entwicklung der schädlichen Stickstoffoxyde vermieden und gleichzeitig die poröse Scheidewand (Tonzelle) entbehrlich gemacht, welche im Bunsenelement die Salpetersäure von der das Zink umspülenden verdünnten Schwefelsäure trennen muß. Durch Verquicken wird der unerwünschte Angriff des Zinks bei ruhendem Element verlangsamt. In den Tauchelementen wird das Zink bei Nichtgebrauch emporgezogen. Wenn man die durch den elektrochemischen Vorgang ver-

¹⁾ Der dritte Teil ist die Starkstromausgabe; vgl. Vorwort und Starkstromausgabe S. 216.

brauchte Chromsäure stetig erneuert, z. B. durch die Poren der Kohle frische Lösung drückt, so kann ein großes Chromsäureelement starken Strom mit etwa 2 V Klemmenspannung liefern. Aber die weit bequemeren und billiger arbeitenden Sammler haben diese Starkstromelemente ganz in den Hintergrund gedrängt.

Krüger-Element. Das älteste der konstanten galvanischen Elemente, das Daniell-Element, welches aus Zink in Zinksulfatlösung und Kupfer in Kupfersulfatlösung besteht, wird in verschiedenen Formen noch heutzutage hier und da verwendet, z. B. in der Telegraphie. Bei der ihm von Krüger gegebenen Gestalt liegt am Boden des Glasgefäßes eine Bleischeibe in Kupfersulfatlösung; ein auf ihre Mitte genieteter langer Bleistiel trägt oben die Klemmschraube. Über der Bleischeibe hängt ein dicker Zinkring mit drei Nasen auf dem Glasrand; ihn umgibt eine Lösung von Zinksulfat oder Magnesiumsulfat. Weil die Kupfersulfatlösung — sie wird durch aufgehäuften Kristalle von Kupfersulfat (Kupfervitriol) gesättigt erhalten — schwerer ist als die das Zink umgebende Lösung, so bleiben die beiden Flüssigkeiten auch ohne Diaphragma getrennt. Bei Stromschluß geht Zink in Lösung und Kupfer scheidet sich auf der unteren Elektrode ab. Der elektrochemische Vorgang besteht darin, daß am Zinkpol (negativem Pol) Zinkionen entstehen, von denen jedes zwei positive Ladungseinheiten trägt, und am positiven Pol Kupferionen sich ihrer beiden positiven Ladungen entledigen und in metallisches Kupfer übergehen.

Die Arbeit, welche verfügbar wird, wenn ein Grammäquivalent Zink als Zinkionen in Lösung geht, ist

$$\epsilon \cdot 96\,500 \text{ Wattsekunden,}$$

worin ϵ das Potential der Zinkelektrode in dem betreffenden Elektrolyten bedeutet. Dieses Potential ist um so höher, je kleiner in der Lösung die Konzentration der Zinkionen ist, deren osmotischer Druck dem elektrolytischen Lösungsdruck des Zinks entgegenwirkt. Bezogen auf die „Normalwasserstoffelektrode“ beträgt das Potential des Zinks in einer „normalen“ Zinksulfatlösung (welche ein Grammäquivalent im Liter enthält) — 0,80 V; das Potential der Kupferelektrode in normaler Kupfersulfatlösung beträgt + 0,34 V. Aus beiden Werten ergibt sich die EMK des so zusammengesetzten Zink-Kupferelementes zu 0,34 — (—0,80) = 1,14 V.

Solange das Krüger-Element genügend belastet ist, überführt der elektrische Strom so viel Kupferionen hinab zur positiven Elektrode, daß keine Kupferionen durch Diffusion hinauf zum Zink gelangen. Andernfalls würde sich Kupfer auf dem Zink abscheiden, eine kurzgeschlossene galvanische Kette bilden und das Element verdorben werden.

Wegen seines hohen Widerstandes eignet sich das Krüger-Element nur für schwachen Dauerstrom. Das Zink muß arsenfrei sein, weil sonst der sehr giftige Arsenwasserstoff entstehen kann.

(1115) Elemente mit festem Depolarisator. Kupronelement. Als Depolarisator dient Kupferoxyd, welches auf Kupferdrahtnetz gepreßt ist, als Elektrolyt Natronlauge. Bei Stromabgabe wird das Kupferoxyd zu Kupferschwamm reduziert. Läßt man die poröse Kupferplatte über Nacht an einem warmen Orte liegen, so verwandelt der Luftsauerstoff sie wieder in Kupferoxyd. Das Kupronelement kann starken Strom liefern, aber nur mit 0,85—0,7 V; es muß durch einen Deckel dicht geschlossen sein, damit die Lauge nicht die Kohlensäure der Luft an sich reißt.

(1116) Luftsauerstoff als Depolarisator. Der Sauerstoff der Luft ist an sich ein träges Oxydationsmittel, auch wenn er auf der Oberfläche der Kohlenelektrode verdichtet ist. Wenn aber die poröse Kohle eine große wirksame Oberfläche darbietet und die Luft bequem herzutreten kann, so liefert ein solches Zink-Kohleelement nicht unerhebliche Strommengen, jedoch bei rasch sinkender Spannung. Durch Erleichterung der Sauerstoffzufuhr kann man auch gute Dauerleistungen bei etwa 1...0,9 V erzielen. Als Elektrolyt dient eine starke Chlorammonium-(Salmiak-)lösung. Bei dem in Frankreich verwendeten Element

von Féry liegt eine Zinkplatte auf dem Boden des Glases; die Kohle, ein Hohlzylinder von möglichst großer Fläche, hängt darüber und ragt zum guten Teil über die Flüssigkeit empor. Dank dieser Anordnung verbraucht das Element wenig mehr als die theoretische Zinkmenge. Wenn dagegen, wie früher üblich, wegen des geringeren Widerstandes eine senkrechte Zinkelektrode verwendet wird, so sinkt die entstehende schwere Zinklösung so Boden und das Zink ist unten von Chlorzinklösung, oben von Chlorammoniumlösung umgeben; der Potentialunterschied liefert einen Lokalstrom, welcher den oberen Teil des Zinks rasch zerfrißt.

Bei dem Jungner-Element (DRP 334 890), welches starken Strom liefern soll, liegen in einer flachen Holzwanne über der Zinkelektrode, welche rostartig aus vielen hochkant stehenden Zinkstreifen gebildet ist, auf einem Holzgitter große und kleine Brocken gut leitender Kohle, welche mit einer Kupferoxydschicht bedeckt sind. Als Stromabnehmer werden Graphitklötze auf die Kohle gedrückt. Der Elektrolyt, eine Kochsalzlösung mit Sodazusatz, reicht bis einige Zentimeter unter die Oberfläche der Kohleschicht, so daß diese gut durchfeuchtet ist, aber die Luft herantreten kann.

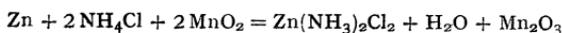
(1117) Leclanché-Element. Am wichtigsten von den vielen Arten der Primärelemente ist heute das von Leclanché erfundene Element, welches Mangansuperoxyd als Depolarisator verwendet. Das Mangansuperoxyd (MnO_2) findet sich als Mineral Braunstein, und zwar als Pyrolusit (Weichmanganerz), Manganit (Graubraunstein) und Psilomelan (Hartmanganerz) in Thüringen, im Kaukasus, auf Borneo usw. in großen Mengen. Weil die chemische Umsetzung zwischen einem festen Stoffe und einer Flüssigkeit unter sonst gleichen Umständen um so geschwinder ist, je größer die wirksame Berührungsfläche ist, so depolarisiert der Braunstein um so kräftiger, je feiner er zerteilt ist. Aber auch die unvermeidliche chemische Umsetzung im ruhenden Element schreitet um so rascher vor, je größere Oberfläche der Braunstein darbietet. Besonders klein sind die Teilchen des künstlich durch Fällung hergestellten Braunsteins. Dieser Kunstbraunstein gibt daher eine höhere Spannung als die derberen Teilchen des Pulvers von dichtem Naturbraunstein, aber andererseits geringere Lebensdauer. Man verwendet daher in den Leclanché-Elementen gern ein Gemisch von natürlichem und künstlichem Braunstein. Beimengungen von Silikaten, welche das Mangandioxyd umhüllen, schwächen seine Oxydationskraft. Guter Naturbraunstein soll 80...90 vH. MnO_2 enthalten.

Weil der Braunstein den elektrischen Strom sehr schlecht leitet, mischt man ihm gutleitenden Graphit bei, etwa im Verhältnis von 1 Gewichtsteil Graphit auf 3 Teile Braunstein, und umpreßt mit dem feingepulverten Gemisch Kohlestäbe. Die so erhaltene Elektrode wird mit Gazestoff umhüllt, eingeschnürt und in einen gleichzeitig als Gefäß dienenden Zinkbecher gesetzt. Als Elektrolyt dient fast gesättigte Chlorammoniumlösung. Auf den Boden des Zinkbeckers ist eine Pappscheibe gelegt, um Kurzschluß zu verhüten. Um das Element recht handlich zu machen, wird der Elektrolyt durch Mehlzusatz zu einer Gallerte verdickt und das Element oben mit Pech vergossen. Diese „Trockenelemente“ werden jährlich zu vielen Millionen fabriziert.

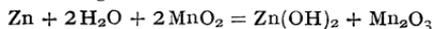
In Amerika füttert man den Becher mit Papiermasse aus und stampft dann die Braunstein-Graphitmischung ein. Diese Herstellung ist billiger, aber die Beutelemente leisten mehr.

Bei den „Lagerelementen“ wird erst, wenn sie gebraucht werden sollen, durch eine Öffnung Wasser eingefüllt, welches die trockene Salzmischung im Element auflöst.

Die Vorgänge im Braunsteinelement. Bei der nutzbaren Entladung wird das Mangandioxyd zu Mn_2O_3 reduziert. Der an der Kohle und am Graphit adsorbierte Sauerstoff spielt eine maßgebende Rolle. Neben der Umsetzung



läuft die andere Umsetzung



nebenher und nimmt um so größeren Anteil, je mehr der Elektrolyt sich während der Entladung an Zinkchlorid anreichert und an Chlorammonium verarmt. Es scheiden sich weiße Kristalle von der Zusammensetzung $\text{Zn}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2$, sowie schleimiges $\text{Zn}(\text{OH})_2$ aus, welche den inneren Widerstand des Elementes beträchtlich erhöhen.

Für die Leistung des Elementes ist eine hohe Porosität des Braunstein-Graphitgemisches wesentlich, damit auch das Innere der „Puppe“ — so nennt man den mit Gaze umhüllten Preßling — reichlich mitarbeitet. Deshalb darf die Mischung nicht gar zu fein gepulvert und nicht übermäßig zusammengepreßt sein. Eine gute Puppe hat ein Porenvolumen von fast 40 vH. Im Laufe der Entladung und auch in der Ruhe werden die Poren durch die Ausfällungen allmählich gesperrt; durch die Verkrustung entstehen große Übergangswiderstände und die Depolarisation wird immer mangelhafter, so daß lange, bevor alles Mangan-dioxyd verbraucht ist, die Klemmenspannung unter die zulässige Grenze sinkt und das Element unbrauchbar wird. Nicht wenige Elemente gehen vorzeitig zugrunde, indem durch örtlichen Angriff das Zink an einer Stelle durchgefressen wird.

Die Verwendung bester Rohstoffe — Braunstein und Graphit sollen keine löslichen Eisenverbindungen enthalten, das Zink soll möglichst wenig Eisen und Kupfer enthalten und ohne innere Spannungen sein — und größte Sorgfalt bei der Herstellung sind wesentlich für die Güte der Elemente.

Auffrischen von verbrauchten Braunsteinelementen. Weil durch die Entladung nur etwa $\frac{1}{3}$ des Braunsteins verbraucht ist, kann man die Beutelektrode wieder leidlich arbeitsfähig machen, indem man die Krusten z. B. durch Kochen mit Chlorammoniumlösung beseitigt.

(1118) Verbesserungsversuche. Die EMK des Elementes würde bedeutend höher sein, wenn man das Zink durch Aluminium ersetzt; umgekehrt könnte man daran denken, anstatt des Zinks das viel billigere Eisen zu verwenden, obwohl die EMK dann kleiner wäre. Beide Vorschläge waren nicht brauchbar. Die EMK wird ebenfalls erhöht, wenn man das viel kräftiger wirkende Bleisuperoxyd benutzt, wie im Bleisammler, und man kann die positive Platte wieder aufladen; aber man muß dann als Elektrolyten Schwefelsäure verwenden und das Zink in der Ruhe vor ihr schützen, was den Aufbau des Elementes verwickelt. Auch an dem Elektrolyten wird andauernd herumgeprobt, z. B. neuerdings im Pertrix-Element Magnesiumchlorid anstatt des Chlorammoniums benutzt. Im allgemeinen hält man an Chlorammonium fest, dem man häufig etwa 10% Chlorzink und ein wenig Quecksilberchlorid zufügt.

(1119) Brennstoffelemente. Das Ideal der Wirtschaftlichkeit wäre ein Element, bei dem die Oxydation von Kohle durch Luftsauerstoff den Strom lieferte. Leider eignet sich aber der Kohlenstoff selber nicht zu elektrochemischen Umsetzungen, weil er keine Ionen bildet. Dagegen können reduzierende Gase, wie sie z. B. im Leuchtgas enthalten sind, durch Vermittlung geeigneter Metalle in galvanischen Elementen arbeiten. Aber alle bisher erfundenen Brennstoffelemente polarisieren sich bei erheblicher Stromentnahme so stark, daß die Ausichten auf eine glückliche Lösung dieser wichtigen Aufgabe sehr gering sind.

Literatur: Bein: Elemente und Akkumulatoren. Leipzig 1908. — Grimm: Die chemischen Stromquellen der Elektrizität. München 1908. — Zacharias: Elektrochemische Umformer. Wien 1911. — Hauck: Galvanische Batterien. Wien, Hartleben 1891 (veraltet) — Montpellier: Les accumulateurs et les piles électriques. Paris 1906. — Günther-Schulze: Galvanische Elemente und Schwachstromakkumulatoren. Leipzig 1921. — Strecker: Jahrbuch der Elektrotechnik. München, R. Oldenbourg. Alljährlich seit 1912. — Bureau of Standards (Circular No. 79). Electrical characteristics and testing of dry cells. Washington 1919. (Deutsche Übersetzung durch den Verband der Fabrikanten von galvanischen Elementen e. V. in Berlin.) — K. Arndt: Untersuchungen über das Braunsteinelement. Zschr. f. angew. Chemie. 1926. S. 1426.

Sammler oder Akkumulatoren.

A. Aufbau und Wirkungsweise.

(1120) Aufgabe des Sammlers. Der Sammler, Speicher oder Akkumulator ist ein Element, dessen Elektroden nach erfolgter Entladung durch Zuführung elektrischen Stromes wieder in den ursprünglichen Zustand zurückversetzt werden, so daß sie in der Lage sind, von neuem in dem gleichen Maße Strom abzugeben. Er ist mithin ein Apparat, in welchem elektrische Energie aufgesammelt, aufgespeichert, akkumuliert werden kann.

Allgemein verwendet wird der Bleisammler mit verdünnter Schwefelsäure als Elektrolyt. Für besondere Zwecke, insbesondere für kleinere Leistungen, findet auch der alkalische Sammler Verwendung.

I. Der Bleisammler.

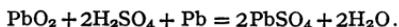
(1121) (594) Aufbau. Die positiven Platten des Bleisammlers haben als wirksamen Bestandteil Bleisuperoxyd, die negativen fein verteilten Bleischwamm. Als Träger dient Blei in Form von Platten oder Gittern, welche mit der wirksamen Masse überzogen bzw. gefüllt sind. Hiernach unterscheidet man

1. Platten, deren wirksame Schicht durch elektrischen Strom auf der Oberfläche erzeugt ist (Planté-Platten oder Oberflächenplatten), und
2. Platten, welche durch Eintragung von Bleiverbindungen mit verschiedenartigen Bindemitteln vermischt in gitter- oder rahmenförmige Träger und Umwandlung dieser Verbindungen in wirksame Masse durch elektrischen Strom (Faure-Platten) hergestellt werden. Ist der Träger ein gitterförmiger, so heißen die Platten Gitterplatten, ist derselbe rahmenförmig, so werden sie Masse- oder Rahmenplatten genannt. Der mit einem Bindemittel versetzten Paste von Bleioxyden werden vielfach Körper wie Kaolin, Glaspulver usw. bei Herstellung der negativen Platte zugesetzt, die durch die Tätigkeit der Zelle nicht angegriffen werden und welche ein Schrumpfen des Bleischwammes und dadurch verursachtes Nachlassen der Leistungsfähigkeit dieser Plattenart verhindern.

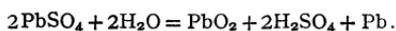
Die erstere Art, die älteste, wird besonders für positive Platten angewendet, namentlich für ortsfeste Anlagen und für Eisenbahnwagen- und Schiffsbeleuchtung, Telegraphenbatterien usw. Die Platten sind schwerer als diejenigen der zweiten Art, können dagegen sehr starke Entladeströme vertragen und auch mit größerer Stromdichte geladen werden.

Die zweite Art wird vorzugsweise für negative Platten, sowie vielfach auch für positive angewandt, letzteres besonders dann, wenn es auf geringes Gewicht der Batterie ankommt, wie bei Elektromobilen usw. Um das Herausspülen des lockeren Bleischwammes, das bei Zusatz oben erwähnter, chemisch unwirksamer Stoffe leicht eintritt, zu verhindern, verwendet die *Akkumulatorenfabrik A.-G.* die sog. Kastenplatte, eine weitmaschige Gitterplatte, an deren Oberfläche zu beiden Seiten dünnes durchlochstes Bleiblech angegossen ist, so daß die Masse nicht herausfallen kann. Das Gitter selbst besteht bei allen Fabrikaten aus Hartblei mit 4 bis 8% Antimonengehalt.

(1122) (595) Der chemische Vorgang bei der Tätigkeit des Sammlers besteht während der Entladung in der Umwandlung des Bleisuperoxyds an der + Platte und des Bleischwammes an der — Platte zu schwefelsaurem Blei:



Bei der Ladung zerfällt das schwefelsaure Blei an der + Platte in Bleisuperoxyd, an der — Platte in Bleischwamm und an beiden Platten wird Schwefelsäure frei:



Es wird mithin bei der Entladung H_2SO_4 verbraucht, bei der Ladung wieder abgegeben, mithin muß das spez. Gewicht des Elektrolyten bei der Entladung sinken und bei der Ladung steigen. Für 1 Ah Entladung werden gemäß obiger Gleichung verbraucht: 3,85 g Blei, 4,46 g Bleisuperoxyd und 3,66 g Schwefelsäure, während 11,3 g Bleisulfat und 0,67 g Wasser gebildet werden. In Wirklichkeit muß eine wesentlich größere Menge von Blei, Schwefelsäure und Superoxyd vorhanden sein, als der theoretisch berechneten Menge entspricht. Das gebildete Bleisulfat ist im Gegensatz zum Blei und dessen Superoxyd ein Nichtleiter. Daher ist eine völlige Ausnutzung der wirksamen Masse durch die wachsende Erschwerung der Stromableitung nicht möglich; ferner wird der innerhalb der Masse befindliche Elektrolyt durch den steigenden Verbrauch der Schwefelsäure immer schlechter leitend.

Die Dichte der Säure wird von der Mehrzahl der Fabrikanten für einen geladenen Akkumulator zu 1,2 angenommen. Bei dieser Dichte, genauer bei 1,22, hat die Schwefelsäure ihre beste Leitfähigkeit. Sammler für tragbare Zwecke, die leicht gebaut sein müssen, und daher besonders enge Plattenstellung haben, erfordern einen Elektrolyten von größerer Säuredichte, bis 1,25 und noch höher. Mit steigender Säuredichte wird die Haltbarkeit der Platten nachteilig beeinflusst.

(1123) (596) **Die elektromotorische Kraft** beträgt rund 2 V; sie ist abhängig von Säuredichte. Innerhalb 1,10...1,30 spez. Gewicht ist die Ruhespannung des der Akkumulators, die der EMK entspricht, fast genau gleich $0,84 + d$, wobei d das spez. Gewicht der Säure bedeutet. Die Ruhespannung beträgt bei einem spez. Gewicht von 1,10...1,20 bzw. 1,20...1,30 bzw. 1,94...2,04...2,14. Die EMK ist praktisch unabhängig von der Temperatur.

Die Klemmenspannung bei der Entladung ist abhängig von der Stromstärke. Sie fällt im Laufe der Entladung erst langsam, dann schneller und schließlich plötzlich bis auf 0. Nach dem Einschalten zur Entladung erfolgt zunächst ein plötzlicher Abfall um einige Hundertstel Volt, entsprechend dem Produkt aus Stromstärke und innerem Widerstand. Dann sinkt die Spannung ganz allmählich (Abb. 645, S. 268), welcher Abfall bedingt ist

1. durch den inneren Widerstand des Elementes,
2. durch die Verarmung des Elektrolyten an Schwefelsäure in der wirksamen Masse infolge Bildung von Bleisulfat; die Spannung ist ja abhängig von der Säuredichte,
3. durch das allmähliche Anwachsen des Widerstandes der Masse infolge der Bildung des Bleisulfats.

Der mit der Entladung eintretenden Verarmung an Schwefelsäure wird entgegengewirkt durch eine Zufuhr von neuer durch Diffusion. Ein schnelleres Sinken der Spannung wird dadurch verhindert und die Entladekurve senkt sich ganz langsam.

Zunächst findet die Bildung des Sulfats im wesentlichen in den äußeren Schichten der wirksamen Masse statt und zieht sich mit fortschreitender Entladung weiter in das Innere. Dort wird aber die Zufuhr von Schwefelsäure immer mehr erschwert, da sie nicht nur weitere Wege zurückzulegen hat, sondern auch, da Bleisulfat einen größeren Raum einnimmt als Blei und Superoxyd, die Poren der Masse immer mehr verengt werden. Infolgedessen nimmt gegen Ende der Entladung die Verarmung an Schwefelsäure schneller zu und die Spannung der Platte sinkt daher schneller, bis infolge völligen Mangels die Spannung schnell und plötzlich fast auf 0 fällt. Sobald dieser Augenblick bei nur einer Plattenart eintritt, fällt auch die Klemmenspannung des Elementes völlig ab; die andere Platte kann dabei noch Strom abzugeben in der Lage sein. Bei richtiger Bemessung der Platten ist die positive Platte zuerst erschöpft.

Wird nun das Element abgeschaltet, so steigt nach kurzer Zeit die Spannung wieder auf die Ruhespannung, deren Höhe von der nun herrschenden Säuredichte im Element abhängt. Die Ursache dieser Spannungserhöhung ist die erneute

Zufuhr von Säure in die wirksame Plattenmasse durch Diffusion, der jetzt kein Verbrauch gegenübersteht. Man kann mithin aus dem Spannungswert einer ruhenden Zelle nicht ihren Entladezustand beurteilen. Der letztere ist im Ruhezustand nur aus der Säuredichte zu schätzen.

Die mittlere Klemmenspannung bei der Entladung ist von der Beanspruchung abhängig. Sie beträgt, wenn der Ladeinhalt (die Kapazität) entnommen wird, in 1h: 1,80 V, in 3h: 1,85 V, in 5h: 1,87 V, in 10h: 1,92 V. Als Endspannung bei der Entladung wird von den Fabriken zugelassen für Entladezeiten

bis zu 2 h und kürzer eine Endspannung von	1,70 bis 1,75 V
bei 3 bis 5 h Entladung eine solche von	1,80 bis 1,83 V
bei 3½ bis 10 h „ „ „ „	1,83 V

Öfteres Unterschreiten der Endspannung hat auf die Haltbarkeit nachteiligen Einfluß.

Bei der Ladung findet der umgekehrte Vorgang statt. Das Bleisulfat wird auf beiden Plattenarten zersetzt. Bei Einschaltung zur Ladung steigt zunächst die Klemmenspannung schnell soweit an, als es dem Produkt aus Stromstärke und innerem Widerstand des Elementes entspricht. Dann erfolgt durch Freiwerden der Schwefelsäure weiteres ganz allmähliches Ansteigen. Die Säure wird durch Diffusion fortgeführt. Die äußeren Masseschichten werden zunächst umgebildet und allmählich zieht sich der Vorgang in das Innere. Sobald der größte Teil des Sulfats zersetzt und in Superoxyd verwandelt ist, dem Strom also nicht mehr in genügender Menge zur Verfügung steht, beginnt die Zersetzung der Schwefelsäure unter gleichzeitig schärferem Anstieg der Spannung. Dieser Vorgang macht sich durch Auftreten einer Gasentwicklung bemerkbar. Sie beginnt bei den positiven Platten zuerst und zwar bei einer 4stündigen gesamten Aufladezeit etwa nach 2½stündiger Ladung. An der negativen Platte entweicht Wasserstoff, an der positiven Sauerstoff, doch tritt die Sauerstoffentwicklung zuerst auf. Die Spannung steigt nun schnell bis zu 2,75 V, worauf ein weiteres Steigen nicht mehr stattfindet. Bei Ladung mit schwächerer Stromstärke ist die Endspannung niedriger, so ist sie z. B. bei 8stündiger Ladedauer etwa 2,6 V. Die Gasentwicklung bedeutet natürlich einen Energieverlust, doch ist häufigeres Aufladen bis zur vollen Gasentwicklung für gute Erhaltung der Platten wenigstens in Zwischenräumen durchaus erforderlich.

Da sich die bei der Ladung aus der Masse der Platten austretende Schwefelsäure im unteren Teil des Elementes ansammelt, dient die Gasung auch dazu, die Säure im Elektrolyten zu verteilen und die Säuredichte etwas auszugleichen. Man ermäßigt aber zweckmäßig den Ladestrom mit Eintritt der Gasentwicklung.

Die Menge des am Ende der Ladung entwickelten Knallgases beträgt für 1 Ah 0,626 Liter bei 0° und 760 mm Druck bzw. 0,7 Liter bei 30°. Die explosions-sichere Grenze der Knallgas enthaltenden Luft liegt bei einem Höchstgehalt von 6 vH Wasserstoff, entsprechend 9 vH Knallgas. Letzteres muß also mindestens eine 10fache Verdünnung mit Luft erhalten, zweckmäßig nimmt man eine 20...30fache Verdünnung.

Man kann auch mit gleichbleibender niedriger Spannung laden und wählt dazu zweckmäßig etwa 2,3 bis 2,4 V für die Zelle. Hierbei ist die Stromstärke bei Beginn der Ladung verhältnismäßig groß, sinkt aber schnell. Das Verfahren wird vielfach bei Anlagen elektrischer Eisenbahnwagenbeleuchtung angewendet, bei denen die Beleuchtungsmaschine von der Wagenachse angetrieben wird.

(1124) (597) **Der innere Widerstand** ist sehr gering und beträgt bei größeren Zellen unter 0,001 Ω . Mit fortschreitender Entladung steigt er etwas. Für eine Zelle der Type J 3 der Accumulatorenfabrik A.-G. ist der innere Widerstand im geladenen Zustande mit 0,00119 gemessen und steigt bei Entladung bis 0,00182 Ω

(1125) (598) **Der Inhalt** (Ladeinhalt, Kapazität) eines Sammlers ist die Zahl der Amperestunden, welche die Zelle abzugeben vermag, ehe ihre Spannung unter eine

festgesetzte Grenze herabgesunken ist. Die Strommenge, welche der geladene Sammler abgeben kann, ist abhängig von der Entladestromstärke. Setzt man den Inhalt eines Sammlers bei 3stündiger Entladung = 1, so ist derselbe bei 1stündiger Entladung 0,69, bei 2stündiger Entladung 0,82, bei 5stündiger Entladung 1,11, bei $7\frac{1}{2}$ stündiger Entladung 1,23 und bei 10stündiger Entladung 1,34. Auch die Temperatur hat Einfluß und zwar ändert sich der Inhalt um etwa 1% für 1° bei mittlerer Temperatur. Dies findet seine Erklärung darin, daß mit steigender Temperatur die Säure dünnflüssiger wird, infolgedessen findet der Säureausgleich schneller statt und die Entladekurve liegt daher höher, die Ladekurve etwas niedriger als bei mittlerer Temperatur.

(1126) (599) **Wirkungsgrad.** Der Wirkungsgrad ist das Verhältnis der entladenen Wattstunden zu dem zur Ladung aufgewendeten Betrag, in der Praxis etwa 75 vH, und steigt etwas mit der Temperatur. Der Wirkungsgrad in Strommenge, das Güteverhältnis, das Verhältnis der entladenen Ah zu dem zur Ladung aufgewendeten Betrag, ist etwa 90 vH. Bei Verwendung von Säure, die mit Metallen, wie Eisen, Mangan, Chrom, Edelmetallen, verunreinigt ist, wird er verschlechtert (1110).

(1127) (600) **Aufbau der Zellen.** Die Platten werden in Gefäße eingebaut, deren Material sich nach Größe und Verwendungszweck richtet. Kleinere Zellen für ortsfeste Anlagen erhalten Glasgefäße, größere Holzkästen, welche innen mit Blei ausgekleidet sind. Tragbare Zellen werden meist in Hartgummigefäße eingebaut, kleinere auch in Zelluloid (vorausgesetzt, daß die Elementzahl einer Batterie nicht größer als 16 ist), sobald es auf geringes Gewicht und geringe Raumbeanspruchung ankommt. Sonst werden ausgebleite Holzkästen verwandt, oft auch Glasgefäße.

Im Gefäße sind die Platten so angeordnet, daß immer eine + (braune) und eine - (graue) Platte abwechseln. Die Zahl der - Platten ist um eine größer, so daß die äußeren Platten stets negative sind. Die Platten sind genau parallel zueinander eingebaut und werden durch Glasrohre, Hartgummistäbe, Holzstäbe usw. in richtigem gleichmäßigen Abstand voneinander gehalten. Die Accumulatorenfabrik A.-G. verwendet jetzt allgemein besonders behandelte dünne Holzbrettchen zwischen den Platten, welche durch Holz- oder Hartgummistäbe in ihrer Lage festgehalten werden. Die Stäbe haben Schlitzte, durch welche die Brettchen durchgesteckt werden.

Zwischen dem Unterrand der Platten und dem Gefäßboden ist freier Raum gelassen, der die von den Platten im Betriebe abfallenden Teile aufnimmt. Ist dieser freie Raum von den abgefallenen Bleiverbindungen ausgefüllt, so muß das Element gereinigt werden, da sonst dieser Schlamm leitende Verbindung zwischen den Platten bildet. Der Schlamm besteht aus einem Gemisch von Bleisulfat und Bleisuperoxyd.

Die Platten werden mit besonderen Ansätzen auf Stützscheiben aus Glas gehängt, und zwar zweckmäßig so, daß der obere Rand der Stützscheiben außerhalb der Säure sich befindet, so daß sich auf ihm kein Schlamm ansammeln kann. Bei Glasgefäßen hängt man die Platte meist direkt auf den Rand des Gefäßes. Abb. 647 zeigt den Aufbau eines Elements in Glasgefäß.

Die gleichnamigen Platten einer Zelle werden untereinander leitend verbunden. Man richtet deswegen die stromführenden Fahnen der + Platte nach der einen, die der negativen nach der anderen Seite und verbindet sie durch übergelötete Bleistreifen. Durch Bleistreifen werden die positiven Platten der ersten

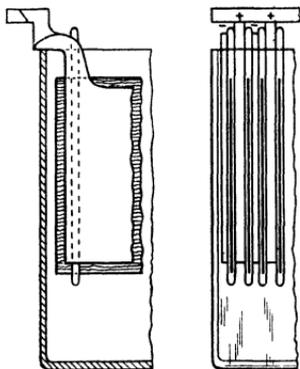


Abb. 647. Ortsfester Sammler.

Zelle untereinander und mit den negativen Platten der zweiten Zelle verbunden usw., wie in Abb. 648 dargestellt. Bei größeren Zellen erfolgt auch die Verbindung nach Abb. 649. Die Lötungen müssen ohne Verwendung von Zinn mit dem Gebläse ausgeführt werden. Nur wo Kupferverbindungen in die Bleileisten eingelötet sind, gebraucht man Zinn, das aber nach außen vollständig durch Blei verdeckt sein muß. Die ortsfesten Zellen werden mit Glasplatten abgedeckt, um die Verdunstung und das Versprühen der Säure zu vermindern, wodurch der Verbrauch an Nachfüllflüssigkeit ganz erheblich verringert und auch bewirkt wird, daß die säurehaltigen Dämpfe nur in geringem Maße in den Raum gelangen.

Für manche Zwecke hat man auch die flüssige Säure durch eine säuregetränkte feste Masse zu ersetzen gesucht, so durch Kieselgallerte, Torf, Glaswolle, ohne nennenswerten Erfolg.

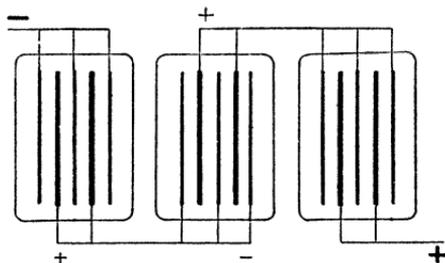


Abb. 648.

Verbindung hintereinander geschalteter Elemente.

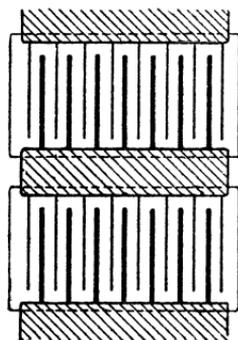


Abb. 649.

(1128) (601) Tragbare Sammler. Bei allen Verwendungsarten für tragbare Sammler kommt es hauptsächlich auf möglichst geringes Gewicht an, meist auch auf möglichst geringe Rauminanspruchnahme. Infolgedessen werden die Platten in Gefäße aus Hartgummi oder Zelluloid¹⁾ eingebaut, der Plattenabstand geringer als bei ortsfesten Anlagen genommen und die Platten vielfach leichter gebaut, was ihre Lebensdauer vermindert. Wie weit man mit der Verringerung des Plattengewichtes und des Plattenabstandes geht, hängt im wesentlichen davon ab, wie weit man Wert auf Wirtschaftlichkeit und Betriebssicherheit der Anlage zu legen hat. Wo es auf diese beiden Punkte ankommt, wird man möglichst auf große Lebensdauer der Platten und Zuverlässigkeit des Betriebes sehen.

Die Leistung der Batterien für Lokomotiven und Triebwagen mit Oberflächenplatten ist etwa 8 Wh/kg bei 3stündiger Entladung, bei Akkumulatoren für Zugbeleuchtung ca. 10 Wh/kg bei 10stündiger Entladung bei Elementen der Accumulatorenfabrik A.-G. Wesentlich leichter sind die Batterien für den Betrieb von Automobilen, wo Batterien von 28...33 Wh/kg bei 5stündiger Entladung genommen werden.

(1129) (602) Akkumulatorenraum. Die Räume ortsfester Batterien sind derart zu wählen und herzustellen, daß sie in der Nähe des Maschinenhauses gelegen, leicht zugänglich, möglichst hell, trocken, lüftungsfähig und möglichst geringen Temperaturschwankungen ausgesetzt sind. Sie dürfen keinem anderen Zwecke dienen. Staub oder schädliche Gase und Dämpfe dürfen in den Raum nicht eintreten. Decken und Wände müssen so beschaffen sein, daß kein Mörtel usw. in die Elemente fallen kann. Der Fußboden besteht aus Sand und bestem Trinidadasphalt (3 $\frac{1}{2}$: 4); geringere Asphaltarten sind nicht säurebeständig und daher

¹⁾ Dieses Kastenmaterial ist nur zulässig bei Batterien von nicht mehr als 16 Zellen.

völlig unbrauchbar. Der Asphaltbelag wird am besten etwa 30 mm dick gewählt. Das Einsinken der Gestelle macht man dadurch unmöglich, daß man an den Stützpunkten der Gestelle säurebeständige Mettlicher Platten in die Asphalttschicht einlegt und zwar so, daß sie direkt auf dem unteren Grunde ruhen. Die Tragfähigkeit des Fußbodens muß an den Unterstützungspunkten der Batteriegestelle dauernd mindestens 3 kg/cm² bei der höchsten im Raume vorkommenden Temperatur betragen. Hölzerne Fußböden werden gut geteert und zwar mit Steinkohlenteer, da Holzteer nicht säurebeständig ist. Die Batterien sind so aufzustellen, daß man jede Zelle genau besichtigen kann. Man läßt deshalb vor jedem Gestell 0,75 bis 1 m zur Bedienung der Zellen frei.

(1130) (603) **Isolation.** Die Zellen müssen sowohl untereinander als auch von der Erde gut isoliert werden. Das Batteriegestell besteht aus Holz. Ein Aufbau der Zellen in mehreren Reihen übereinander ist möglichst zu vermeiden. Zwischen den Zellen jeder Reihe und zwischen den Reihen selbst läßt man einen größeren Zwischenraum. Unter die Füße des Gestelles kommt Isolation aus Glas oder Porzellan. Die Teile des Gestelles sollen nicht durch metallene Schrauben, Bolzen usw., sondern durch Holzpflocke verbunden werden. Die einzelnen Zellen erhalten nochmalige Isolation, indem man sie auf besondere Isolatoren aus Porzellan oder Glas stellt.

Soll die Isolation einer Sammlerbatterie gegen Erde gemessen werden, so verfährt man nach L i e b e n o w (ETZ 1890, S. 360) in der Weise, daß man die Batterie zunächst vom Netz und der übrigen Anlage trennt und hierauf (nach Einschalten einer Bleisicherung) zunächst den einen Pol der Batterie durch einen Strommesser mit möglichst kleinem Widerstand an Erde legt. Man liest den durch den letzteren fließenden Strom I_1 ab und wiederholt dann dasselbe Verfahren am anderen Pol. Ergibt sich hier die Stromstärke I_2 , und ist E die Spannung der Batterie, so erhält man als Gesamtisolationswiderstand der Batterie $R = E/(I_1 + I_2)$. Bei hohem Isolationswiderstand wird ein Galvanometer, sowie eine Hilfsbatterie benutzt, die derart zwischen das Galvanometer und die zu messende Batterie geschaltet wird, daß sich die EMKe beider addieren. Ist der innere Widerstand des Galvanometers = g , der Hilfsbatterie = r , deren EMK = e , so berechnet sich der Widerstand des Isolationsfehlers nach der Formel

$$R = \frac{E + 2e}{I_1 + I_2} - (g + r).$$

Sind g und r nicht bekannt, so legt man ein Galvanometer (Nullinstrument) direkt zwischen Batteriepol und Erde, ebenso die Hilfsbatterie mit dem ersteren Galvanometer, vor welches man noch soviel Widerstand schaltet, daß das Nullinstrument keinen Ausschlag gibt. Die Messung wird an beiden Polen ausgeführt und es ist

$$R = \frac{E}{I_1 + I_2}.$$

Die EMK der Hilfsbatterie muß genügend groß sein, um das Nullinstrument mittels des Vorschaltwiderstandes auf Null zu bringen. Je größer der zu messende Isolationswiderstand der Batterie ist, desto kleiner kann die Hilfsbatterie sein.

Es empfiehlt sich, die eisernen Gestänge für die Verlegung der Zellenschalterleitung und Klemmenverbindungen nicht über den Elementen, sondern über den Gängen anzubringen. Für Flachkupferleitungen werden zweckmäßig Schienen mit abgerundeten Kanten gewählt, die verhindern, daß sich Säuretropfen auf der Oberkante festsetzen und oxydierend wirken. Blanke Leitungen werden mit Öl oder konsistentem Fett, Vaseline u. dgl. vor der ersten Ladung eingefettet und dies von Zeit zu Zeit wiederholt.

(1131) (604) **Schwefelsäure.** Die Säure muß ganz rein sein, besonders frei von Arsen, Salpeter- oder Salzsäure und Metallen der Schwefelwasserstoffgruppe. Sie wird mit reinem Wasser, am besten destilliertem Wasser, verdünnt. Das Mischen der Säure mit Wasser wird in großen Gefäßen vorgenommen. Man gießt die Säure

langsam und nach und nach unter Umrühren zum Wasser, nicht umgekehrt; die Mischung erhitzt sich beträchtlich. Am besten bezieht man die Säure in verdünntem Zustande von Säurefabriken, welche besonders sog. Akkumulatorensäure herstellen und für deren Reinheit garantieren. Zum Messen der Säuredichte benutzt man Aräometer. Die Säure ist am Boden der Gefäße unterhalb der Platten gewöhnlich dichter als zwischen und über diesen. Die Säure muß in den Elementen überall genügend hoch stehen. Zum Nachfüllen benutzt man destilliertes Wasser oder stark verdünnte Säure.

(1132) (605) Ladung und Entladung. Möglichst bald nach Einfüllen der Säure hat die erste Ladung einer Batterie zu erfolgen. Die Säure wird erst eingefüllt, wenn die Batterie vollständig aufgestellt und die Maschinenanlage betriebsfertig ist. Die Maschine wird in den Stromkreis der Batterie eingeschaltet, sobald ihre Spannung gleich derjenigen der Batterie ist. Der positive Pol der Batterie muß mit dem + Pol der Maschine verbunden sein, was sich leicht mit Polreagenzpapier feststellen läßt. Die Ladung ist beendet, wenn alle Platten lebhaft Gas entwickeln, und diese Gasentwicklung nach einer Stromunterbrechung von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Stunde fast unmittelbar nach Einschalten des Stromes wieder einsetzt. Die Farbe der positiven Platten muß dunkelbraun, die der negativen hellgrau sein.

Als Stromstärke für die Ladung wird von den Fabriken die für die Größe der Zelle höchst zulässige angegeben; sie darf aber beliebig niedriger sein. In jedem Falle ist es für die Batterie vorteilhaft, wenn die Stromstärke gegen Ende der Ladung ermäßigt wird, um starke Gasentwicklung zu vermeiden, welche die Platten schädigt und Stromverluste verursacht. Jede Ladung ist so lange fortzusetzen, bis in sämtlichen Elementen beide Plattenarten lebhaft Gas entwickeln, und der Betriebswärter muß gegen Ende jeder Ladung nachsehen, ob in allen Elementen gleichmäßig und zu gleicher Zeit die Gasentwicklung beginnt. Bei Zurückbleiben eines oder mehrerer Elemente sind diese sofort zu untersuchen und in Ordnung zu bringen. Während der Ladung, besonders gegen deren Ende, muß der Batterieraum gut gelüftet werden. Nach Beendigung der Ladung läßt man die Spannung der Maschine etwas herabgehen, bis der Strom nahezu Null wird. Dann schaltet man aus. Zur Ladung werden allgemein Nebenschlußmaschinen benutzt. Soll zur Ladung eine Maschine mit gemischter Wicklung benutzt werden, so ist die Ladeleitung von den Bürsten abzuzweigen. Häufig ist es zweckmäßig, der Dynamomaschine, welche zur Speisung der Beleuchtungsanlage dient, für die Ladung der Batterie eine kleinere Maschine vorzuschalten (Zusatzmaschine), welche den Ladestrom dauernd aushält und etwa die Hälfte der Spannung der Lichtleitung liefern kann. Die Entladung ist beendet, wenn die Spannung rascher zu sinken beginnt. Weitere Stromentnahme ist schädlich für die Batterie.

Sollen Zellen einander parallel geschaltet werden, so muß dafür gesorgt werden, daß die parallelen Zellen entsprechend ihrer Größe Strom erhalten und liefern. Es empfiehlt sich, in jeden Zweig einen Strommesser und einen regulierbaren Widerstand einzuschalten. Sollen verschiedenartige Batterien oder neue und alte Elemente in dieser Weise zusammengeschaltet werden, so schaltet man am besten die neuen und die alten Elemente unter sich parallel und erst diese parallel geschalteten Reihen hintereinander.

In Zellen, welche zu weit oder mit zu starkem Strom entladen werden, oder bei denen ein Isolierfehler oder ein Kurzschluß vorliegt, wie auch in Zellen, welche längere Zeit aufgeladen stehen, nehmen die positiven Platten eine hellere rötliche oder graue Farbe an, indem sich Bleisulfat bildet. Dieses kann man, nachdem der etwaige Fehler beseitigt ist, durch fortgesetztes Laden mit Ruhepausen wieder in das braune Superoxyd der positiven Platten verwandeln. Das Aufladen mit Ruhepausen, d. h. längeres Unterbrechen der Ladung nach eingetretener Gasentwicklung, erfolgt nach den von der Fabrik gegebenen Vorschriften.

(1133) Zeitweilige Außerbetriebsetzung einer Batterie. Wenn es nötig ist, die Batterie für längere Zeit unbenutzt stehen zu lassen, so muß sie vorher, voll

geladen werden, und man muß darauf achten, daß die Platten ganz mit Flüssigkeit bedeckt sind. Wenn möglich, soll etwa alle 14 Tage so lange geladen werden, bis Gasblasen entweichen. Sollen die Elemente monatelang unbenutzt bleiben, so zieht man am besten die Säure ab. Nach dem Wiedereinfüllen hat man dann zunächst gründlich mit Ruhepausen aufzuladen.

Ein vorzügliches Verfahren zur Erhaltung der Platten besteht in der sogenannten Ausgleichsladung, d. i. einer dauernden Ladung mit sehr schwachem Strom. Die vollgeladene Batterie ist mit einer Spannung nicht unter 2,15 und nicht über 2,2 V für jede Zelle, z. B. für 40 Zellen von 86 bis 88 V, auf Dauerladung zu schalten. Der Batterie wird hierzu eine Glühlampe von gleicher oder höherer Spannung wie die Netzspannung und dem Ladestrom entsprechender Lichtstärke vorgeschaltet. Es ist von Zeit zu Zeit nachzuprüfen, daß die Ladenspannung an den Klemmen der Batterie in genannter Höhe vorhanden ist und ein kleiner Ladestrom von der Batterie dauernd aufgenommen wird. Ist die Spannung zu tief, so muß eine Glühlampe höherer Lichtstärke verwendet werden. Während der Dauerladung darf der Batterie kein Strom entnommen werden. Bei genauer Beachtung dieser Vorschrift wird die Dichte der Säure in gleicher Höhe bleiben und das Arbeitsvermögen der Zellen keiner Abnahme unterliegen (DRP 310644 der Accumulatoren-Fabrik Aktiengesellschaft).

(1134) Selbsttätige Aufladung von tragbaren Sammlern. Es ist vielfach erwünscht, z. B. beim Betrieb von elektrischen Fahrzeugen, wie Elektromobilen, Lastkarren, Booten usw., daß die Ladung mit möglichst wenig Aufsicht, am besten ohne jede Bedienung, selbsttätig erfolgen kann. Vielfach steht nur die Nachtzeit für die Ladung zur Verfügung. Ein selbsttätiges Aufladen wird durch die Verwendung des sogenannten Pöhlerschalters (DRP 415705) ermöglicht. Dieser Schalter beruht auf folgender Grundlage: Sobald eine Batterie während der Ladung eine Zellenspannung von 2,4 V erreicht hat, verbraucht sie von diesem Zeitpunkt ab eine immer gleichbleibende Energie bis zur vollen Ladung, ganz gleich, welche Strommenge ihr vorher entnommen worden ist. Wird also eine Batterie, nachdem die Spannung jeder Zelle auf 2,4 V gestiegen ist, mit einer bestimmten Stromstärke bis zur vollen Ladung aufgeladen, so wird dazu immer die gleiche Zeit gebraucht, einerlei ob die Batterie vollständig oder nur zur Hälfte entladen war. Da die Spannung von 2,4 V in dem Teil der Ladekurve liegt, in dem die Spannung schnell ansteigt (Abb. 645), so ist es leicht, den Punkt zu bestimmen, an dem die Spannung von 2,4 V erreicht ist, was bei der Endspannung der Ladung, bei der die Kurve fast flach ist und deren Höhe zudem schwankt, da sie von Säuredichte, Temperatur usw. abhängig ist, nicht zutrifft. Sobald die Spannung von 2,4 V erreicht ist, setzt beim Pöhlerschalter ein Relais ein Uhrwerk in Gang, welches nach einer bestimmten, durch die Erfahrung ermittelten Zeit einen Schalter auslöst und damit den Ladestrom unterbricht.

(1135) (606) Kurzschluß in einer Zelle wird außer durch genaue Besichtigung der Platten auch daran erkannt, daß gegen Ende der Ladung die Gasentwicklung ausbleibt oder später eintritt als in den benachbarten. Ebenso bleibt gegen Ende der Ladung die Spannung der Zelle zurück. Es ist eine Hauptbedingung für die Wirksamkeit eines Akkumulators, daß die positiven und die negativen Platten eines Elementes nicht in metallisch leitender Verbindung miteinander stehen. Jede solche stromleitende Verbindung zwischen beiden Plattenarten im Element bewirkt eine Entladung des betreffenden Elementes, welche nutzlos verloren geht und in ihren Folgen nicht nur Störungen im Betriebe veranlaßt, sondern auch besonders nachteilig auf die Lebensdauer der Platten einwirkt. Ein Kurzschluß kann entstehen

1. durch direkte Berührung zweier benachbarter Platten,
2. durch metallische stromleitende Stoffe (abgetropftes Lötblei, Bleischwamm, Bleisuperoxyd usw.), welche sich zwischen den Platten festsetzen,
3. durch mittelbare oder unmittelbare Berührung der Platten mit dem Bleimantel des Holzkastens.

Ist ein Kurzschluß stark genug, um die völlige Entladung eines Elementes herbeizuführen, so liegt die Gefahr nahe, daß die Platten hart werden (sulfatieren) und die weitere Aufnahmefähigkeit verlieren. Bei der Ladung bleibt dann der Strom ohne Wirkung auf die Platten, weil er seinen Weg durch den Kurzschluß nimmt; das Element wird nicht geladen und kommt deshalb nicht zur Gasentwicklung. Zuweilen tritt der Fall ein, daß derartige Elemente nach Entfernung eines lange vorhanden gewesen Kurzschlusses Gas entwickeln, ohne daß sie geladen sind. Das rührt daher, daß die Platten hart sind und der Strom nicht mehr einwirken kann. Die Säuredichte steigt in diesem Falle auch nicht bei der Ladung. Das Steigen der Säuredichte ist der einzige Maßstab für die fortschreitende Ladung. Durch Kurzschluß und die damit zusammenhängende zu tiefe Entladung wird oft ein Krümmen der Platten verursacht. Sind die Platten voneinander durch Glasrohre oder Hartgummistäbe isoliert, so kann man die Ursache eines Kurzschlusses meist mittels eines Holzstäbchens beseitigen. Ist dies nicht angängig, so muß die Zelle ausgebaut werden; an ihrer Stelle wird eine starke Kupferleitung als Überbrückung eingesetzt. Die Zelle wird entleert, auseinandergenommen und untersucht. Verbogene Platten richtet man wieder gerade. Ehe man die Zelle wieder in die Batterie einschaltet, ist zu empfehlen, sie mehrmals zu laden und zu beobachten, ob sie in Ordnung ist. Bei Zellen mit Holzbrettchen stellt man den Kurzschluß zweckmäßig mit Hilfe des sogenannten Kurzschlußfinders fest, einer eingekapselten Magnetnadel, welche nacheinander zwischen die Stromableitungen der Platten zu den Bleileisten gehalten wird. Die Magnetnadel wird dann, falls die Platten kurzschlußfrei sind, von Ableitung zu Ableitung keine oder nur sehr geringe Bewegung zeigen. Kommt man dagegen an eine Platte, die Kurzschluß hat, so wird die Nadel kräftig abgelenkt. Sind mehrere Kurzschlüsse in einem Element, so ändert die Nadel an jeder Platte, die Kurzschluß hat, ihre Lage in der vorerwähnten Weise.

Wird das Zurückbleiben der Zelle rechtzeitig bemerkt und der Kurzschluß sofort beseitigt, so wird die Zelle nach einer oder zwei Ladungen wieder sich gleich den übrigen verhalten, zumal wenn die Batterie etwas länger als nötig geladen wurde. Der Wärter hat deshalb die Pflicht, gegen Ende jeder Ladung den Batterieraum zu durchgehen und zu beobachten, ob alle Elemente gleichmäßig und gleichzeitig zur Gasentwicklung gelangen. Hierbei ist bei Anlagen mit Zellschalter zu berücksichtigen, daß die ersten Zellschalterelemente meist früher Gas entwickeln, einerseits weil sie weniger entladen werden, andererseits, weil sie oft durch den Netzstrom bei der Ladung auch mehr Strom erhalten als die übrigen.

(1136) (607) Garantie. Die Akkumulatorenfabriken leisten für die gelieferten ortsfesten Batterien und auch für größere Batterien für transportable Einrichtungen, wie Lokomotiven, Triebwagen, Boote, eine 1jährige Garantie in der Weise, daß sie sich verpflichten, die garantierte Kapazität wieder herzustellen, falls diese innerhalb der Garantiedauer unter die garantierte Grenze sinken sollte, wobei bedungen wird, daß die gegebenen leicht zu erfüllenden Vorschriften für die Behandlung der Batterien gewissenhaft befolgt werden, und daß die Füllsäure die geforderte Beschaffenheit besitzt. Auch übernehmen die Fabriken zu bestimmten nach dem Anschaffungspreis der Batterie bemessenen Sätzen — dieselben betragen etwa 8 bis 10% jährlich bei täglich einmaliger Entladung im Durchschnitt — die fort-dauernde Unterhaltung der Sammler, den Ersatz schadhafte wendender Teile und verpflichten sich außerdem, die Batterien nach einem bestimmten Zeitraum — meist 10 Jahre — in bestem Zustand zu übergeben.

Literatur: Grunwald, F.: Die Herstellung der Akkumulatoren. Halle a. d. S., 1903, Wilh. Knapp. — E l b s, K.: Die Akkumulatoren. 5. Aufl. Leipzig 1919, Joh. Ambr. Barth. — B e i n, W.: Elemente und Akkumulatoren, ihre Theorie und Technik. Leipzig 1908, Joh. Ambros. Barth. — B e r m b a c h, W.: Die Akkumulatoren. 5. Aufl. Leipzig 1920, Otto Wigand. — W o g r i n z, A l f r e d: Elemente und Akkumulatoren, ihre Wirkungsweise und Behandlung. Wien und Leipzig 1914, Franz Deuticke. — L u c a s, L.: Die Akkumulatoren und galvanischen Elemente. 3. Aufl. Hannover 1926, Dr. Max Janecke. — H e i m, C.: Die Akkumulatoren für stationäre elektrische Anlagen. 5. Aufl. Leipzig 1918, Oskar Leiner. — J u m a u, L.: Les Accumulateurs. Paris 1907, Dunod & Pinat. — Lyndon, L.: Storage Battery Engineering. New York 1903. — Watson, A. E.: Storage

Batteries, Lynn, Mass. 1911. — Dolezalek, Fr.: Die Theorie des Bleiakкумуляtors. Halle a. d. S. 1904, Wilh. Knapp. — Kretschmar, F. E.: Die Krankheiten des stationären elektrischen Bleiakкумуляtors, 2. Aufl. 1922, München, R. Oldenbourg. — Albrecht, Richard Die Akkumulatoren für Elektrizität, 2. Aufl., Leipzig 1918, G. J. Göschen.

II. Der alkalische Sammler.

(1137) (608) **Herstellungsfirmer.** Die wichtigsten Werke, welche alkalische Batterien herstellen, sind: Edison Storage Battery Co., Orange, N. J., seit 1904; Deutsche Edison-Akkumulatoren-Company G. m. b. H. Berlin, seit 1905, ferner Svenska Akkumulatör A. B. Jungner, Stockholm und Société des Accumulateurs Fixes et de Traction, Romainville (Seine).

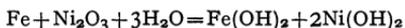
Die Edison-Gesellschaft in Orange stellt nur Zellen mit positiven Röhrenplatten her, die auch seit 1909 von der deutschen Gesellschaft gemacht werden. Letztere stellte jedoch früher außerdem auch noch Zellen mit Taschenplatten her. Die anderen Firmen verwenden nur Taschenplatten, wobei die positiven und negativen Platten äußerlich gleiches Aussehen haben. In der Wirkungsweise sind alle alkalischen Sammler nahezu gleich. Während die Taschen der Taschenplatten bei stärkerer Beanspruchung der Sammler durch das Quellen der Masse leicht auseinander getrieben werden und dadurch ein früher Kapazitätsnachlaß und schließlich auch Kurzschluß erzeugt wird, ist bei den Röhren diese Gefahr vermieden. Daher besitzt die Röhrenplatte eine größere mechanische Haltbarkeit. Sie bewahrt ihre Leistung und eignet sich auch besonders für Zwecke, die eine stärkere Beanspruchung erfordert. Sie ist aber in der Herstellung etwas teurer als die Taschenplatte.

Über den Edison-Sammler liegen die ausführlichsten Untersuchungen vor und es beziehen sich daher die nachfolgenden Ausführungen auf diesen¹⁾.

(1138) (609) **Chemischer Vorgang.** Für die positive Platte wird Nickelhydroxydul, vermischt mit feinen metallischen Nickelflocken, verwendet. Bei der Ladung geht das Nickelhydroxydul in eine höhere Oxydationsstufe über. Für die negativen Platten wird eine äußerst fein verteilte Eisen-Sauerstoffverbindung mit geringer Beimengung von Quecksilber benutzt. Bei der Ladung wird dieses Eisenoxyd zu metallischem Eisen reduziert.

Bei der Entladung erfolgt für beide Platten der chemische Vorgang in umgekehrter Richtung. Der Zusatz der Nickelflocken in der positiven und von Quecksilber in der negativen Platte dient zur Erhöhung der Leitfähigkeit dieser an und für sich schlechtleitenden Massen. Jungner verwendet in den negativen Platten einen Zusatz von Cadmium.

Der chemische Vorgang verläuft nach Förster gemäß folgender Gleichung:



und zwar erfolgt der Vorgang für die Entladung von links nach rechts und für die Ladung von rechts nach links.

(1139) **Aufbau der Zellen.** Für Gefäß, Plattenrahmen und Polbolzen wird vernickelter Stahl verwendet. Die Isolation der Platten gegeneinander und des Plattensatzes gegen das Gehäuse ist Hartgummi.

Bei der positiven Platte ist die aktive Masse in Röhren, bei der negativen Platte in flache Taschen aus dünnem, vernickelten und feingelochten Stahlblech unter hohem Druck eingepreßt. Die Röhren und Taschen sitzen senkrecht und absolut fest in dem Plattenrahmen. Masseausfall kann nicht eintreten. Die Platten gleicher Polarität sind auf Stahlstiften aufgereiht und verschraubt. Der Plattensatz ist ohne Spielraum in das Gefäß eingesetzt und der Deckel auf letz-

¹⁾ Literatur: Veröffentlichungen über den Edison-Akkumulatör: Holland, W. E.: The Edison Storage Battery. The Electrician, London, Bd. 66, S. 47, 1910. — Kammerhoff, M.: Der Edison-Akkumulatör. Berlin 1910, Julius Springer. — Joly: Die Edison-Batterie. The Electrical Times 17. Februar 1910. — Förster, Dr. Fritz: Elektrochemie wässriger Lösungen. Leipzig 1915, Joh. Ambrosius Barth. S. 222 u. ff.

teres aufgeschweißt. Die Polbolzen sind durch Stopfbuchsen aus Hartgummi durch den Deckel der Zellen isoliert herausgeführt und am oberen Ende konisch. Die Polverbinder bestehen aus eisernen, vernickelten Polschuhen, verbunden durch vernickelten Kupferstab und sind auf die Polbolzen der Zellen aufgeschraubt. Lötungen kommen am Edisonsammler nicht vor. An der Außenseite des Gefäßes hat jede Zelle 4 oder 8 (je nach Größe) angeschweißte Nocken aus Stahlblech, die in Verbindung mit Hartgummiisolatoren zur Aufhängung der Zellen im Batteriekasten dienen.

Da die Gefäße der Edisonzelle aus Metall und daher spannungsführend sind, so werden die Zellen an den erwähnten Nocken freihängend durch Luftzwischenraum gegeneinander und durch Hartgummiisolatoren gegen den Holzkasten isoliert, in diesen eingebaut. Ein Auseinanderstellen von Edisonzellen ohne Isolierung und ohne Luftzwischenraum ist nicht zugänglich.

Der Elektrolyt ist reine Kalilauge, die in der Zelle ein spezifisches Gewicht von 1,2 haben soll. Sie hat einen Zusatz von Lithiumhydroxyd, von dem Förster annimmt, daß er wahrscheinlich die Schrumpfung der Oberfläche der positiven Masse verhindern und dadurch eine Abnahme des Ladeinhaltes vermeiden soll. Die Kalilauge wirkt in den Zellen nur als Stromträger und ihr spezifisches Gewicht gibt daher nicht, wie beim Bleisammler, einen Anhalt für den Zustand von Ladung bzw. Entladung der Zellen. Schwanken darf das spezifische Gewicht der Lauge zwischen 1,23 und 1,16, bezogen auf 18° C. Die Nachfüllung als Ersatz für verdunstete Lauge erfolgt nur mit reinem (nicht angesäuerten) destillierten Wasser. Die richtige Zusammensetzung der Lauge und deren spezifisches Gewicht ist von wesentlichem Einfluß auf die Leistung der Zellen. Die Neufüllung der Edisonzellen mit Kalilauge ist unter normalen Betriebsverhältnissen etwa alle 12 Monate erforderlich. Das spezifische Gewicht der Lauge sollte etwa alle 4 Wochen festgestellt werden

Von der Deutschen Edison-Akkumulatoren-Company G. m. b. H., Berlin werden Edisonzellen zurzeit hergestellt mit Leistung von 5 bis einschließlich 675 Ah.

(1140) Elektromotorische Kraft und Klemmenspannung. Die EMK beträgt etwa 1,4 V. Der Spannungsverlauf bei Ladung in 7 h und Entladung in 5 h ist aus den Schaulinien der Abb. 650 ersichtlich. Die Kurven der Abb. 651 beziehen sich auf die früher in Deutschland ebenfalls hergestellten Zellen mit Taschenplatten. Bei letzteren war die Ladezeit normal 4 h und der dauernd zulässige Entladestrom war der 4stündige. Dabei war der Ladestrom etwa 40 vH höher als der Entladestrom. — Die Ladung der Edisonzellen kann auch mit gleichbleibender Spannung und abfallender Stromstärke erfolgen. Die Spannung muß dabei unverändert 1,67 V je Zelle sein. Der Verlauf des Ladestromes ist aus Abb. 653 ersichtlich. Im Augenblick des Einschaltens der zuvor normal entladenen Zelle steigt der Ladestrom bis auf etwa das Doppelte an, um jedoch rasch wieder abzufallen und nach etwa $3\frac{1}{4}$ h die normale Stromstärke zu erreichen. Nach 7 h Ladung ist der Ladestrom auf etwa 37 vH des normalen 7stündigen gesunken. Bei einer Netzspannung von 110 V können mithin $110/1,67 = 66$ Edisonzellen in Hintereinanderschaltung ohne Vorschaltwiderstand geladen werden. Zwischenladungen können unter Berücksichtigung der Erwärmungsgrenze für kurze Zeiten auch mit hohen Stromstärken erfolgen, wenn Betriebspausen und Ladegelegenheiten dies ermöglichen.

Die Ladekurve (Abb. 652) zeigt die verkürzte Ladung einer Edisonzelle in nur 5 h mit abgestuften Stromstärken ($2\frac{1}{2}$ h mit dem doppelten, $1\frac{1}{2}$ h mit dem $1\frac{1}{3}$ fachen, $1\frac{1}{3}$ h mit dem $\frac{2}{3}$ fachen des normalen 7stündigen Ladestromes).

Überladungen, tiefe Entladungen, starke Erschütterungen, auch wenn sie oft eintreten, schaden dem Edisonsammler nicht.

Die Zellenzahl einer Edisonbatterie für durchschnittliche Entladung mit dem 5stündigen Strome wird bestimmt durch Teilung der verlangten mittleren Klemmenspannung der Batterie durch die mittlere Entladespannung (1,2 V) einer Zelle.

Der dauernd zulässige Entladestrom ist der 5stündige. Für Traktionszwecke wie Triebwagen, Lokomotiven usw. kann der Edisonsammler mit dem 3stündigen Strome im Mittel entladen werden.

Die Ladung der Edisonzelle erfolgt normal in 7 h mit dem für die betreffende Zellenart vorgeschriebenen Ladestrome. Beendet ist die Ladung der Zellen, wenn die Ladespannung an den Klemmen der Batterie einen Höchstwert erreicht hat, der etwa bei 1,82 bis 1,8 V liegt, also wenn die Ladespannung nicht mehr steigt, und wenn dann noch etwa 20 min weitergeladen wurde. Eine genaue Zahl kann nicht angegeben werden, da auch der Zustand und die Temperatur der in der Zelle befindlichen Kalilauge von Einfluß sind.

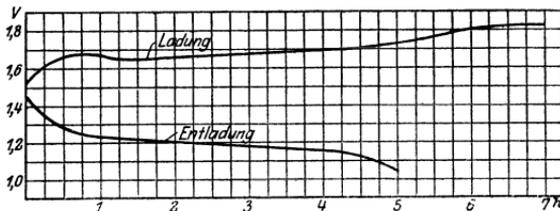


Abb. 650. Edisonzellen T, B und A, Spannung bei Ladung und Entladung

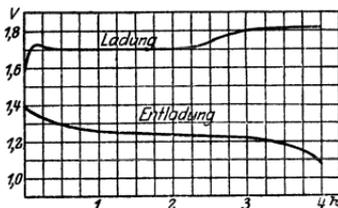


Abb. 651. Edisonzellen F, FB und FA, Spannung bei Ladung und Entladung,

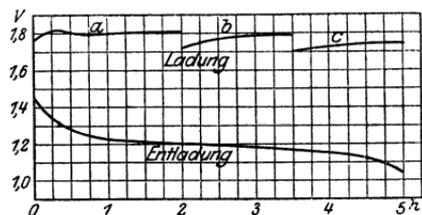


Abb. 652. Edisonzellen T, B und A, Ladung mit verkürzter Ladezeit.

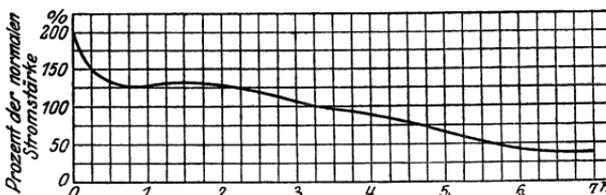


Abb. 653. Edisonzellen, Ladestrom bei Ladung mit gleichbleibender Spannung

Als normal entladen gilt der Edisonsammler, wenn während der Entladung mit dem 5stündigen Strome seine Klemmenspannung auf etwa 1 V je Zelle gesunken ist. Andere Merkmale für Beendigung der Ladung und Entladung bestehen nicht.

(1141) Inhalt. Der Ladeinhalt des Edisonsammlers in Ah wird durch die Höhe des Entladestromes praktisch nicht beeinflusst. Bei höherer Belastung sinkt jedoch seine Spannung infolge des höheren inneren Widerstandes rascher als die der Bleizelle. Abb. 654 (nach Holland) zeigt die Beziehungen von Leistung in Ah und Wh und der mittleren Entladespannung zum Entladestrome, wenn die Ladung mit dem normalen Ladestrome (1) und dem mehrfachen des-

selben (1 bis 6) erfolgt. Der normale Ladestrom (1) ist der 7stündige. Abb. 655 (nach Holland) zeigt das Verhältnis von Leistung und Wirkungsgrad in Ah und Wh bei verschiedenen langen Ladungen mit dem normalen 7stündigen Ladestrome bei einer Zelle der Type A4 mit 150 Ah. Der Arbeitsinhalt der Zelle der Type A4 wird von Holland mit 33,6 Wh/kg angegeben.

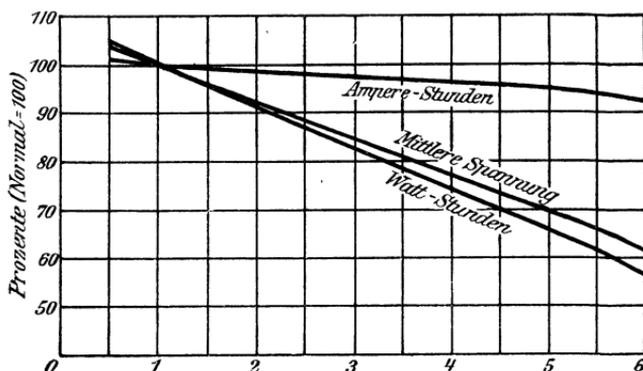


Abb. 654. Kapazität und Spannung einer Edisonzelle bei verschiedenen Entladeströmen

Durch längere Ladung (Überladung) läßt sich die Kapazität des Edisonakkumulators nicht unwesentlich über die normale hinaus erhöhen. Die Lauge-temperatur von Zellen, die etwa in der Mitte der Batterie stehen, soll 50°C nicht übersteigen, weil dadurch die Leistung und bei öfteren Wiederholungen auch die

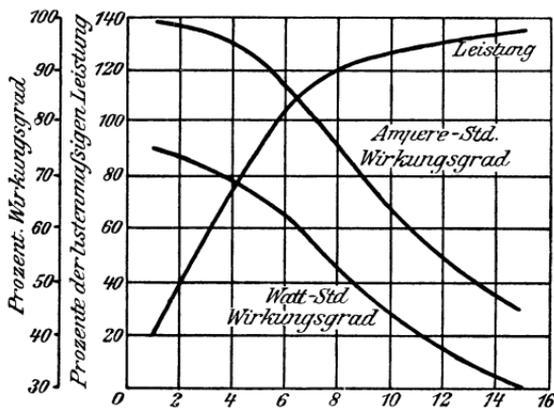


Abb. 655. Leistung und Wirkungsgrad einer Edisonzelle bei verschiedenen Ladezeiten und normalem Ladestrom.

Lebensdauer der Zellen ungünstig beeinflusst würden. Der innere Widerstand ist abhängig von der Zellengröße und beträgt nach Holland für die Zelle A6 mit 225 Ah im Mittel etwa $0,0020\ \Omega$ und für die Zelle A4 mit 150 Ah etwa $0,0030\ \Omega$.

Unter normalen Verhältnissen ist der Wirkungsgrad nach Angabe von Edison in Ah etwa 72 vH., in Wh etwa 55 bis 60 vH.

(1142) (613) Die Bedienungsvorschrift, welche zurzeit für die in Deutschland hergestellten Edisonbatterien Anwendung findet, ist nachstehend im Wortlaut wie-

dergegeben und zwar bezogen auf eine Automobilbatterie von 80 V mit 67 Zellen A 6 mit 225 Ah, mittlere Klemmenspannung 80 V, Entladestrom 45 A, Ladestrom 45 A, Ladezeit 7 h. Erforderliche höchste Ladespannung 100 bis 122 V.

1. **Füllung der Batterie.** Die Füllung erfolgt mit der von der Fabrik mitgegebenen oder bezogenen Kalilauge. Alle Zellenverschlüsse sind zu öffnen. Die Kalilauge wird mittels Glasrichters vorsichtig unter Vermeidung von Übergießen in die Zellen eingefüllt, bis sie 12 mm über der Oberkante des Plattensatzes steht. Zur Prüfung des Laugestandes führe man das an beiden Enden offene, der Batterie mitgegebene Glasröhrchen vorsichtig in die Zellenöffnung ein, bis es auf dem Plattensatz aufsteht. Man verschließe es oben mit dem Finger und nehme es so heraus. Der Laugestand im Glasröhrchen zeigt alsdann den Laugestand über Oberkante des Plattensatzes in der Zelle. Jede Zelle ist nach Füllung sofort zu verschließen.

2. **Die Füllflüssigkeit (Elektrolyt)** ist besondere Kalilauge von 1,2 spez. Gewicht (etwa 22% KOH). Sie ist von der Fabrik oder deren Vertretung zu beziehen, da im Handel nicht in richtiger Zusammensetzung erhältlich. (Siehe 5.)

3. **Ladung.** Kam die Batterie ungefüllt zum Versand, so hat die erste Ladung 15 Stunden lang mit dem oben angegebenen Ladestrom zu erfolgen. Die Ladung kann 2 Stunden nach vollendeter Füllung der Zellen mit Lauge beginnen. Wenn erforderlich, kann die Ladung unterbrochen werden, eine Entladung sollte aber vor Beendigung der vollen Ladung nicht erfolgen.

Die weiteren normalen Ladungen haben mit dem vorgeschriebenen Ladestrom in der angegebenen Ladezeit zu erfolgen. Bedingen die Verhältnisse andere Ladezeit und anderen Ladestrom, so ist darüber die Fabrik zu befragen.

Beendet ist die Ladung, wenn die Ladespannung nicht mehr steigt und wenn dann noch 20 Minuten lang weitergeladen wurde. Die normale Ladung ersetzt nur die vorausgegangene normale Entladung. Tiefere Entladung schadet nicht, bedingt aber dann eine darauffolgende längere Ladung.

4. **Überladungen.** Neue Batterien müssen nach jeder 12. Entladung 15 Stunden lang mit dem vorgeschriebenen Ladestrom geladen werden, bis 4 solcher Überladungen erfolgt sind. Später ist die Batterie alle 2 Monate einmal in dieser Weise zu überladen.

5. **Nachfüllung der Batterie.** Als Ersatz für verdunstete Lauge wird reines destilliertes Wasser nachgefüllt, während aus den Zellen verschüttete Lauge durch Ersatzlauge zu ergänzen ist, die von der Fabrik bezogen werden muß. Durch Stichproben mit dem Glasröhrchen ist der Laugestand in den Zellen öfter vor Beginn der Ladung zu prüfen.

6. **Messung der Kalilauge.** Die Kalilauge in den Zellen muß von Zeit zu Zeit, aber immer unmittelbar nach einer vollen Aufladung der Batterie, auf deren Dichte (spez. Gewicht) geprüft werden. Die Prüfung erfolgt mit Aräometer und Saugheber aus Glas. Das spez. Gewicht soll 1,2 sein, darf aber nach oben bis 1,23 und nach unten bis 1,16 schwanken, bezogen auf 18° C Laugetemperatur. Ist das spez. Gewicht höher als 1,23, so ist etwas Lauge aus den Zellen abzusaugen und durch destilliertes Wasser zu ersetzen. Ist es unter 1,16, so ist mit Lauge anstatt destilliertem Wasser nachzufüllen, bis durch solche Änderungen das richtige spez. Gewicht von 1,2 wieder erreicht ist.

7. **Neufüllung der Batterie** sollte, je nach Art des Betriebes, alle 12 Monate mit frischer Kalilauge erfolgen. Die Zellen sind zu diesem Zweck tief zu entladen, die alte Lauge ist unter Umschütteln auszugießen, mit reinem destilliertem Wasser ist gut nachzuschwenken und dann mit der Neufüllung zu beginnen. Auf solche Neufüllung muß eine 15 stündige Ladung folgen. Übergießen von Kalilauge oder destilliertem Wasser ist zu vermeiden, es verschlechtert die Isolation der Zellen untereinander und verursacht Selbstentladung.

8. Die Kalilauge darf nur in reinen Eisengefäßen aufbewahrt werden, die nicht gelötet, verzinkt, verzinkt, verkupfert oder irgendwie mit Blei- oder

Messingteilen versehen sind. Das Gefäß ist luftdicht verschlossen zu halten. Luftzutritt verunreinigt und verschlechtert die Kalilauge. Bei Bestellung von Lauge ist die Zellentype und gewünschte Laugenmenge oder Zahl zu füllender Zellen anzugeben.

9. **Besonders zu beachten.** Batteriekästen und Zellen sind immer rein und trocken und alle Zellenverschlüsse verschlossen zu halten. Beim Laden Kastendeckel öffnen, Gas abziehen lassen. Niemals offenes Feuer (Streichholz, Zigarre, Licht usw.) in die Nähe der Batterie bringen. Batterie nicht im gleichen Raum mit Bleibatterie laden, die Schwefelsäuredämpfe der letzteren schaden der Edisonbatterie. Niemals Schwefelsäure in Edisonzellen einfüllen, sie werden dadurch meist unrettbar verdorben.

(1143) **Technische Anwendung der Sammler.** Ortsfeste Sammlerbatterien finden Anwendung in ortsfesten Licht- und Kraftanlagen aller Art, die mit Gleichstrom betrieben werden. Bei Einfügung von Batterien in Beleuchtungs- und Kraftanlagen kann die Maschinenanlage kleiner bemessen werden. Durch Einfügung von Batterien erreicht man Verbilligung der Betriebskosten, Vereinfachung der Bedienung, große Sicherheit durch Schaffung einer Momentreserve. Beim Zusammenarbeiten von Dynamomaschinen und Akkumulatoren ist es notwendig, die Schaltung so zu wählen, daß die Batterie in richtiger Weise zum Betriebe herangezogen wird und nicht durch übermäßige Beanspruchung, falsche Ladeweise usw. Schaden leidet. Die Sammler finden ausgedehnte Anwendung in Telegraphen- und Fernsprechanlagen (1152).

Für die genannten Zwecke sind vorzugsweise Bleisammler in Verwendung, doch hat sich der alkalische Sammler vielfach eingeführt, besonders für Beleuchtung von Eisenbahnwagen. Für die für diesen Zweck in Europa gebräuchliche Lampenspannung von 24 V werden an Stelle von 12 Bleisammlern 18 alkalische Zellen benutzt; ferner für Beleuchtung von Booten und besonders für die unter 2, 3 und 9 genannten Zwecke.

Tragbare Batterien werden benutzt:

1. zur Beleuchtung von Fahrzeugen, insbesondere Eisenbahnwagen (869 ff.);
2. zur Beleuchtung in Handlampen, Glühlampen, Taschenlampen;
3. zur Notbeleuchtung (868);
4. zum Betriebe von Fahrzeugen, die auf Schienen laufen, besonders zum Betriebe von Lokomotiven, Triebwagen für Eisenbahnen, Grubenlokomotiven, fahrbaren Kranen, kleinen Lasttransportwagen (800 u. f.);
5. zum Betriebe von Kraftwagen, sowie Transportkarren (803);
6. zum Betriebe von elektrischen Booten;
7. für Unterseeboote;
8. für Eisenbahn-Stellwerks- und Sicherungsanlagen;
9. zum Betriebe in Schwachstromanlagen, für Telegraphie, für Post- und Eisenbahnzwecke, Telephonie, Funkentelegraphie und
10. für Meßzwecke.

Die Stromversorgung der Telegraphen- und Fernsprechanlagen¹⁾.

(1144) **Grundlage der Stromversorgung.** Die Grundlage für jeden Telegraphen- und Fernsprechtbetrieb ist eine einwandfreie Stromversorgung; die Anforderungen in dieser Hinsicht sind mit der fortschreitenden Entwicklung der Telegraphen- und Fernsprechtechnik immer mehr gewachsen. Während früher in den zunächst noch verhältnismäßig kleinen Anlagen hauptsächlich Primär-

1) Ausführliche Darstellung nach dem Stande von 1910: Die Stromversorgung der Telegraphen- und Fernsprechanlagen von G. Knopf, Braunschweig 1910. Bd. IX der Tel.- u. Fernsprechtechn. in Einzeldarstellungen. — Ferner: G. Harms, Die Stromversorgungsanlagen von Fernmeldeanlagen. Berlin 1927.

elemente als Gleichstromquelle und Kurbel- oder Magnetinduktoren zur Erzeugung des Ruf-Wechselstromes benutzt wurden, hat sich bald mit zunehmendem Bedarf aus technischen und wirtschaftlichen Gründen die Notwendigkeit ergeben, die Energie unmittelbar oder mittelbar aus dem jetzt fast überall vorhandenen Starkstromnetz zu entnehmen. Daneben kommen in Einzelfällen für sehr große Telegraphen- und Fernsprechanlagen eigene Kraftwerke in Frage, um durch Unabhängigkeit vom Netz eine erhöhte Sicherheit für die Stromversorgung zu schaffen oder wirtschaftliche Vorteile, z. B. bei Heizkraftwerken durch Ausnutzung von Abwärme, zu erzielen.

Die allgemeinen Licht- und Kraftnetze liefern heute in der Regel Gleichstrom von 2×220 V oder Drehstrom von 3×125 oder 3×220 V bei 50 Per/s; seltener finden sich Netze mit Gleichstrom von 110, 220 oder 2×110 V oder mit Einphasenwechselstrom von 125 oder 220 V bei 50 Per/s.

Die Versorgung von Telegraphen- und Fernsprechanlagen aus diesen Netzen kann bei Gleichstrom in manchen Fällen einfach in der Weise erfolgen, daß die Netzspannung soweit erforderlich durch besondere Vorrichtungen abgedrosselt und dann die Restspannung ohne weiteres für den Betrieb verwendet wird. Zumeist ist es jedoch notwendig, die aus dem Netz entnommene Energie hinsichtlich der Stromart (Gleich- oder Wechselstrom), der Spannung und Stromstärke oder der Periodenzahl umzuformen; hierzu sind je nach Lage des Falles Transformatoren, rotierende Umformer, Pendelumformer oder Gleichrichter der verschiedensten Ausführungen zu verwenden. Die so umgeformte Energie wird nun, sofern es sich um Wechselstrom handelt, unmittelbar dem Verbrauch zugeführt. Bei Gleichstrom dagegen erfolgt häufig zunächst noch eine Umwandlung in chemische Energie durch Aufspeicherung in Sammlern, die dann ihrerseits erst wieder die Telegraphen- und Fernsprechanlagen versorgen; ob dieser Umweg notwendig oder zweckmäßig ist, muß jeweils in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht geprüft werden.

(1145) Strombedarf in den wichtigsten Zweigen des Telegraphen- und Fernsprechbetriebs.

1. Der Gleichstrombedarf der Telegraphie beträgt für:

Klopfer- und Farbschreiber in Arbeitsstromleitungen	13...16 mA
Hughes einfach	20...25 mA
Hughes-Doppelstrom, Siemens, Baudot, Wheatstone	± 30 mA
Ferndrucker (einschließlich Antriebsmotor) . . .	etwa 250 mA.

Hieraus und aus dem Gesamtwiderstand der Leitung einschließlich der Apparate errechnet sich ohne weiteres die erforderliche Spannung, die in Betriebsanlagen mit vielen Leitungen auf eine durch 20 teilbare Zahl, nötigenfalls unter Einschaltung eines entsprechenden Widerstandes, aufgerundet wird.

Spannungen über 240 V sind nicht zu verwenden; die Leitungen sind vielmehr durch Einrichtung von Übertragungen zu unterteilen.

In Guttaperchakabeln sind Telegraphier-Spannungen über 60 V, in Fernkabeln Telegraphier-Spannungen über 24 V unzulässig.

Für Klopfer und Farbschreiber in Ruhestromleitungen sind bei hintereinandergeschalteten Elektromagnetrollen für je 5 km Leitung 1 V und für jeden Satz Apparate 9 V, bei nebeneinandergeschalteten Elektromagnetrollen für je 8 km Leitung 3 V und für jeden Satz Apparate 6 V zu rechnen.

Die Elektromagnetrollen werden nur dann nebeneinandergeschaltet, wenn die Stromversorgung aus nassen Elementen erfolgt und wenn außerdem die Anstalten durchschnittlich weniger als 25 km voneinander entfernt sind.

Als täglicher Strombedarf¹⁾ für eine Leitung können folgende Zahlen angesetzt werden:

¹⁾ Die Zahlen sind nach oben aufgerundet.

Apparat	Betriebsweise ¹⁾	Abkürzung	Einfach-	Doppelstrom (dp)	
			strom Ah	Trenn- strom + Ah	Zeichen- strom - Ah
Arbeitsstrom					
Klopfer oder Farb- schreiber	einfach Gegensprechen Übertragung ¹⁾ einfach Übertragung ¹⁾ Gegen- sprechen	Kl	0,06		
		Kl Dx	0,15		
		Kl Ue	0,22		
		Kl Ue Dx	0,48		
Hughes	einfach	Hg	0,05	0,65	0,08
		Hg Dx	0,16	1,20	0,48
		Hg Ue	0,19	1,73	0,20
		Hg Ue Dx	0,44	2,88	1,20
Siemens Schnell- telegraph	einfach	Si	—	0,9	0,3
		Si Dx	—	1,2	0,48
		Si Ue	—	1,88	0,63
		Si Ue Dx	—	2,88	1,20
Wheatstone	einfach	Wheatstone	—	0,36	0,36
		„ Dx	—	0,96	0,72
		„ Ue	—	0,96	0,96
		„ Ue Dx	—	2,16	1,68
Baudot	vierfach	—	—	0,36	0,12
Ruhestrom (R)					
Klopfer oder Farb- schreiber	Elektromagnetrollen „ in Reihe „ neben- einander	Kl Mh	0,41		
		Kl Mn	0,72		
Klopfer oder Farb- schreiber	Anrufschrank T 13	—	0,1} aus Ortsstromkreis 24 V		
	„ T 22	—	0,3} für jeden Leitungszweig		

Bei der Wechselstromtelegraphie (1532 ff.) entsteht für einen Zehnersatz (10 Frequenzen auf einem Aderpaar) im Endamt etwa folgender Gleichstrombedarf:

Heizstrom	20 A bei 12 V
Anodenstrom	0,5 A bei 220 V
Raumladestrom	1 A bei 80 V
Steuergitterspannung ²⁾	etwa 16 V
Telegraphierstrom (zum Verkehr mit dem Telegraphenamt)	± 20 V

Bei den Verstärkerämtern auf der Strecke haben die Verstärkersätze der Wechselstromtelegraphie den gleichen Strombedarf wie die Verstärkersätze für Fernsprechzwecke (s. unter 3.).

¹⁾ Bei Übertragungen ist der Strombedarf für beide Seiten zusammen angegeben.

²⁾ Es sind 10 Akkometzellen, von 2 zu 2 V abgreifbar, aufzustellen, die praktisch ohne Stromentnahme nur zur Spannungshaltung dienen.

2. Fernsprechbetrieb. Der Gleichstrombedarf beträgt beim ZB-Betrieb für eine

Ortsverbindung von 3 Minuten Dauer bei Handämtern rund 0,025 Ah bei 24 V
 „ „ 3 „ „ „ SA-Ämtern „ 0,035 „ „ 60 „
 Fernverbindung von 3 Minuten beim Fernschrank ZB 10¹⁾ etwa 0,03 „ „ 24 „

Bei kleineren SA-Ämtern mit schwachem Fernverkehr können für einen Hauptanschluß täglich überschläglich 0,25 Ah, bei SA-Ämtern mit stärkerem Verkehr 0,3 bis 0,35 Ah als Stromverbrauch aus 60 V einschließlich des Verbrauches für Fernverkehr und Batterierufmaschine bzw. Polwechsler angesetzt werden. Die Höchststromstärke beträgt bei Handämtern etwa $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{8}$, bei SA-Ämtern $\frac{1}{8}$ des gesamten Tagesstromverbrauches.

In Nebenstellenanlagen²⁾ benötigt ein großer Rückstellklappenschrank mit 60 bis 100 Anschlüssen bei mittlerem Verkehr etwa 2 Ah täglich bei 12 V, ein Glühlampenschrank ZB bei mittlerem Verkehr 6 Ah täglich aus 24 V, bei starkem Verkehr 10 Ah täglich aus 24 V, ein Glühlampenschrank ZB 20 mit opt. Besetztanzeige bis zu 20 Ah aus 24 V. Reihenanlagen ZB sind an 12 V anzuschließen, Rückstellklappenschränke OB an 8 V.

Bei Versorgung der Amtseinrichtung eines OB-Amtes aus Sammlern sind als Tagesbedarf bei 12 V anzusetzen:

für jedes Amtsmikrophon täglich	0,3 Ah
1 Polwechsler alter Art	2 Ah
1 „ neuer Art	5 Ah
Schlußzeichenstromverbrauch auch bei verhältnismäßig sehr großen OB-Ämtern etwa höchstens	1 Ah

Für den Schnellverkehr ist nach vorläufigen Zahlenangaben der Firma Zwietusch & Co. mit folgendem Strombedarf für 1000 Gespräche zu rechnen³⁾:

	aus 60 V	aus 30 bzw. 24 V
am KA-Platz vom Handamt nach dem Handamt	2,1 Ah	10,3 Ah
am KB-Platz vom Handamt nach dem Handamt	3,5 Ah	3,9 Ah
am KA-Platz vom SA-Amt nach dem Handamt	0,2 Ah	2,2 Ah
am KA-Platz vom Handamt nach dem SA-Amt	4,6 Ah	10,3 Ah
am KA-Platz vom SA-Amt nach dem SA-Amt	2,7 Ah	8,2 Ah
am Seitenamthilfsplatz bei OB-Ämtern	—	8,5 Ah
am Seitenamts-B-Platz bei OB-Ämtern mit Stöpselsitz- umschalter	—	6,5 Ah
am Seitenamts-B-Platz bei OB-Ämtern mit Benutzung der c-Ader	—	24 Ah
Relaisunterbrecher (für 10-sec-Ruf bei Seitenämtern ohne Signalmaschine) stündlich	—	0,15 Ah.

Rufstrom von 25 Per/s benötigen die Hand- und Verstärkerämter⁴⁾ (s. unter 3) mit einer Spannung von etwa 54 V, die SA-Ämter von etwa 65 V; die Höhe der Spannung hängt von der Belastung ab und schwankt bei Rufmaschinen für Handämter zwischen 52 und 65 V, für SA-Ämter zwischen 60 und 85 V. Bei Polwechslern ist die Spannung gewöhnlich niedriger.

Die Rufstromerzeugung belastet die Batterien insofern als an Stelle der Netzzufmaschinen im Fall einer Netzstörung und in der betriebsschwachen

¹⁾ Der Fernschrank 25, der künftig ausschließlich verwendet wird, ist einheitlich auf 60 V abgestellt.

²⁾ Näheres (1949) ... (1959), ferner: Post u. Telegraphie in Wissenschaft u. Praxis, Bd. 61: Fernsprech-Nebenstellenanlagen. — Erg.-Heft 19 von 1925 (Apparatbeschreibung der DRP.)

³⁾ Neuerdings werden auch die Schnellverkehrsschaltungen auf 60 V abgestellt.

⁴⁾ Daneben wird für den Anruf in Vierdrahtleitungen Wechselstrom von 500 Per/s verwendet, der durch Röhrensummer oder besondere Maschine erzeugt wird.

Zeit an die Batterien angeschlossene Batterierufmaschinen und bei kleinen Anlagen Polwechsler verwendet werden.

Der Strombedarf der Batterierufumformer beträgt überschläglich gerechnet bei Maschinen für 60 VA bei 24 V 5 A, bei 60 V 2 A; für 120 VA bei 24 V 10 A, bei 60 V 4 A; der Strombedarf der Polwechsler alter Art bei 12 V 2 Ah täglich, derjenigen neuer Art bei 12 V 5 Ah täglich.

Maschinen zu 60 VA genügen für SA-Ämter bis zu 10000 Teilnehmern. Für solche Ämter mit sehr starkem Verkehr oder bei einer Mitbenutzung der Rufstromquelle für andere Zwecke werden Maschinen zu 120 VA verwendet. Bei SA-Ämtern bis zu 3000 Teilnehmern genügen Maschinen zu 30 VA¹⁾.

Mit den Rufmaschinen gekuppelt sind die Signalmaschinen, die die erforderlichen optischen und akustischen Signale im Takt des Morse e, a usw. erzeugen, insbesondere den hohen Summerton (400 Per/s) und den tiefen Summer (133 Per/s); hierzu werden Unterbrecherscheiben (Kommutatoren) oder neuerdings Induktivsummer verwendet.

Besitzt ein kleines Amt nur Polwechsler und keine Rufmaschinen, so werden die im SA-Betriebe erforderlichen Zeichen durch Relaissätze erzeugt¹⁾.

3. Verstärkerämter²⁾ benötigen Gleichstrom von 12 V als Heizstrom, und zwar 1,1 A für die beiden hintereinander geschalteten Röhren des Verstärkersatzes in jeder Leitung, sowie von 24 V für den Antrieb der Ruf- und Anodenumformer usw.; ferner Gleichstrom von 220 V als Anodenstrom, und zwar 4 mA für jede Röhre, also 8 mA für jeden Verstärkersatz. Außerdem ist Rufstrom erforderlich (s. unter 2).

4. Funkanlagen. Hinsichtlich der Sendeanlagen wird auf die im zweiten Abschnitt (S. 309 ff.) behandelten Vorrichtungen zur Erzeugung elektrischer Wellen verwiesen³⁾.

Soweit es sich bei den Empfangsanlagen um Röhrenempfänger handelt oder soweit bei Kristalldetektoren Verstärker verwendet werden, sind erforderlich:

Heizstrom bei Röhren mit Wolframheizfäden etwa 0,5 A bei 3 V;

„ „ Hochemissionsröhren weniger als 0,25 A;

Anodenstrom 0,001 A bei 45 bis 90 V je nach Art und Schaltung der Röhre⁴⁾.

Der Heizstrom wird meist aus kleineren Sammlern oder bei Röhren mit geringem Strombedarf aus Trockenelementen geliefert. Die Anodenspannung wird in der Regel besonders für diesen Zweck zusammengestellten Batterien aus kleinen Trockenelementen entnommen. Ferner werden besondere Netzanschlußgeräte zum Anschluß an Gleichstromnetze oder an Wechselstromnetze verwendet⁴⁾.

(1146) **Drosselwiderstände.** Wird eine andere als die vorhandene Gleichstromspannung benötigt, so ist der einfachste Weg die Abdrosselung eines Teiles der Spannung in Widerständen, z. B. bei der Ladung von Sammlern aus dem Gleichstromnetz. Der Wert des Drosselwiderstandes $R = e/i$ berechnet sich aus der Ladestromstärke und dem zu vernichtenden Teil der Netzspannung, um den diese die Gegenspannung der Sammler — für eine Zelle bis zu 2,75 V gegen Ende der Ladung — übersteigt.

Auf die gleiche Weise wird bei unmittelbarer Verwendung der Gleichstromnetzspannung für Betriebszwecke in der Telegraphie die Abdrosselung mit Ocelitstäben, das sind einfache Widerstände in Stabform aus einer gepreßten Mischung von Kohlenstoff und Silikaten, ausgeführt. Die Ocelitstäbe werden mit den Werten

¹⁾ Kleine Ruf- und Signalmaschinen mit 15 VA für Ämter bis zu 1000 Teilnehmern sind in Vorbereitung.

²⁾ Erg.-Heft 18 von 1925 (Apparatbeschreibung der DRP).

³⁾ Ferner u. a.: M ü n c h: Die Einrichtung von Reichsfunkanlagen. Bd. 65 der Sammlung: Post und Telegraphie in Wissenschaft und Praxis.

⁴⁾ Zu vgl. u. a.: M ü n c h: a. a. O. — L u b b e n: Röhren-Empfangsschaltungen, S. 44, 45, 174. 1925. — v. B a r d e l e b e n: Einführung in die . . . Funktechnik, S. 87 ff. 1924.

1100, 2200, 7700 und 15000 Ω in zwei Formen geliefert, die bis zu 0,1 bzw. bis zu 0,5 A belastbar sind. Die letztere Form kann als Ersatz für die teuren Drahtwiderstände auch zur Ladung von kleinen Sammlern benutzt werden. Da der Spannungsabfall von der Belastung abhängt, muß für jede Telegraphenleitung ein besonderer Ocelitstab eingeschaltet werden.

(1147) Transformatoren. In den Umformungsanlagen der Telegraphen- und Fernsprechtechnik werden Transformatoren u. a. in folgenden Fällen verwendet:

1. Größere Stromversorgungsanlagen sind vielfach an Hochspannungsdrehstromnetze, meist 6000 V, mit eigenem Transformator angeschlossen. In dem abgeschlossenen Hochspannungsraum werden die einzelnen Teile der Hochspannungsanlage voneinander durch Gitter getrennt in besonderen Zellen aufgebaut. Gute Entlüftung ist wegen der starken Wärmeentwicklung notwendig.

2. Bei Niederspannungsanschlüssen finden sich ebenfalls in manchen Netzen bei größeren Verbrauchern eigene Transformatoren.

3. Bei Umformern, bei denen aufgenommene und abgegebene Spannung in einem festen Verhältnis zueinander stehen, wie bei Einankerumformern, Pol-

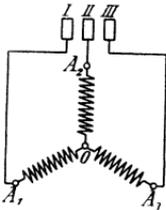


Abb. 656. Sternschaltung.

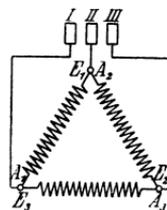


Abb. 657. Dreieckschaltung.

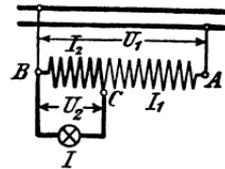


Abb. 658. Einphasiger Transformator, Sparschaltung.

wechslern usw., sind Transformatoren erforderlich, um auf die benötigte sekundäre Spannung zu kommen.

Bei Drehstromtransformatoren (zu 1 und 2) ist Stern- und Dreieckschaltung (Abb. 656 und 657) zu unterscheiden; die Schaltungen primär und sekundär können verschieden sein.

Leistung bei Stern- und Dreieckschaltung $= \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$, wenn $\cos \varphi$ (Phasenverschiebung) in allen drei Phasen gleich ist.

Bei Spartransformatoren (Abb. 658) wird durch Abzweigungen an verschiedenen Stellen einer Wicklung ebenfalls eine Umformung der Spannung (U) im Verhältnis der Windungen (N) erreicht, wobei ein Teil der Leistung unmittelbar dem Netz entnommen wird. $U_1 : U_2 := N_1 : N_2$.

(1148) Die Drehumformer ermöglichen praktisch jede Umwandlung der elektrischen Energie.

1. Die Motorgeneratoren bestehen aus einem oder mehreren direkt gekuppelten Motoren und Generatoren. Je nach der Art des Netzes sind zu verwenden Gleichstrom-, Drehstrom- oder Einphasenwechselstrommotoren.

Bei den Gleichstrommaschinen sind zu unterscheiden:

Hauptstrommaschinen: Anker – Magnetwicklung – äußerer Kreis – Anker (Abb. 659).

Nebenschlußmaschinen: Anker – $\frac{\text{äußerer Kreis}}{\text{Magnetwicklung}}$ – Anker (Abb. 660).

Doppelschlußmaschinen: Anker – $\frac{\text{Hauptschluß – äuß. Kr.}}{\text{Nebenschluß}}$ – Anker (Abb. 661)

oder Anker – Hauptschluß – $\frac{\text{äußerer Kreis}}{\text{Nebenschluß}}$ – Anker (Abb. 662).

Beim Hauptstrommotor ist die Umdrehungszahl weitgehend von dem verlangten Drehmoment abhängig; unbelastete Hauptstrommotoren gehen durch, schwer belastete Hauptstrommotoren laufen langsam mit sehr starkem Anzugsmoment an.

Nebenschlußmotoren haben bei wechselnder Belastung annähernd gleichbleibende Umlaufzahl. Eine Schwächung des Feldes bewirkt eine Steigerung, eine Verstärkung des Feldes eine Verringerung der Umlaufzahl, so daß man diese mit Hilfe eines Regulierwiderstandes im Erregerkreis beim Nebenschlußmotor weitgehend ändern kann. Beim Einschalten eines Nebenschlußmotors ist zunächst dem Anker ein Anlaßwiderstand vorzuschalten und dann allmählich auszuschalten, wenn mit zunehmender Umlaufzahl die Gegen-EMK im Motor gestiegen ist.

Beim Doppelschlußmotor könnte man bei richtigem Verhältnis der Neben- und Hauptschlußwicklung die Umlaufzahl für jede Belastung fast konstant erhalten, doch wird diese Ausführung wenig verwendet.

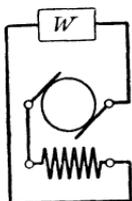


Abb. 659. Hauptstrommaschine.



Abb. 660. Nebenschlußmaschine.

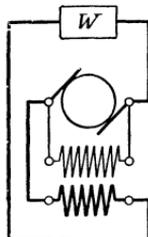


Abb. 661.

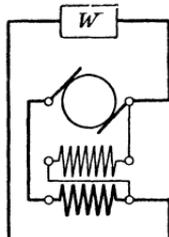


Abb. 662. Doppelschlußmaschine.

Die Gleichstromgeneratoren können ebenso wie die Motoren als Haupt-, Neben- oder Doppelschlußmaschinen ausgeführt werden, und zwar mit Eigenerrregung nach dem Dynamoprinzip oder mit Fremderregung aus dem Netz oder einer Batterie. Um die neutrale Zone und damit die Bürstenstellung bei wechselnder Belastung unverändert beizubehalten, wird vielfach die Verschiebung des Querfeldes durch eine Kompensations(Wendepol-)wicklung ausgeglichen.

Zur Ladung von Sammlern werden Nebenschlußdynamomaschinen verwendet (1132); bei diesen wird auch bei einem Überwiegen des Sammlerstromes, etwa beim Versagen des Netzes und des Minimalautomaten, eine Umpolung vermieden, da in beiden Fällen der Strom die Erregerwicklung im gleichen Sinne durchfließt. Ferner ist es bei Nebenschlußmaschinen leicht möglich, durch Zu- oder Abschalten von Widerstand vor der Erregerwicklung die Spannung entsprechend dem Ladungszustand der Sammler zu vermindern oder zu steigern.

Die in den Umformungsanlagen der Telegraphen- und Fernsprechtechnik verwendeten Dynamomaschinen sind in der Mehrzahl für

12 bis 17 V (Ladung von 6 Zellen für Heizstrom im Verstärkerbetrieb)

24 „ 35 V („ „ 12 „ für Handämter)

60 „ 89 V („ „ 30 bzw. 31 Zellen im SA-Betrieb)

gebaut.

Erhöhte Anforderungen sind an die Dynamomaschinen für den Pufferbetrieb zu stellen, worunter ein Parallelbetrieb von Maschine und Batterie auf die Fernsprech- usw. Anlage unter möglichst geringer Beanspruchung der Batterie und Entnahme eines möglichst hohen Teiles des Bedarfes unmittelbar aus der Maschine zu verstehen ist (1154). Um die bei Gleichstrommaschinen fast unvermeidlichen kleinen Oberschwingungen, die im Fernhörer wahrzunehmen wären, zu vermeiden, erhalten die besonders für diese Betriebsweise gebauten

Maschinen (von Siemens & Halske, Bergmann, AEG) einen breiteren Luftspalt, fein unterteilte Kollektoren und schräge Ankerknoten.

Im übrigen können auch die Oberschwingungen gewöhnlicher Dynamomaschinen nach einer von der C. Lorenz A.G. (Oberingenieur Schmidt) angegebenen Schaltung mit Hilfe einer als Autotransformator wirkenden festen und einer beweglichen Spule sowie einer Gegenbatterie von geringer Kapazität vom Amte ferngehalten werden, so daß im Pufferbetrieb oder sogar mit reinem Maschinenstrom gearbeitet werden kann. Mit Rücksicht auf den sehr hohen Preis der festen Spule ist die Anordnung jedoch nur ausnahmsweise verwendbar¹⁾.

In Wechselstromnetzen können verwendet werden:

A. Synchronmotoren, bei denen dem Ständer in der Regel Wechselstrom, dem Läufer dagegen Gleichstrom zugeführt wird. Das Drehfeld der äußeren Wicklung nimmt das Polrad (den gleichstromdurchflossenen Läufer) mit, so daß es synchron mit dem Drehfeld umläuft. Beim Anlassen muß der Synchronmotor zunächst durch Hilfseinrichtungen auf synchrone Drehzahl gebracht werden. Bei Überlastung fällt der Synchronmotor aus dem Tritt.

B. Asynchronmotoren, bei denen nur dem Ständer Drehstrom zugeführt wird, während der Läufer z. B. bei einer Ausführungsart aus kurzgeschlossenen Kupferstäben besteht. Das rotierende Drehfeld induziert den Läufer und setzt ihn in Drehung, wobei er jedoch hinter der Umlaufgeschwindigkeit des Drehfeldes zurückbleibt (Schlüpfung). Je nach der Ausführung des Läufers unterscheidet man Motoren mit Kurzschlußanker, mit Phasenwicklung und mit Schleifringanker, bei denen die Phasenwicklungen an einem Ende verkettet und die freien Enden über Schleifringe und Bürsten zu einem Anlaß- und Regulierwiderstand geführt sind. Neuere größere Motoren besitzen eine Vorrichtung zum Kurzschließen der Schleifringe und zum Abheben der Bürsten nach dem Anlaufen. Ein Anlassen durch Veränderung der Primärseite kann in der Weise erfolgen, daß die Ständerwicklungen zunächst in Stern, dann in Dreieck geschaltet werden.

Während Drehstrom-Asynchronmotoren ohne weiteres anlaufen, muß zum Anlassen eines Einphasen-Asynchronmotors eine Hilfswicklung des Ständers mit Phasenverschiebung gegenüber der Hauptwicklung benutzt werden.

C. Kommutator- oder Kollektormotoren, bei denen in der Regel dem äußeren und dem inneren Teil, der mit einem Kommutator ausgerüstet ist, Wechselstrom zugeführt wird.

Am meisten finden in den Umformungsanlagen der Telegraphen- und Fernsprechanlagen die Asynchronmotoren Verwendung. Die Drehzahl n (in der Minute) eines solchen Motors ist von der Frequenz f des Netzstromes und der Zahl der Polpaare (p) der Drehfeldwicklung abhängig und würde bei Synchronismus $n = \frac{60 \cdot f}{p}$

betragen; sie ist infolge der Schlüpfung etwas geringer. Da die Wechselstrom-Licht- und Kraftnetze in der Regel 50 Per/s haben, kommen in erster Linie die Drehzahlen von 750, 1000, 1500, 3000, vermindert um die Schlüpfung, in Frage. Mit Rücksicht auf den Preis einerseits und die Betriebssicherheit andererseits werden in der Regel Maschinen mit etwa 1500 Umdrehungen — unter Berücksichtigung der Schlüpfung genauer etwa 1450 Umdrehungen — gewählt.

Da die Gleichstromnetze vielfach in absehbarer Zeit auf Drehstrom umgestellt werden, empfiehlt es sich, auch Gleichstrommotorgeneratoren mit einer Umdrehungszahl von etwa 1450 zu wählen, um bei einer Umstellung des Netzes auf Drehstrom wenigstens den Generator weiter verwenden zu können. Aus dem gleichen Grunde sind auch in Gleichstromnetzen Dynamomaschinen mit Selbsterregung den Maschinen mit Fremderregung (aus dem Netz) vorzuziehen.

Bei den Motorgeneratoren ist der Wirkungsgrad des Motors und des Generators zu berücksichtigen; es ergibt sich für etwa $\frac{3}{4}$ bis Vollast bei mittelgroßen

¹⁾ Näheres: ETZ 1924, S. 708; Tel.- u. Fernspr.-Techn. 1924, S. 78.

Aggregaten ein Gesamtwirkungsgrad von 56 bis 66 vH., der bei geringerer Belastung rasch abnimmt.

2. Einankerumformer. Während die Motorgeneratoren alle vorkommenden Umformungen für Gleich- und Wechselstrom ermöglichen, ist das Anwendungsgebiet der Einankerumformer beschränkter. Bei diesen findet die Umformung des Stromes in einem gemeinsamen Anker, und zwar mit einer einzigen oder mit getrennten Wicklungen statt. Mit dem Einankerumformer kann Wechselstrom in Gleichstrom oder Gleichstrom in Wechselstrom verwandelt werden. Auf der einen Seite des Ankers befindet sich der Kommutator für den Gleichstrom, auf der anderen Seite die Schleifringe für den Wechselstrom. Aufgenommene und abgegebene Spannung stehen beim Einankerumformer in einem festen Zahlenverhältnis (Spannung Gleichstrom : Einphasenwechselstrom : Drehstrom = 1 : 0,707 : 0,612), so daß zumeist auf der Wechselstromseite noch die Einschaltung eines Transformators notwendig wird, um eine bestimmte Gleichstromspannung zu erhalten. Bei der Verwendung des Einanker-Umformers als Drehstrom-Gleichstrom Umformer sind Vorteile geringes Gewicht, hoher Wirkungsgrad, günstiger Leistungsfaktor, Nachteile dagegen die schwierige Spannungsregulierung und die starken Oberschwingungen des gewonnenen Gleichstromes. Da infolge-

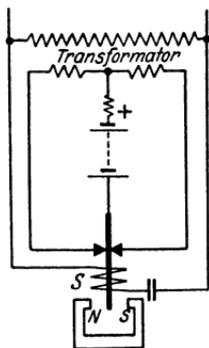


Abb. 663. Pendelgleichrichter.

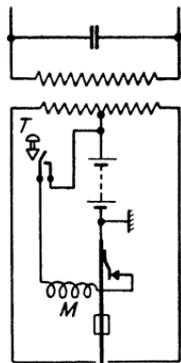


Abb. 664. Polwechsler.

dessen die Einankerumformer zum Pufferbetrieb ungeeignet sind, werden sie in den Fernsprechanlagen nur zur Ladung kleiner Batterien und ferner als Gleichstrom-Wechselstrom-Umformer in den an die 24- oder 60-V-Batterie angeschlossenen Batterieruf- und Signalmaschinen älterer Ausführung verwendet.

(1149) **Pendelumformer.** Der Pendelgleichrichter (Abb. 663) (EAG Hydraulwerk in Charlottenburg) dient zur Aufladung von Sammlern aus Wechselstromnetzen mit einem Ladestrom bis etwa 150 W. Der Wechselstrom wird in unterbrochenen Gleichstrom verwandelt, indem die Pendelkontakte unter dem Einfluß der mit Wechselstrom erregten Spule (S) im Felde eines permanenten Magnets *M* in Übereinstimmung mit der Umkehrung der Stromrichtung umgelegt werden. Der Transformator des Pendelgleichrichters wird nach der zu ladenden Zellenzahl bestimmt, die mithin ein für allemal festzulegen ist. Als Kontaktmaterial wird Wolfram mit Rücksicht auf seinen hohen Schmelzpunkt benutzt; trotzdem sind höhere Beanspruchungen wie angegeben, also bei 12 Zellen etwa 5 A, nicht zulässig.

Der Polwechsler (Abb. 664) ist eine Umkehrung des Pendelgleichrichters, indem nämlich im Polwechsler Gleichstrom aus Sammlern, Primärelementen oder, nach teilweiser Abdröselung der zu hohen Spannung, aus dem Gleichstromnetz in Rufstrom mit etwa 25 Per/s umgewandelt wird. Die Pendelfeder arbeitet

als Selbstunterbrecher, so daß primär unterbrochener Gleichstrom und sekundär Wechselstrom gewonnen wird. Das Windungszahlenverhältnis und die Bauart der Transformatoren richtet sich nach der Primärspannung und dem Energiebedarf. Der Polwechsler neuer Form (Abb. 664) läuft, wenn die Taste *T* gedrückt wird, von selbst an und benötigt nur eine Batterie, während der ältere Polwechsler dauernd laufen mußte und eine Orts- und eine Linienbatterie erforderte.

(1150) Die Quecksilberdampfgleichrichter (Abb. 665, 666) (Cooper Hewitt) bestehen aus einem hoch evakuierten Kolben, bei kleineren Leistungen aus Glas,

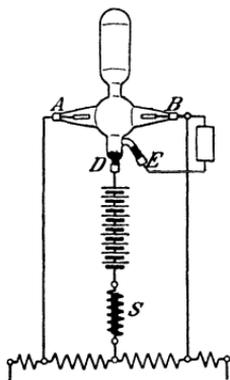


Abb. 665. Quecksilberdampfgleichrichter (für Einphasenwechselstrom).

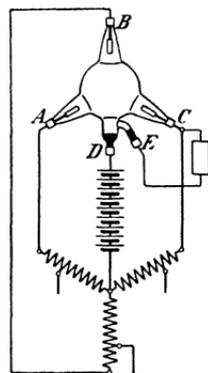


Abb. 666. Quecksilberdampfgleichrichter (für Drehstrom).

bei größeren aus Stahlblech, in dem eine Quecksilberkathode (*D*) und mehrere Graphit- oder Eisenanoden *A*, *B*, *C* angebracht sind. Beim Kippen des Kolbens bildet sich zwischen der Hilfsanode *E* und der Kathode *D* ein Lichtbogen; die Kathode wird hierdurch bis zur Ionenausstrahlung erwärmt, so daß der Strom von den Eisenanoden zur Quecksilberkathode Durchgang findet. Die Eisenelektroden können nicht Kathode werden, da sie nicht genügend erwärmt werden. Infolgedessen besitzt der Kolben Gleichrichterwirkung. Bei Einphasenstrom (Abb. 665) ist eine Drossel (*S*) im Kathodenweg erforderlich, damit eine Überlappung der Phasen erreicht und ein Erkalten der Kathode vermieden wird.

Bei sehr schwachen Belastungen kann der Lichtbogen durch eine Hilfs-erregung aufrecht erhalten werden.

Der Gleichrichter liefert einen Gleichstrom mit sehr starken Oberschwingungen, der ohne weiteres nur zur Ladung von Sammlern geeignet ist, während er zum Pufferbetrieb erst durch besondere Schaltung verwendbar gemacht wird; vgl. (1154) am Schluß.

Die Argongleichrichter unterscheiden sich von dem Quecksilberdampfgleichrichter durch ihre Füllung mit Argon. Die Zündung erfolgt ohne Kippen mit Hilfe einer sich wieder abschaltenden Hilfsanode (Spannung etwa 500 V).

Der Wirkungsgrad der Quecksilberdampf- und Argongleichrichter ist bei hoher Gegenspannung, z. B. bei Aufladung von Batterien mit zahlreichen Zellen, sehr günstig (80 bis 98 vH.), fällt aber bei niedrigeren Gegenspannungen sehr stark ab, so daß es sich z. B. im allgemeinen nicht empfiehlt, größere 24-V-Batterien mit Gleichrichtern zu laden.

(1151) Edelgasröhren¹⁾, das sind Röhren mit einer Füllung aus verdünntem Edelgas (Helium, Neon, Argon), leiten den elektrischen Strom schon bei 220 und

¹⁾ Arch. Post Telegr. 1922, Nr. 10, S. 317 ff.

weniger Volt, und zwar durch Glimmentladung, wenn ein Teil der Spannung durch einen Widerstand aufgenommen wird. Wird eine Elektrode sehr klein, die andere sehr groß gewählt, so wirken die Röhren als Richtungsrohren, indem sie die eine Halbwelle des Wechselstromes unterdrücken oder zum mindesten beträchtlich schwächen.

Es kommen folgende Arten von Edelgasröhren in Frage:

1. Drosselröhren für 220 V Gleichstrom: Die Restspannung hinter der Röhre beträgt 60 V. Eine Belastung bis 200 mA ist zulässig. Hinter die Röhre ist ein Drosselwiderstand von mindestens 300 Ω zu schalten. Die Drosselröhren finden Verwendung für: Gleichstromwecker, Arbeitsstromtelegraphenleitungen usw.

An jede Röhre können bis zu drei Verbrauchskreise angeschlossen werden.

2. Mikrophonspeiseröhren für 220 V Gleichstrom. Restspannung 30 V hinter einem Drosselsatz. Belastung bis 30 mA. Ähnliche Röhren können für 110 V-Netze hergestellt werden. Die Röhren zu 1. und 2. haben Eisenblechelektroden.

3. Richtungsrohren für 220 V Wechselstrom. Restspannung 60 bis 70 V. Die äußere Elektrode ist ein Zylinder aus Eisenblech. Die innere Elektrode

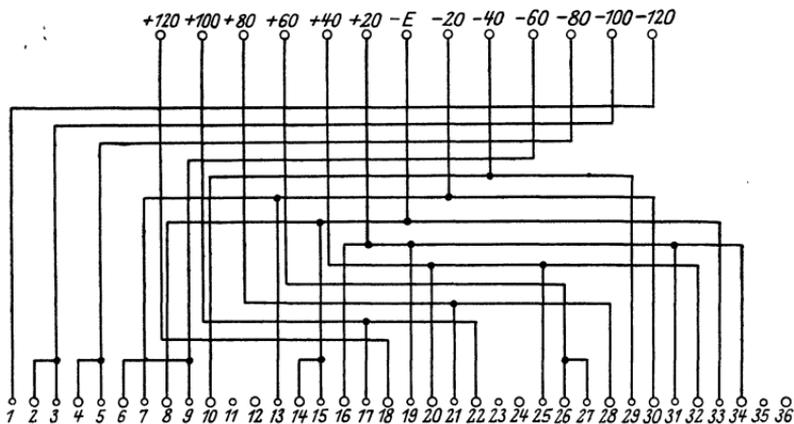


Abb. 667. Schaltung einer Sammlerbatterie (Verteiler).

besteht aus einem dünnen, fast bis an sein Ende mit einem Glasröhrchen überzogenem Stab oder bei neueren Röhren aus einem kleinen Kohlenzylinder. Belastung bis 200 mA. Die Richtungsrohren können zur Aufladung kleiner Sammler verwendet werden.

4. Kaliumröhren für 220 V Gleichstrom oder 110 V Wechselstrom. Restspannung 140 bez. 30 V. Höchstbelastung 200 mA. Eine Elektrode dieser Röhren besteht aus einem Amalgam aus Blei und Kalium. An eine Röhre können bis zu 10 Arbeitsstromleitungen (über Ocelitstäbe) angeschlossen werden, sofern in jeder die Stromstärke 30 mA nicht übersteigt.

Sämtliche vorgenannten Röhren sind hängend zu montieren; dies gilt namentlich für die Kaliumröhre, da das Amalgam beim Stromdurchgang flüssig wird.

Von den vorstehend aufgeführten Röhren werden künftig bis auf weiteres für betriebsmäßige Verwendung im Bereich der DRP nur die Richtungsrohren und die Kaliumröhren geliefert.

Schaltung der Stromversorgungsanlagen.

(1152) Ladeanlage eines Telegraphenamtes (Abb. 667). Die Leitungen von der Betriebsstelle (mit Spannungen von + 120 bis - 120 V in dem in Abb. 667

gezeichneten Beispiel) führen über einen Verteiler hinter der Schalttafel zu Doppelklinkenpaaren, wobei eine günstige, den Sammlertypen angepaßte Belastung der einzelnen Entladekreise angestrebt werden muß. Die zusammengehörigen Doppelklinken liegen auf der Schalttafel untereinander und sind parallel geschaltet, damit beim Auswechseln der Batterie zur Vermeidung von Spannungsunterbrechungen zunächst die neue Batterie der alten parallel geschaltet werden kann, ehe die alte Batterie abgeschaltet wird. Die Batterien liegen in Gruppen zu je 10 Elementen (TII/10 mit 13,5 Ah, für die unteren stärker belasteten Stufen meist größere Typen) an Schnuren und Stöpseln, die dadurch unverwechselbar gemacht sind, daß die positiven Stöpsel und Stöpsellocher einen größeren Durchmesser als die negativen besitzen. Die Klinken 1 bis 12 der Abb. 667 werden z. B. auf der Schalttafel die erste, 13 bis 24 die zweite, 25 bis 36 die dritte Reihe der Klinken bilden; Nr. 10 u. 11, 23 u. 24, 35 u. 36 sind Vorratsklinken.

Nach einem bestimmten, aus der Belastung der einzelnen Stufen sich ergebenden Plan werden die Batterien in der Regel täglich weitergeschaltet, so daß die einzelnen Sammlergruppen nach einer gewissen Zeit gleichmäßig entladen sind. Die Aufladung erfolgt durch Einschaltung der Batterie in die Ladeklinken. Bei der Ladung aus dem Netz werden zweckmäßig mindestens drei Gruppen gleichzeitig geladen, um den Wirkungsgrad nicht allzusehr herabzusetzen. Für die gleichzeitige Ladung weiterer Gruppen sind in der Regel wie in Abb. 668 mit Widerständen ausgerüstete Ladeklinken vorgesehen; diese Widerstände, die beim Einsetzen des Stöpsels in die Klinken ausgeschaltet werden, rufen bei der normalen Ladestromstärke etwa den gleichen Spannungsabfall hervor, wie eine Sammlergruppe. Die Ladung kann je nach Lage des Falles aus dem Gleichstromnetz unter Abdrosselung der Überspannung mit einem Gleichrichter oder mit rotierenden Umformern erfolgen. Die Stöpsel geladener Vorratsbatterien werden in die Rastbuchsen gesteckt.

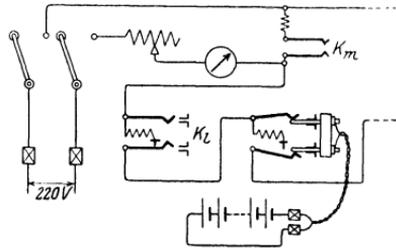


Abb. 668. Ladeklinken für Telegraphensammler.

Die zunächst nicht zu besetzenden Vorratsklinken sind für Erweiterungen infolge Einführung neuer Spannungsstufen oder Steigerung des Bedarfs in vorhandenen Spannungsstufen vorgesehen; die nötigen Umschaltungen werden durch den Verteiler erleichtert. Einige leerbleibende Klinken dienen als Rast für Stöpsel während der Benutzungs- und Ladepausen.

An sonstigem Zubehör werden für eine solche Ladeanlage noch Meßinstrumente, Meßklinken und ein Minimalautomat zur Netzabschaltung benötigt.

An Stelle der Batterien werden bei einigen sehr großen Telegraphenämtern Telegraphiermaschinen verwendet, die aus einem Motor und in der Regel vier auf derselben Achse befestigten Generatoren bestehen; jeder Generator hat Doppelkollektoren und gibt positive und die gleich hohe negative Spannung ab.

(1153) Ladeanlagen für Fernsprechämter. A. Ladung aus dem Netz (Abb. 669). In Gleichstromnetzen ist es bei kleineren Anlagen zur Herabsetzung der Anlagekosten wirtschaftlich, die Sammler unmittelbar aus dem Netz zu laden, wenn hierbei ein Wirkungsgrad von mindestens 40 bis 50 vH erreicht werden kann. Um die Energieverluste, die durch die Abdrosselung in den Vorschaltewiderständen entstehen, herabzusetzen, sucht man die Gegenspannung der Batterien möglichst zu erhöhen. Während sonst in derartigen Anlagen eine Batterie für den Betrieb und eine zweite für die Ladung und als Vorrat vorgesehen wird, werden bei der Netzladung vielfach vier Batterien verwendet, von

denen je zwei zum Betriebe nebeneinander und zur Ladung hintereinander geschaltet werden. Eine Normschaltung hierfür zeigt Abb. 669; nach dieser Schal-

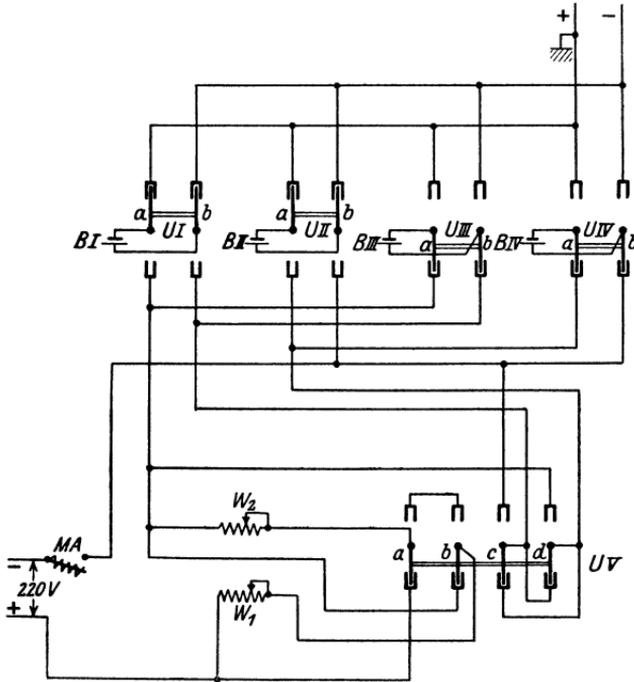


Abb. 669. Ladung aus dem Netz.

tung ist es möglich, mit nur zwei regulierbaren Ladewiderständen die Batterien zusammen und außerdem jede Batterie für sich mit voller und halber Ladestromstärke zu laden.

Stromlauf (Abb. 669):

a) Ladung der Batterien *BI* und *BII*; Batterien *BIII* und *BIV* auf Betrieb. Schalter *UI*, *UII*, *UV* sind nach unten, *UIII*, *UIV* nach oben zu legen:

Ladung: +, $\frac{UVa, w_2, UIa, BI, UIb, UVc, UIIIa, BII, UIIb, MA}{w_1, UVb, UVd}$ —

Betrieb: + — $\frac{UIIIa, BIII, UIIIb}{UIVa, BIV, UIVb}$ —

b) Ladung der Batterien *BIII* und *BIV*; Batterien *BI* und *BII* auf Betrieb: Schalter *UIII*, *UIV*, *UV* nach unten, *UI*, *UII* nach oben.

c) Nachladung der Batterien *BI* und *BII*; *BIII* und *BIV* auf Betrieb: Schalter *UI* und *UII* unten, *UIII*, *UIV*, *UV* oben:

Ladung: +, $w_1, UVb, UVa, w_2, \frac{UIa, BI, UIb, UVc, UIIIa, BII, UIIb, MA}{UVd, UIIIa, BII, UIIb}$ —

Betrieb wie a).

Soll nur Batterie *BI* nachgeladen werden, so ist *UII* in mittlere Lage (senkrecht zur Schalttafel) zu stellen, d. i. zu öffnen, so daß *BII* abgeschaltet ist (s. vorstehend unter dem Bruchstrich). Soll nur *BII* nachgeladen werden, so ist *UI* senkrecht zu stellen.

d) Nachladung der Batterien *BIII* und *BIV*. *BI* und *BII* auf Betrieb. Schalter *UIII* und *UIV* unten, *UI*, *UII*, *UV* oben.

Betrieb wie b). Wie unter c) kann man nur *BIII* oder nur *BIV* nachladen.

Ladung	Nachladung	Betrieb	<i>UI</i>	<i>UII</i>	<i>UIII</i>	<i>UIV</i>	<i>UV</i>
<i>BIBII</i>	—	<i>BIII BIV</i>	unten	unten	oben	oben	unten
<i>BIII BIV</i>	—	<i>BIBII</i>	oben	oben	unten	unten	„
—	<i>BIBII</i>	<i>BIII BIV</i>	unten	unten	oben	oben	oben
—	<i>BI</i>	<i>BIII BIV</i>	„	senkrecht	„	„	„
—	<i>BIII BIV</i>	<i>BIBII</i>	oben	oben	unten	unten	„
—	<i>BIII</i>	<i>BIBII</i>	„	„	„	senkr.	„

Die Schaltung (Abb. 669) kann häufig in Gleichstromnetzen bei kleineren SA-Ämtern, die dann Batterien von 4×30 bzw. 31 Zellen erhalten, benutzt werden; da bei der Ladung Gegenspannungen von 120—165 V auftreten, ist bei einer Netzspannung von 220 V der Wirkungsgrad recht günstig.

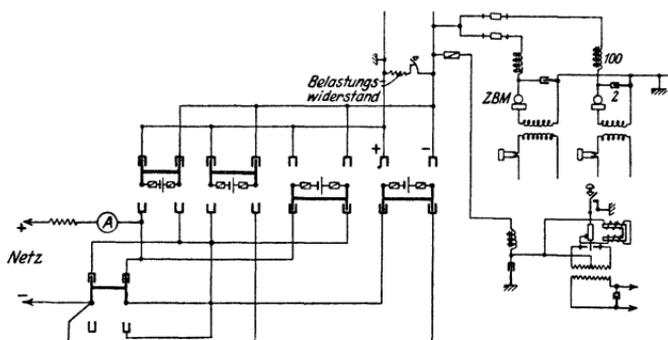


Abb. 670. Ladung aus dem Netz; Schaltung der Amtsmikrophone usw. bei OB-Ämtern.

Eine einfachere Schaltung mit einem Vorschaltwiderstand für die Ladung kleiner Sammler, wie sie z. B. bei OB-Ämtern zur Speisung der Amtsmikrophone und des Polwechslers (Betriebsspannung meist 12 V) verwendet werden, zeigt Abb. 670.

Hier sind bei der Hauptladung (Netzschalter nach unten) zwei Batterien (Batterieschalter nach unten) hintereinander geschaltet (häufig werden statt der Hebelschalter einfachere Schalter verwendet). Da die Gegenspannung der beiden Batterien nur 24...35 V beträgt, muß ein großer Teil der Netzspannung in dem Vorschaltwiderstand vernichtet werden, jedoch spielen die Stromkosten bei dem geringen Bedarf derartiger kleiner Anlagen keine entscheidende Rolle gegenüber der Einfachheit und Billigkeit der Anlage.

Wird der Netzschalter nach oben gelegt (wie in Abb. 670), so sind die beiden Batterien, die geladen werden, nebeneinander geschaltet; da die Gesamtstromstärke, die bei kleinen Sammlern nur wenige Ampere beträgt, sich in Betracht des verhältnismäßig hohen Spannungsabfalls im Vorschaltwiderstand und der geringen Batteriespannung nur wenig ändert, so erhält jetzt jede Batterie nur noch den halben Strom (Nachladung).

In Abb. 670 ist ferner rechts die Schaltung der Amtsmikrophone und des Polwechslers angedeutet. Der Belastungswiderstand ist beim Messen der Batteriespannung einzuschalten, um einen Anhalt für den Ladezustand der Batterie zu gewinnen.

Bei der Netzladung ist zu beachten, daß die Netzhälften 110 V bei 2×110 V und 220 V bei 2×220 V entsprechend den besonderen Bestimmungen der einzelnen Elektrizitätswerke nur in beschränktem Maß einseitig belastet werden dürfen (in der Regel höchstens mit 1 bis 2 kW).

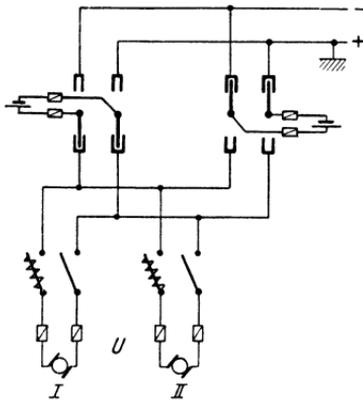


Abb. 671. Ladeanlage (ohne Pufferbetrieb).

B. Ladung mit Umformern. Erforderlich ist eine Batterie für den Betrieb und eine zweite für die Ladung und als Vorrat; ferner zur Gewährleistung einer ausreichenden Betriebssicherheit zwei Maschinen, die auch parallel eine Batterie laden können. Die Schaltung ergibt sich ohne weiteres aus Abb. 671.

(1154) Pufferbetrieb (Abb. 672).

Wegen der bei der Ladung und Entladung der Sammler unvermeidlichen Verluste, die etwa 10 bis 20 vH betragen (1126), ist es bei größeren Umformungsanlagen wirtschaftlich, im Pufferbetrieb (1143) die Sammler nur zum Ausgleich plötzlicher Belastungsstöße und zur Herabminderung des auch bei den neueren überschwingungsfreien Maschinen auftretenden schwachen Maschinentones zu verwenden und im übrigen den Maschinenstrom unmittelbar der Fernsprechanlage zuzuführen. Bei der Schaltung nach Abb. 672

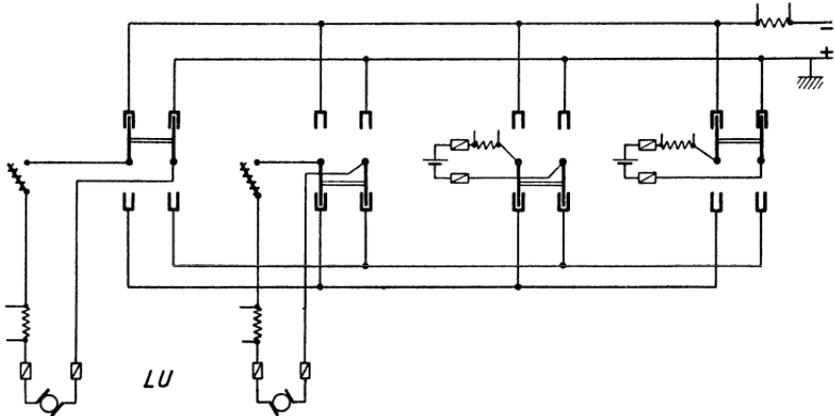


Abb. 672. Ladeanlage (mit Pufferbetrieb).

ist die Möglichkeit gegeben, eine oder beide Maschinen zugleich oder abwechselnd zum Puffern parallel mit einer Batterie oder zum Laden der anderen Batterie heranzuziehen:

Maschinenhebel nach oben puffern, nach unten laden.

Batteriehebel nach oben Betrieb, nach unten laden.

Die in die Leitungen eingeschalteten Widerstände und Abzweigungen an beiden Enden dienen zur Strommessung nach (197); die abgezweigten Leitungen werden zu einem Umschalter geführt, der mit dem Strommesser verbunden ist. Ebenso sind in die Leitungen Abzweigungsklemmen für die Zuführungen zur Spannungsmessung eingefügt.

Werden neuere Spezialmaschinen mit sehr geringen Oberschwingungen verwendet, so verschwindet bei dieser Pufferschaltung, die unter Umständen auch zur Herabsetzung der Anlagekosten einpolig ausgeführt werden kann, in SA-Ämtern mit ihrer verhältnismäßig hohen Dämpfung in den an der Batterie liegenden Relais das Maschinengeräusch fast völlig. Bei den sehr empfindlichen Fern- und Verstärkerämtern und den Handämtern, besonders nach dem Western-System, empfiehlt es sich dagegen, die neueren Schaltungen zur Geräuschdämpfung anzuwenden (Abb. 673 und 674).

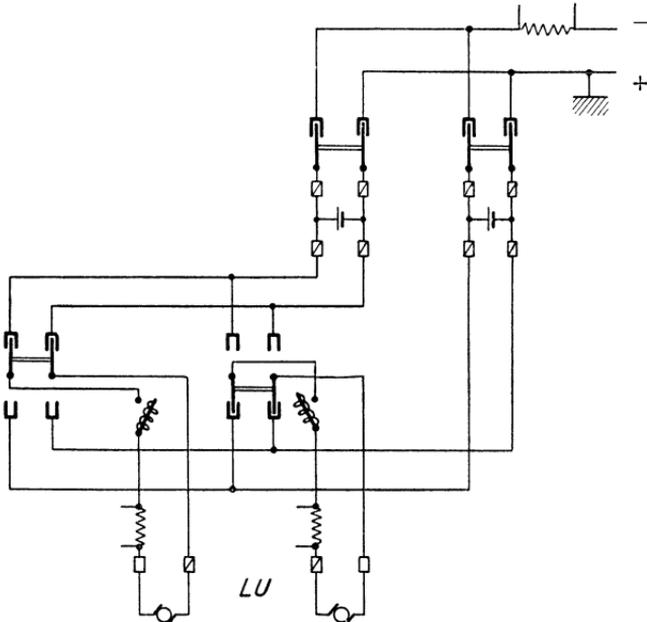


Abb. 673. Ladeanlage (mit Pufferbetrieb und Schaltung zur Geräuschdämpfung).

Die Pufferbatterie bedeutet nämlich einen um so vollkommeneren Kurzschluß für die dem Gleichstrom überlagerten Wechselströme, die die Oberschwingungen bilden, je geringer der Widerstand dieses Nebenschlusses ist. Der Nebenschluß enthält aber bei der gewöhnlichen Pufferschaltung (Abb. 672) die Batteriesicherungen, den Meßwiderstand und den Batterieschalter. Bei der Schaltung nach Abb. 673 und 674 dagegen liegt die Batterie unmittelbar in Brücke, während die Sicherungen usw. im Maschinenstromkreis oder in der Amtszuleitung liegen. Die Maschinen- und die Verbrauchszuleitungen sind zweckmäßig in den Batterieraum bis an die Batteriepole heranzuführen. Hieraus ergibt sich eine schwierigere und teure Leitungsanlage; diese Schaltung wird deshalb im allgemeinen nur in den oben genannten Fällen angewendet, in denen ein wesentlicher Vorteil erreicht wird.

Hinsichtlich Abb. 674 ist noch besonders zu bemerken, daß die Verstärkerämter zwei Heizbatterien zu 12 V besitzen, aus denen in einer Art Dreileiterschaltung (ein Batteriehebel noch oben, der zweite nach unten) eine Spannung von 24 V für den Bedarf der Batterieruf- und Anodenumformer und einiger Relais usw. gebildet wird. Jede der beiden Maschinen kann auf jede der beiden Batterien zur Pufferung oder Ladung geschaltet werden. Bei der Hebelstellung

wie in Abb. 674 z. B. liefert Batterie *I* den Heizstrom (-12 V), und bildet zugleich zusammen mit Batterie *II*, die auf die Stufe -12 bis 24 V geschaltet ist, die Spannung von -24 V; ferner wird mit dem Ladeumformer *I* die Batterie *I* und mit dem Ladeumformer *II* die Batterie *II* gepuffert bzw. geladen.

Da beim Pufferbetrieb die Spannung jeder Zelle, sobald sie Strom aufnimmt, sogleich auf $2,1$ V und allmählich noch höher steigt, ergibt sich z. B. bei den 31 Zellen eines SA-Amtes eine Spannung von 65 V und mehr, von der allerdings etwa 1 V durch den Spannungsabfall in den Entladeleitungen ausgeglichen wird.

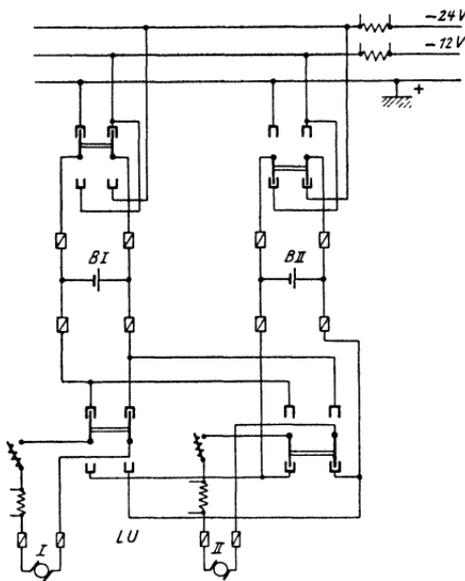


Abb. 674. Ladeanlage eines Verstärkeramtes (mit Pufferbetrieb und Schaltung zur Geräuschdämpfung).

Die Spannung an den Wählern soll sich jedoch zwischen 57 und 62 V halten, da sonst die Schaltungen nicht einwandfrei arbeiten. Die überschüssige Spannung muß daher in SA-Ämtern mit Pufferbetrieb durch drei Gegenzellen abgedrosselt werden, die aus Bleielektroden in verdünnter Schwefelsäure bestehen und eine Gegenspannung von je $2,5 \dots 3,0$ V entsprechend der Belastung zu erzeugen. Die Einschaltung der Gegenzellen erfolgt nach Bedarf mit einem Einfachzellenschalter, wobei der Stromkreis nicht unterbrochen wird. Um die Gefahr des Mitsprechens zu vermeiden, nimmt man die Gegenzellen von gleicher Größe wie die Batteriezellen, nur mit nichtformierten positiven Platten, und normale Säuredichte ($1,200$ spez. Gew.); Öldeckung ist zweckmäßig.

Mindestens alle 14 Tage ist die Pufferbatterie regelrecht zu entladen und zu laden, wobei die Säuredichte sich möglichst zwischen dem bei der Abnahme festgestellten unteren Wert, z. B. $1,155$, und dem oberen Wert $1,200$ spez. Gew. bewegen soll. Beim regelmäßigen Pufferbetrieb dagegen soll die Säuredichte im mittleren Drittel dieses Bereiches bleiben, also im Beispiel zwischen $1,185$ und $1,175$ spez. Gew. Neben dem Pufferbetrieb mit Maschine ist neuerdings mit Erfolg auch Pufferung mit Quecksilberdampf-Drehstrom-Gleichrichtern versucht worden. Die erheblichen Oberschwingungen des gleichgerichteten Stromes werden hierbei durch Einschaltung von Drosselspulen zwischen Gleichrichter und Batterie soweit abgeflacht, daß in den Fernsprecheinrichtungen kein störendes Geräusch mehr hörbar ist; die Störungsfreiheit wird noch verbessert, wenn geeignete Kondensatoren in Brücke parallel zu der Batterie eingeschaltet werden.

(1155) Beispiele für die Bemessung von Stromversorgungsanlagen. 1. Strombedarf eines Telegraphenamtes. Auf Grund der oben aufgeführten Einzelwerte und der in dem Amt angenommenen Betriebsspannungen und -arten ergibt sich nachstehende Zusammenstellung, in der die Leitungsnummern willkürlich angenommen sind:

Berechnung des Strombedarfs für das TA in ...

Spannungsstufe Volt	Betriebsart der Leitungen	Bezeichnung	Zahl	Täglicher Strombedarf für			Bemerkungen
				1 Leitung	die Leitungen der Spannungsstufe	die Spannungsstufe einschließlich der vorhergehenden	
Positive Spannungen							
+ 100	Hg Dx dp	348	1	1,2	1,2	1,2	
+ 80	—	—	—	—	—	1,2	
+ 60	Hg Dx dp	1472	1	1,2	1,2		
	SiUe Dx dp	5176 ^o u. W.	5	2,88	14,4	16,8	
		5178 ^o u. W.					
		3119 ^o u. W.					
		3221 ^o u. W.					
		5177 ^o u. W.					
+ 40	Kl R Mh	1768	1	0,41	0,41		
	Si Ue dp	5072 ^o u. W.					
		5174 ^o u. W.	2	1,88	3,76	20,97	
+ 20	Kl R Mh	836, 873, 3739	3	0,41	1,23	22,20	

Positiver Gesamtbedarf 62,37

Negative Spannungen							
- 100	Hg dx Dp	348	1	0,48	0,48	0,48	
- 80	—	—	—	—	—	0,48	
- 60	Kl A	3143	1	0,06	0,06		
	Hg	312	1	0,05	0,05		
	Hg dx Dp	1472	1	0,48	0,48		
	SiUe Dx dp	5176 ^o u. W.	5	1,20	6,00	7,07	
		5178 ^o u. W.					
		3119 ^o u. W.					
		3221 ^o u. W.					
		5177 ^o u. W.					
- 40	Kl A	1119, 128, 1477, 3116	4	0,06	0,24		
	Kl R Mh	662, 1743, 669, 674	4	0,41	1,64		
	Si Ue dp	5172 ^o u. W.	2	0,63	1,26	10,21	
- 20	aus der 24 V ZB	5174 ^o u. W.					

Negativer Gesamtbedarf 18,24

Positiver „ 62,37

Zusammen: 80,61

Da die Telegraphensammler nur 13,5 Ah fassen, ist es in dem vorliegenden Fall notwendig, für die höher belasteten Stufen größere Sammler zu verwenden; bei einer möglichst gleichmäßigen Belastung der einzelnen Entladekreise ergibt sich z. B. folgende Verteilung:

Summe	Ah					Summe
	←	«	»	→		
39,0	+ 20 V 22,2	+ 60 V 16,8	- 100 V 0,48	+ 80 V 1,2	- 60 V (z. Hälfte) 3,54	5,22
31,18	+ 40 V 20,97	- 40 V 10,21	- 80 V 0,48	+ 100 V 1,2	- 60 V (z. Hälfte) 3,54	5,22
70,18						10,44
10,44						
80,62						

Hierfür sind erforderlich 6 Gruppen aus je 10 Zellen für 35 Ah und 8 Gruppen zu je 10 Telegraphensammlern für 13,5 Ah; entsprechend sind 4 Entladekreise einzurichten, in denen die größeren Zellen jeden Tag, die Telegraphensammler jeden 2. Tag fortgeschaltet werden; hierbei werden den größeren Zellen rund 35 Ah, den Telegraphensammlern 10,44 Ah entnommen; jene müssen nach 2-tägiger, diese nach 6-tägiger Entladedauer geladen werden.

2. Stromversorgungsanlage eines Fernsprechamtes, und zwar für SA-Betrieb, da Handämter, abgesehen von Fern- und Schnellverkehrsknotenämtern, nicht mehr gebaut werden.

Bei kleineren Ämtern bis zu etwa 1000 Teilnehmern bei Inbetriebnahme und 1600 Teilnehmern nach 10 Jahren wird die Anlage im allgemeinen für den Lade- und Entladebetrieb (Abb. 671) eingerichtet; es werden dann zwei Batterien aufgestellt, von denen jede den vollen Tagesverbrauch decken kann.

Bei größeren Ämtern ist die Anlage in der Regel für den Pufferbetrieb mit zwei überschwingungsfreien Maschinen und zwei Batterien (Abb. 672) auszurüsten. Die Batterien sollen jede für sich bei dreistündiger Entladung ein Drittel des nach 10 Jahren zu erwartenden Tagesstrombedarfs und die dann zu erwartende Höchststromstärke hergeben. Die Maschinen, die gleich groß zu wählen sind, sollen zunächst jede für sich, nach 10 Jahren beide parallel im Pufferbetrieb mit $\frac{1}{2}$ — $\frac{2}{3}$ ihrer Höchstleistung arbeiten. Sehr wichtige Ämter mit starkem Fernverkehr usw. erhalten für den Fall einer Netzstörung eine eigene Kraftquelle, gewöhnlich in Form einer Benzindynamo, oder größere Batterien.

Den Pufferbetrieb auch auf kleinere Ämter auszudehnen, ist unwirtschaftlich, da bei diesen die Ersparnisse an Kosten für die Batterie und an elektrischer Energie durch die Mehrkosten für die Bedienung und die Ladeanlage aufgewogen werden; wenn bei einem Amt etwa gerade auf der Grenze der genannten Zahlen unter Umständen eine lebhaftere Entwicklung zu erwarten ist, kann es zweckmäßig sein, zwar zunächst die Batterien für den Lade- und Entladebetrieb zu bemessen, aber die Schaltanlage und Maschinen für den Pufferbetrieb einzurichten, damit eintretendenfalls später auch eine sehr starke Verkehrszunahme ohne Änderung der Stromversorgungsanlage bewältigt werden kann. Beispiele:

A. Ein mittleres SA-Amt, zurzeit 600 Teilnehmer, nach 10 Jahren voraussichtlich 1000 Teilnehmer, benötigt einschließlich des 60 V-Bedarfes für mittelstarken Fernverkehr (24 V für Lampen, s. unten) und für den Polwechsler sowie für die Erregung der Netzrufmaschine täglich etwa $1000 \times 0,3 = 300$ Ah.

Erforderlich sind unter Berücksichtigung der gebräuchlichen Sammlertypen 2×31 Zellen für etwa 300 Ah bei 10stündiger Entladung mit 30 A, zwei Gleichrichter oder Maschinen mit je etwa 30 bis 40 A bei 60,74 V, dann abfallend mit steigender Spannung bis 89 V. Ferner eine Ruf- und Signalmaschine für 30 VA und für die betriebsschwache Zeit ein Doppelpolwechsler. Bei Gleichrichtern kann auch ein stärkerer Spannungsabfall als vorstehend angegeben zugelassen werden, da mit Rücksicht auf ihre geringe Wartung eine Verlängerung der Ladezeit meist unbedenklich ist. Zweckmäßig sind Gleichrichter mit Hand-

regulierung zu verwenden, da bei Gleichrichtern mit sog. selbsttätiger Regulierung (Drossel) die Stromstärke sehr stark bei zunehmender Gegenspannung abfällt, so daß sich 10- bis 12stündige Ladezeiten ergeben.

B. Ein großes SA-Amt mit zurzeit 4000, nach 10 Jahren voraussichtlich 6000 Teilnehmern einschließlich eines mittleren Fernverkehrs und Batterieruf- und Signalmaschine benötigt täglich bei 60 V etwa $6000 \cdot 0,33 = 1980$ Ah.

Bei Pufferbetrieb sind erforderlich:

2×31 Zellen für etwa 660 Ah (unter Berücksichtigung der gebräuchlichen Sammlertypen) bei 3stündiger Entladung mit 220 A nebst 3 Gegezzellen.

2 Motorgeneratoren mit überschwingsungsfreien Dynamomaschinen, je etwa 150 bis 200 A bei 60/74/89 V.

1 Netz- und 1 Batterieruf- und Signalmaschine mit 60 VA Rufstromleistung bei 60/90 V Spannung und 25 Perioden.

Die Fernschranke ZB 10 FSA sind zum Teil durch Widerstände in den Lampenstromkreisen einheitlich für eine Betriebsspannung von 60 V eingerichtet; soweit dies nicht zutrifft, ist der 24 V- oder 30 V-Bedarf der Lampenstromkreise der Fernschranke ZB 10 FSA sehr gering; für 1000 Gespräche sind bei 24 V etwa 2 Ah, bei 30 V etwa 2,5 Ah zu rechnen. Es empfiehlt sich daher, 12 Zellen einer kleinen tragbaren Sammlertypen, bei größeren Ämtern auch 2 Batterien aufzustellen, die aus der 60 V-Batterie geladen oder unter Umständen auch unter Dauerladung gehalten werden können. Hierdurch werden Abzweigungen aus der Batterie zu 60 V vermieden, bei denen auch bei verhältnismäßig geringer Stromentnahme die Gefahr besteht, daß die Batterie durch allmählich anwachsende Ungleichmäßigkeiten geschädigt wird. Bei ganz großen Fernämtern sind zweckmäßig zwei Maschinen für 24/35 V und eine Batterie aus 12 Zellen entsprechender Kapazität aufzustellen. Unter Umständen besteht auch die Möglichkeit, eine vorhandene 24 V-Spannung, etwa eines Verstärkeramtes, mitzubenutzen.¹⁾

C. Der Strombedarf eines Verstärkeramtes²⁾ ist von der Zahl der Verstärkersätze abhängig. Im allgemeinen werden bei Verstärkerhauptämtern, die alle 150 km zur Verstärkung der 0,9 und 1,4 mm-Adern eingeschaltet sind, zwei Batterien aus je 6 Zellen aufgestellt, die so bemessen sind, daß sie beide zusammen für 6 Stunden den Energiebedarf decken können, der bei voller Beschaltung des zunächst verlegten Kabels entsteht. Da die Hauptämter eine Benzindynamo erhalten, ist ihre Energieversorgung für alle Fälle gesichert. Die Nebenämter, die alle 75 km zur Verstärkung der 0,9 mm-Adern erforderlich sind, erhalten keine Benzindynamo, dafür aber zwei Batterien aus je 6 Zellen für zusammen 12stündigen Betrieb.

Die Maschinen werden mit Rücksicht auf ihre im Verhältnis zu den Batterien längere Lebensdauer so bemessen, daß sie im Pufferbetrieb beide parallel noch die Höchststromstärke bei Auslegung eines zweiten gleichartigen Kabels herzugeben vermögen. Es ist z. B. ein Verstärkerhauptamt für ein Kabel, das bei voller Beschaltung 120 Verstärkersätze erfordert, mit folgenden Batterien usw. auszurüsten:

Jede Batterie muß hergeben:

$$\begin{aligned} 3 \cdot (120 \times 1,1) &= 3 \times 132 = 396 \text{ Ah Heizstrom (12 V, jede Batterie für 3 Std.),} \\ 6 \cdot (25 + 5) &= 6 \times 30 = 180 \text{ „ für Batterieanoden- und -rufumformer (aus} \\ &\qquad\qquad\qquad 576 \text{ Ah.} \quad 24 \text{ V, also jede Batterie für 6 Stunden).} \end{aligned}$$

Es sind mithin unter Berücksichtigung der gebräuchlichen Sammlertypen 2×6 Zellen für etwa 576 Ah bei 3stündiger Entladung mit 192 A sowie zwei überschwingsungsfreie Ladeumformer für 12/15/17 V und etwa 130 A aufzustellen. Bei Bemessung der Ladeumformer ist nur der Heizstrom zu berücksichtigen, da die Batterieanoden- und Rufmaschinen im allgemeinen nur dann laufen, wenn Strom aus dem Netz oder der Netzersatzanlage nicht zur Verfügung steht,

¹⁾ Wegen der Spannung von 60 V bei den Fernschranken 25 vgl. S. 291, Fußnote 1.

²⁾ Erg.-Heft 18 von 1925 (Apparatbeschreibung der DRP).

mithin also auch die Ladeumformer nicht arbeiten, oder wenn der Strombedarf in der betriebsschwachen Zeit sehr gering ist.

Als Anodenumformer wird — abgesehen von wenigen sehr großen Ämtern, insbesondere mit Wechselstromtelegraphie — im allgemeinen ein Motorgenerator von 0,5 kW Leistung zum Anschluß an das Netz und ein zweiter gleichgroßer zum Anschluß an die 24 V-Stufe als Einheitstypen ohne Rücksicht auf die Zahl der Verstärkersätze verwendet.

Als Rufmaschine wird die Normaltype von 60 VA benutzt, und zwar bei den älteren Kabeln mit einer Spannung von etwa 54 V; bei neueren Kabeln mit Massekernspulen können die SA-Rufmaschinen mit 60/85 V verwendet werden.

D. Leitungsquerschnitte. a) Die Entladeleitungen sind nach dem höchstens zulässigen Spannungsabfall (U_a) zu berechnen. Bei Verwendung von Kupfer ergibt sich

$$q = \frac{I \cdot l \text{ mm}^2}{U_a \cdot 57} \quad \begin{array}{l} l = \text{Hin- und Rückleitung.} \\ I = \text{Höchststromstärke.} \end{array}$$

U_a beträgt für die reine Entladeleitung — Schalter, Sicherungen usw. sind hierbei besonders berücksichtigt — zwischen Batterie und Batterieverteilingstafel bzw. -sicherungsgestell

bei Hand- und Fernämtern 0,4 V,

bei SA-Ämtern mit 31 Zellen 1 V,

bei Verstärkerämtern für die 12 V-Stufe 0,7 bis 1 V.

Übersteigt der Spannungsabfall die vorstehenden Werte, so ist ein einwandfreies Arbeiten der Schaltungen nicht mehr gewährleistet. Entsprechend den Vorschriften des VDE werden die blanken Entladungsleitungen außerhalb des Sammlerraumes durch einen roten Anstrich für die positive und einen blauen Anstrich für die negative Schiene gekennzeichnet.

b) Die Netzanschlußleitungen sind im Gegensatz zu den Angaben zu 1a) nach den Zahlen zu berechnen, die vom VDE mit Rücksicht auf die zulässige Erwärmung wie folgt für gummiisolierte Kupferleitungen (NGA) und für blanken Kupferleitungen (bis 50 qmm) festgesetzt sind:

Querschnitt mm ²	Höchst- zulässige Strom- stärke A	Nennstrom- stärke der Abschmelz- sicherungen	Querschnitt mm ²	Höchst- zulässige Strom- stärke A	Nennstrom- stärke der Abschmelz- sicherungen
0,75	9	6	16	75	60
1	11	6	25	100	80
1,5	14	10	35	125	100
2,5	20	15	50	160	125
4	25	20	70	200	160
6	31	25	95	240	190
10	43	35	120	280	225 usw.

Leiter unter 2,5 mm² sind in Stromversorgungsanlagen im allgemeinen mit Rücksicht auf die mechanische Festigkeit nicht zu verwenden.

Zweiter Abschnitt.

Hochfrequenter Wechselstrom.

Erzeugung schneller elektrischer Schwingungen.

(1156) Arten der Schwingungen. Man unterscheidet gedämpfte und ungedämpfte oder dauernde Schwingungen (2108 u. f.).

Gedämpfte Schwingungen erzeugen:

- der Marconisender,
- der gekoppelte Funkensender (Knarrfunken),
- der Stoßsender (Löschfunken, Tonfunken),
- der Vieltonsender,
- der Sender mit rotierender Funkenstrecke bzw. mehreren Entladestrecken,
- der Partialfunkensender.

Ungedämpfte Schwingungen erzeugen:

- der Lichtbogengenerator,
- die Hochfrequenzmaschine,
- der Röhrensender,
- der Sender für ungedämpfte Schwingungen mittels Funkenstrecken.

I. Erzeugung gedämpfter Schwingungen.

(1157) Einfacher Marconisender. Der Sender (Abb. 675) stammt aus dem Jahre 1896 und ist als der erste Sender für drahtlose Telegraphie mittels elektromagnetischer Wellen anzusehen. Als Schwingungskondensator wirkt der Luftleiter (einfacher gerader Draht oder Platte mit kurzer Zuleitung). Die Schwingungen sind stark gedämpft. Der Nachteil der Anordnung ist, daß die Energie aus dem Primärsystem nicht schnell genug während des Schwingungsvorganges nachkommen kann, es entstehen daher schwingungslose lange Pausen. Gearbeitet wird mit 20 bis 30 Funken je Sekunde („seltene Funken“, „Knarrfunken“). Infolge der großen Dämpfung ist die Resonanzkurve flach, die Abstimmung schlecht, jedoch ist vollkommene Einwilligkeit des Senders vorhanden.

Verbesserungen am Marconisender sind von H. Magunna (1914) durch Verwendung des Stimmgabelunterbrechers versucht worden (600 Unterbrechungen je Sekunde). Das Anwendungsgebiet ist jedoch beschränkt, da nur sehr kleine Sendeenergien in Frage kommen.

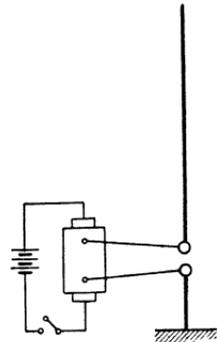


Abb. 675. Marconisender.

Vgl. Fleming - A s c h k i n a s s: Elektrische Wellentelegraphie, 1906 u. R i g h i : Die Telegraphie ohne Draht, 1903 u. 1907.

(1158) Gekoppelter Funkensender (Abb. 676). Der gekoppelte Funkensender arbeitet mit geschlossenem Schwingungskreis (Primärkreis bestehend aus großem Kondensator, einer Spule und einer Funkenstrecke). Der Antennenkreis wird

abgestimmt und durch magnetische und galvanische Kopplung erregt. Er besteht aus Luftleiter, aus Spulen (Abstimm-, Kopplungs- und Verlängerungsspule genannt) und unter Umständen auch Kondensatoren (Verkürzungskondensatoren genannt), sowie aus einer Erdverbindung, die auch durch ein isoliertes Drahtgebilde (Gegenantenne, Gegengewicht genannt) ersetzt werden kann.

Vgl. Lodge: Elektrische Telegraphie, amerik. Patent Nr. 609154 vom 16. 8. 1898. — Braun, F.: Schaltungsweise des mit einer Luftleitung verbundenen Gebers für Funkentelegraphie DRP Nr. 111578 vom 14. 10. 1898; El. Schwingungen und drahtlose Telegraphie. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 4, S. 1, 1910; Schaltung für el. Funkentelegraphie (Kapazitive Senderantennenkopplung) DRP 142792 vom 1. 1. 1901. — Marconi: Abgestimmte Telegraphie. Electr. vom 31. 5. 1901. — Marconi's Wireless Telegraphy. DRP 129018 vom 6. 11. 1900. — Slaby und Graf v. Arco: Schaltungsweise der Gebe- und Empfangsstation für Funkentelegraphie mit vertikalen Luftleitungen, DRP 124154 vom 23. 12. 1898.

Der Zweck des gekoppelten Funkensenders ist Steigerung der Senderschwingungsenergie (Reichweite) und Verminderung der Dämpfung der ausgestrahlten Schwingungen und damit Steigerung der Resonanzfähigkeit des Empfängers.

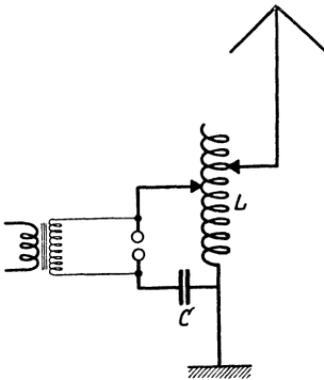


Abb. 676. Gekoppelter Funkensender.

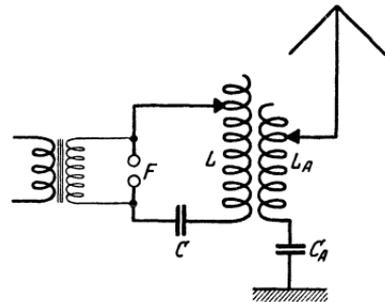


Abb. 677. Induktive Kopplung.

Zuweilen wird auch induktive Kopplung benutzt (Abb. 677). Der geschlossene Schwingungskreis und die Antenne müssen für sich abgestimmt werden. Beim Festermachen der Kopplung hat eine Nachstimmung zu erfolgen. Je nach den Dämpfungsgrößen werden die Kreise mit 3 bis 6 vH gekoppelt, so daß ein Wellenmesser noch keine getrennten Kopplungswellen erkennen läßt. Um verschiedene Wellenlängen einstellen zu können, sieht man mehrere Kapazitätsstufen vor (Grobabstimmung) und bildet die Spulen so aus, daß ihre Selbstinduktivität stetig verändert werden kann (Feinabstimmung); zu dem Zweck erhalten die Spulen entweder Schiebkontakte, oder ein Teil der Windungen wird beweglich gemacht. Bei zu fester Kopplung geht die Einwelligkeit verloren: es entstehen zwei Maxima des gekoppelten Funkensenders.

Wirksame Funken und damit ein guter Wirkungsgrad der ganzen Anlage sind an zwei Bedingungen geknüpft: erstens muß die Funkenstrecke während des Ladevorgangs nichtleitend sein; dies ist ohne weiteres der Fall, wenn man nicht mehr als 50 Funken je Sekunde bildet, d. h. wenn man langsamen Wechselstrom (bei kleinen Leistungen auch unterbrochenen Gleichstrom) zur Funkenspeisung verwendet und außerdem die Leistung nicht über 1 kW steigert. Bei größeren Leistungen wird zweckmäßig die Funkenstrecke durch einen Luftstrom ausgeblasen. Zweitens muß während der Dauer des Schwingungsvorgangs, solange also die Funkenstrecke leitet, die Ladeleitung stromlos sein. Dies wird am vollkommensten durch Anwendung des Resonanztransformators erreicht.

Seibt, G.: ETZ 1904, S. 277. — Bethenod: Über den Resonanztransformator. *Eclairage el.* Bd. 53, S. 115, 1907. *Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph.* Bd. 1, S. 543, 1907/08. — Boas: Resonanztransformatoren. *Ebenda* Bd. 3, S. 601, 1909/10; DRP 211302 vom 20. 1. 1907; DRP 281397 vom 5. 5. 1914. — Marconis Wireless Telegraph Company: Transformator für die Empfängerapparate für Funkentelegraphie, DRP 118716 vom 13. 6. 1899. — Seibt: Resonanzinduktium DRP 139580 vom 16. 7. 1902; Verfahren zur Abstimmung wellentelegraphischer Empfangsstationen auf die beiden Schwingungen des Senders, DRP 172 333 vom 23. 8. 1904.

Nach diesem System wurden Antennenschwingungen mit dem ungefähren Dekrement 0,1 hergestellt. Die Anwendung des Systems ist begrenzt durch die hohen momentanen Spannungen, die besonders in der Antenne schwer zu isolieren sind; doch sind Stationen bis zu 50 kW Maschinenleistung gebaut worden (Abb. 677).

(1159) **Stoßsender (Löschfunken, Tonfunken).** Für derartige Sender ist grundsätzlich die Schaltung für gekoppelte Funkensender gebräuchlich (Abb. 678). Es werden Funken verwendet, die schon nach ungefähr 0,0001 s erlöschen.

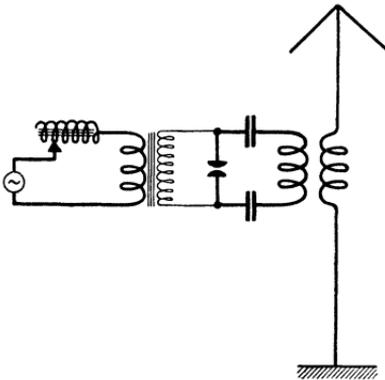


Abb. 678. Resonanzinduktor-Schaltung.

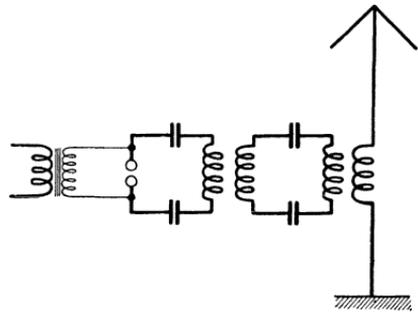
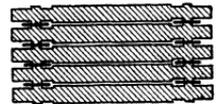


Abb. 679. Tertiärkreisstoßsender.

Bereits seit 1898 ist das Bestreben vorhanden, die bekannten Mängel der bisherigen Sender: geringe Funkenzahl, Zweiwelligkeit, Energiebeschränkung zu beseitigen. Diesbezügliche Arbeiten stammen von Thomson (1893), Tesla (1893), Hewitt (1902/05), Stone-Stone (1906), Lodge (1898), Eichhorn, Brandes-Hahnemann (1905) u. a. Während bei Thomson die Verhältnisse noch nicht klar ausgedrückt sind, scheinen Lodge und Fessenden Stoßschwingungen erhalten zu haben (Mehrfachfunkenstrecken, Kühlung). Stone-Stone verwendet einen Tertiärkreisstoßsender (Abb. 679), dessen Mängel jedoch schlechte Wellenvariation und Hochfrequenzisolation sind. Die physikalischen Eigenschaften des Schwebungsstoßverfahrens hat M. Wien (*Phys. Z.* Bd. 7, S. 871, 1906 u. Bd. 9, S. 49, 1908) an kleinen Funkenstrecken von wenigen Zehntel Millimetern Länge entdeckt. — E. v. Lepel hat derartige Funkenstrecken vorwiegend mit Gleichstromspeisung verwendet.

Vgl. v. Lepel: Einrichtung zur Erzeugung schneller elektrischer Schwingungen aus Gleich- oder Wechselstrom (Funkenstrecke, bei welcher der Elektrodenabstand klein ist im Verhältnis zur Oberfläche und wobei der Funkenstrecke ein oder mehrere Schwingungskreise parallel geschaltet sind). DRP 232174 vom 21. 8. 1907. — The Lepel wireless telegraph system. *Electr.* Bd. 64, S. 153. 1909.

Abb. 680.
Löschfunkenstrecke.

Sofern größere Leistungen in Frage kommen, verwendet man Serien (bis zu 100) solcher Funkenstrecken. Diese bestehen im allgemeinen aus Kupfer- und Silberplatten, die durch Glimmringe isoliert werden (Abb. 680). Das schnelle Erlöschen der Funkenstrecke bietet den Vorteil, daß sehr rasche Funkenfolge

verwendet werden kann. Dieser Vorteil wird bei dem System der tönenden Löschfunken benutzt, das in erster Linie von der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie, Berlin, durchgebildet worden ist.

Gesellschaft für drahtlose Telegraphie: Ausführungsform des Wienschen Verfahrens zur Erzeugung von el. Schwingungen. DRP 222832 vom 22. 12. 1908; Zusatz DRP 237168 vom 18. 6. 1909. — Verfahren z. Regelung der Intensität von Radiosendern, bei denen ein Erregerkreis mit schnell erlöschender Funkenstrecke benutzt wird. DRP 229144 vom 11. 7. 1908. — Mit Wechselstrom gespeister Sender für tönende Funken. DRP 242110 vom 6. 3. 1910. — Tönender Löschfunken sender für verschiedene Energie- und Tonstufen. DRP 290223 vom 23. 8. 1913. — Verfahren zur Erzeugung wenig gedämpfter Schwingungen. DRP 198544 vom 5. 3. 1907; DRP 198592 vom 30. 1. 1907. — Einrichtung zur Erzeugung el. Schwingungen hoher Frequenz. DRP 237741 vom 2. 3. 1909. — Gesellschaft für drahtlose Telegraphie und Seibt, G.: Schaltung zur Erzeugung schwach gedämpfter elektrischer Schwingungen. DRP 277664 vom 17. 3. 1914.

Es werden 600 bis 1000 Funken je Sekunde benutzt; dadurch wird erreicht, daß bei Hörempfang ein musikalischer Ton wahrgenommen wird. Da die Löschfunkenstrecke sehr schnell ihre Leitfähigkeit verliert, so scheidet der Primärkreis nach wenigen Schwingungen aus, der Antennenkreis schwingt mit seiner Eigenfrequenz und Eigendämpfung weiter (Abb. 681). Diese Erzeugung, bei der keine

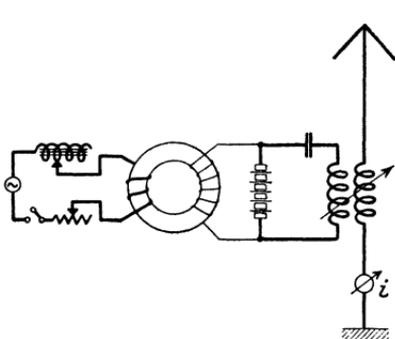


Abb. 681. Wiensche Schwebungsstoß-erregungsschaltung.

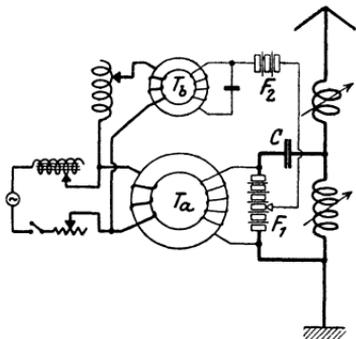


Abb. 682. Löschfunken sender mit Hilfszündung.

Kopplungswellen auftreten, wird Stoßerregung genannt und man nutzt sie aus, indem man feste Kopplungen (20 vH) verwendet, so daß die Schwingungsenergie besonders rasch aus dem Primärkreis verschwindet und dieser keine Verlustdämpfung mehr verursachen kann.

Zur Speisung des Senders wird Wechselstrom von ungefähr 500 Per/s verwendet (rasche Funkenfolge); bei richtiger Maschinenerregung springt dann bei jedem Wechsel ein Funke über. Bedeutet U die Funkenspannung einer einzelnen Funkenstrecke, n die Zahl der Funkenstrecken, f die Zahl der Funken je Sekunde, C die Kapazität des Primärkondensators, so stellt die f -malige Aufladung auf die Spannung $U \cdot n$ eine Leistung von der Größe $\frac{1}{2} f C n^2 U^2$ dar.

Damit die Funkenstrecke eine genügende Löschwirkung besitze, muß 1. geeignetes Elektrodenmaterial (Silber, Kupfer, Platiniridium usw.) gewählt werden, 2. die Funkenstrecke in Gas (Wasserstoffgas wegen des hohen Diffusionskoeffizienten) oder in luftabgeschlossenem Raum liegen, 3. ein günstiger Abstand der Funkenelektroden im Verhältnis zur wirksamen Oberfläche gewählt, 4. zahlreiche Funkenstrecken in Reihe geschaltet werden (bessere Entionisierung) und 5. die Elektrodentemperatur zur Vermeidung von Rückzündungen niedrig gehalten werden (Kühlung durch Wasser oder Luft).

Bemerkenswert ist die Wolframfunkenstrecke von H. Boas (Verhandl. phys. Ges. Bd. 13, S. 527, 1911, Bd. 15, S. 1130ff.); sie hat einen Elektrodenabstand von wenigen Hundertstel-Millimetern und so viele Elemente, daß die Entladespan-

nung wenig höher als das Kathodengefälle ist; darum liefert sie eine besonders vollkommene Stoßerregung auch bei den festesten Kopplungen.

(1160) **Verbesserungen der Löschkensender.** Zwecks Steigerung der Funkenzahl wurde von Telefunken die Hilfszündung (Sapelkoff, A. Meißner) ausgebildet (Abb. 682). Es bedeuten: T_a und T_b Transformatoren, F_1 die Hauptfunkenstrecke, F_2 die Hilfsfunkenstrecke. Die Einstellung hat so zu erfolgen, daß in F_1 gerade kein Funkenübergang stattfindet. Die Spannungen im Transformator T_b werden nun so gewählt, daß nur dann Funken übergehen, wenn im Kondensator C die Spannung ein Maximum ist.

Eine andere Verbesserung ist die Einkreisschaltung (R. H. Rendahl) von Telefunken (Abb. 683), welche den Zwischenkreis überflüssig macht, der für die Praxis zuweilen lästig sein kann, da er nachgestimmt werden muß. Die gemeinsame Selbstinduktion für Antennen- und Stoßkreis ist verhältnismäßig groß gewählt, die Kopplung bleibt bei Änderung der Wellenlänge nahezu konstant.

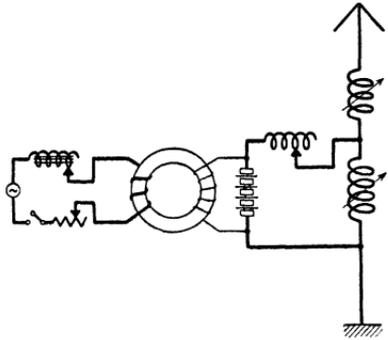


Abb. 683. Einkreisschaltung von R. H. Rendahl.

Funkenstrecken, welche ebenfalls Löschwirkung hatten, sind noch konstruiert worden von v. Koch (Badische Anilin- und Sodafabrik), von Peukert (Rotations-Plattenfunkenstrecke), E. F. Huth. Vgl. Badische Anilin- u. Sodafabrik: Einrichtung zur Erzeugung el. Schwingungen von hoher Periodenzahl mittels el. Lichtbögen, gegen die ein Gasstrom geblasen wird. DRP 221975 vom 28. 3. 1907. — Compagnie générale radiotélégraphique: Vorrichtung zur Veränderung der Länge von Mehrfachfunkenstrecken, insbesondere für die Zwecke der drahtlosen Telegraphie. DRP 277369 vom 21. 3. 1913. — Eichhorn: Stoßsender der drahtlosen Telegraphie (Lodge-Eichhorische Summerschaltung). Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 9, S. 206, 1914. — Telefunken-Hilfszündung-Zusatzapparat für tönende Löschkensender. Ebenda Bd. 8, S. 99, 1914; u. Bd. 7, S. 607, 1913. — Vos: Über eine neue Form der Stoßerregung el. Schwingungen. Ebenda Bd. 7, S. 307, 1913.

(1161) **Vieltonsender.** Die Löschwirkung der Funkenstrecke hängt bei der Wienschen Anordnung von der Kopplung ab. Die vollständige Energieübertragung vom geschlossenen Kreis auf den Antennenkreis erfolgt nach Ablauf der ersten Schwebung. Die ideale Stoßerregung verlangt, daß der Funke bereits beim ersten Durchgang der Schwingung durch Null zum Erlöschen gebracht wird, so daß überhaupt keine Schwebungen stattfinden. Auf Grund der Arbeiten von Hewitt und Simon beschäftigten sich B. Glatzel (Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 4, S. 400, 1910/11) und Telefunken mit diesem Problem (Glimmlicht- und Wasserstofffunkenstrecke). Abgesehen von den Versuchen mit Wasserstoffaluminiumfunkenstrecke von L. Chaffee und S. Arndt (1913), der einen Schwefelsäureunterbrecher benutzte, wurde das Vieltonsystem von E. v. Lepel-Burstein und von der C. Lorenz A.-G. (Rein) ausgebildet.

Chaffee, L.: Ein neues Verfahren der Stoßerregung ungedämpfter el. Schwingungen und deren Analyse durch oszillographische Aufnahmen mittels der Braunschen Röhre. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 7, S. 483, 555, 1913. — Eichhorn: Der radiotelegraphische Gleichstromsender der C. Lorenz A.-G. Ebenda Bd. 4, S. 129, 1910. — Gesellschaft für drahtlose Telegraphie: Einrichtung zur Erzeugung von kontinuierlichen oder annähernd kontinuierlichen wenig gedämpften Schwingungen. DRP 216043 vom 25. 6. 1908. — Schaltungsanordnung zur Erzeugung möglichst wenig gedämpfter el. Schwingungen. DRP 219511 vom 17. 2. 1907. — Glatzel: Die Quecksilberfunkenstrecke und ihre Verwendung zur Erzeugung schwach gedämpfter el. Wellen. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 2, S. 65, 1908/09. — Eine neue Methode zur Erzeugung von Hochfrequenzströmen nach dem Prinzip der Stoßerregung. Ebenda Bd. 4, S. 400, 1910/11. — Methoden zur Erzeugung von Hochfrequenzenergie. Helios Bd. 19, S. 185, 1913. — v. Lepel: Einrichtung zur Erzeugung schneller el. Schwingungen aus Gleich- oder Wechselstrom. DRP 232174 vom 21. 8. 1907. — Schaltungsweise zur Erzeugung schneller

el. Schwingungen aus Gleich- und Wechselstrom. DRP 254463 vom 21. 8. 1907. — C. Lorenz A.-G.: Sender für drahtlose Telegraphie, DRP 229219 vom 1. 1. 1909. — Rein: Der radiotelegraphische Gleichstromsender. Phys. Z. Bd. 11, S. 514, 1910; Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 4, S. 196, 1910. — Das Vieltonsystem. Verl. der Radioingenieure, New York 1913. 1. S. 5. — Scheller: Einrichtung zur Erzeugung tonender Signale für die Zwecke der drahtlosen Telegraphie mittels Gleichstromes. DRP 237714 vom 21. 4. 1909.

Die ideale Stoßerregung wird erreicht, wenn die Entladestrecke eine große Löschfähigkeit besitzt, außerdem durch richtige Wahl der Dimensionen des Stoßkreises und des Speisekreises einschließlich der Selbstinduktion (Abb. 684). Der Vieltonsender der C. Lorenz A.-G. ist nach diesem Prinzip gebaut. Die wesentlichen Bestandteile sind der aperiodische Stoßkreis und der parallel geschaltete Tonkreis. Nach der Schaltung (Abb. 685) ist notwendig: der Gleichstromgenerator (1000 V), welcher über einen

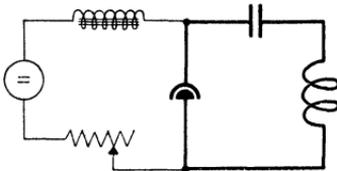


Abb. 684. Stoßsender.

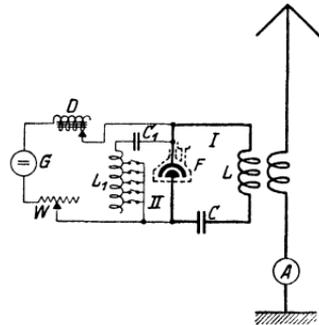


Abb. 685. Vieltonsender von H. Rein (C. Lorenz A.-G.).

Widerstand W und eine veränderbare Selbstinduktivität D die Kapazität C des Stoßkreises I (bestehend noch aus Funkenstrecke F und Spule L) auflädt. Die Entladungen haben aperiodischen Charakter. Die Zeichen erhalten Toncharakter durch den Tonkreis II , dessen Selbstinduktivität L_1 und Kapazität C_1 so bemessen sind, daß die Eigenschwingungszahl der Frequenz eines musikalischen Tones entspricht. Von 3 kW Primärleistung ab tritt an Stelle des Gleichstromgenerators eine Wechselstrommaschine mit Transformator und Mehrfachfunkenstrecke.

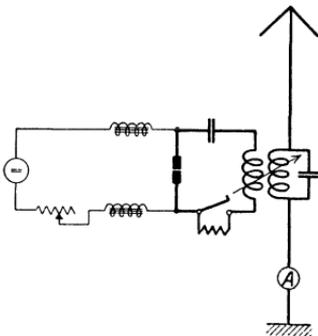


Abb. 686. Stoßkreissenderanordnung von R. Herzog.

Ebenfalls eine ideale Stoßkreissenderanordnung stellt die Schaltung (Abb. 686) von R. Herzog dar. Als Funkenstrecke werden zwei Metallelektroden mit einem Zwischenraum unterhalb eines Millimeters verwendet. Die Zündung erfolgt durch gegenseitigen Kontakt der Elektroden, welche sich in einem teilweise mit Spiritus gefüllten Gefäß befinden. Auf anderem Wege erhält H. Riegger (1910) mit sehr rasch entionisierender Funkenstrecke ebenfalls ideale Stoßerregung.

Riegger, H.: Über gekoppelte Kondensatorkreise bei sehr kurzer Funkenstrecke. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 5, S. 35, 1911/12.

(1162) Sender mit rotierender Funkenstrecke bzw. mehreren Entladestrecken. Außer bei den tönenden Löschfunken wird auch bei einigen anderen Systemen von der Stoßerregung Gebrauch gemacht. Derartige Funkenstreckenarrangements mit rotierenden Elektroden sind bereits 1904 von Fessenden und Marconi konstruiert worden. Fast sämtliche großen Marconistationen sind mit solchen Funkenstrecken ausgerüstet. Von L. Rouzet ist eine Serienentladefunkenstrecke angeben worden, welche die gleichen Ziele verfolgt.

Rouzet, L.: Sendevorrichtung für drahtlose Telegraphie. DRP 272 172 vom 11. 11. 1910.

Der Vorteil dieser Sender gegenüber den Schwebungsstoßsendern ist der, daß die in der Antenne zu erzielende Hochfrequenzenergie auch in einem größeren Wellenbereiche konstant bleibt. Der Nachteil derartiger Sender ist der verhältnismäßig kompliziertere Aufbau, außerdem ist es notwendig, daß die Entladungen in der richtigen Phase einsetzen.

Marconis tönender Großstationssender mit umlaufender Funkenstrecke (Abb. 687) besteht aus einer Hochspannungsbatterie (11000 V), welche einen Kondensator (0,5 μ F) lädt. In den Speiseleitungen liegen starke Drosselspulen, die eine Spannungserhöhung (auf 17000 V) am Kondensator bewirken. Sobald diese erreicht ist, setzt zwischen den Elektroden *E* (langsam rotierende Scheiben) eine Entladung über die Zapfen *Z* ein, die eine rasch rotierende Scheibe zwischen ihnen hindurchführt. Sie wird alsbald wieder durch die Bewegung der Zapfen unterbrochen; die einsetzende Schwingung ist inzwischen auf die gekoppelte Antenne übertragen, und der Ladevorgang wiederholt sich, während das nächste Zapfenpaar sich den Elektroden nähert.

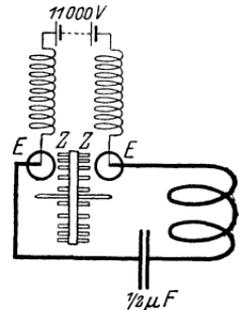


Abb. 687. Marconis rotierende Funkenstrecke.

Marconi Wireless Telegraph Co.: Vorrichtung zur Erzeugung el. Schwingungen, insbesondere für die Zwecke der drahtlosen Telegraphie und Telephonie. DRP 229363 vom 25. 9. 1907. — Schaltungsanordnung zur Erzeugung von el. Schwingungen f. drahtl. Telegr. DRP 203997 vom 25. 9. 1907. — Vorrichtung zur Erzeugung el. Schwingungen, insbesondere für die Zwecke der drahtl. Telegr. und Teleph. DRP 225057 vom 25. 9. 1907. DRP 225058 vom 6. 5. 1908.

Ähnlich der von Marconi konstruierten Funkenstrecke ist die von Bailsillie (1910), bestehend aus zwei langen kammförmig gebogenen Teilen (feststehend) und einem schaufelförmig gebogenen, gleichfalls kammförmig gebogenen Flügelrad. Der Abstand der Elektroden beträgt etwa 0,6 mm. Bei Betrieb mit Gleichstrom werden kontinuierliche Schwingungen erzeugt, mit Wechselstrom betrieben erhält man Stoßerregung. Ähnlich sind ferner die Anordnungen von v. Lepel und E. Ruhmer, und den gleichen Zweck, allerdings in abweichender Konstruktion mit rotierender Aluminiumscheibe, erreicht auch S. G. Brown, wiewohl hier die erzeugte Energie recht unbedeutend ist.

v. Lepel: Verfahren zur Erzeugung schneller el. Schwingungen aus Gleichstrom durch Ladung und Entladung oder Umladung eines Blockkondensators aus einem durch die Gleichstromquelle gespeisten Kondensators mit Hilfe einer rotierenden oder vibrierenden oder künstlich gezündeten Umladevorrichtung. DRP 299873 vom 8. 4. 1913 und 301135 vom 14. 12. 1913.

Die Verwendung von mehreren Funkenstrecken ist des öfteren vorgeschlagen worden, einmal um eine Frequenzsteigerung zu erhalten, wie die Anordnungen von Slaby-Arco und O. Scheller bezwecken, zweitens um die einzelnen Funkenstrecken zum Teil zu entlasten, wie die Konstruktionen von Flemming, Seibt, Gerth und Herzog zeigen. — Slaby-Arco benutzt die Mittelfrequenz-Hochfrequenzschaltung aus Isolationsschwierigkeiten der Antennendurchführungen bei Schiffen.

Gesellschaft für drahtlose Telegraphie: Vorrichtung zur Erzeugung elektr. Schwingungen mittels rotierender Funkenstrecken. DRP 287742 vom 21. 8. 1914. — C. Lorenz A.-G.: Verfahren und Schaltungsanordnung zum Betriebe von Serienfunkenstrecken. DRP 261646 vom 29. 10. 1912.

(1163) Gemischte Schaltungen. Gute Abreiß- und Stoßwirkung wird mit der von O. Scheller (C. Lorenz A.-G.) angegebenen Mittelfrequenz-Hochfrequenzschaltung erreicht (Abb. 688). Abgesehen von der durch Flemming 1901 angegebenen Schaltung zum Zwecke der Funkenstreckenentlastung gehören zu dieser Gruppe die Anordnungen von G. Seibt (Kombination einer Einsatzfunkenstrecke mit Löschfunkenstrecke), von F. Gerth (C. Lorenz A.-G., Schaltungseinrichtung

für drahtlose Nachrichtenübermittlung, DRP 293872 vom 28. 5. 1913) und von R. Herzog (C. Lorenz A.-G.). Diese Konstruktion stellt eine Verbesserung des Schwelungsstoßverfahrens der C. Lorenz A.-G. dar und besteht aus einer Vereinigung von Löschkun- und Abreißfunkenstrecke (Abb. 689). Eine ähnliche

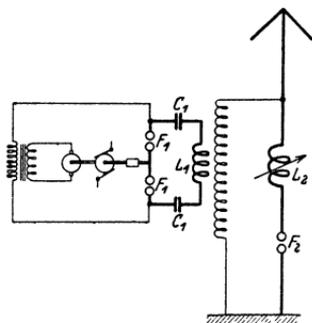


Abb. 688. Mittelfrequenz-Hochfrequenzschaltung von O. Scheller.

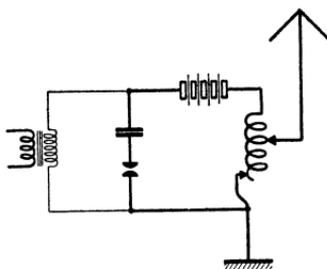


Abb. 689. Löschkun- und Abreißfunkenstrecke von R. Herzog.

Schaltung weist die Löschkun- und Abreißfunkenstrecke durch eine Arbeitsfunkenstrecke von R. Herzog (C. Lorenz A.-G., 1914) auf. Durch die ultraviolette Bestrahlung der Löschkun- und Abreißfunkenstrecke leitende Ionen erzeugt, welche den Entladeverzug aufheben.

(1164) Partialfunkensender. Zur Gruppe der gedämpften Sender sind noch die Partialfunkensender zu nennen. Sie haben jedoch wenig Bedeutung erlangt.

Simon, H. Th. und Reich: Erzeugung von Partialentladungen und Aneinanderreihung einzelner Stöße mit der Absicht, kontinuierliche und ungedämpfte Schwingungen zu erzeugen. Phys. Z. 1903, S. 364 u. 737.

II. Erzeugung ungedämpfter Schwingungen.

(1165) Methoden der Erzeugung. Schwingungen mit konstanten Amplituden können nach verschiedenen Methoden hergestellt werden; es können benutzt werden:

1. lichtbogenartige bzw. gaselektrische Vorgänge,
2. Kathodenröhren (Röhrensender),
3. Hochfrequenzmaschinen und Vervielfachungstransformatoren (Maschinensender).

A. Der Lichtbogen-generator.

(1166) Lichtbogencharakteristik (102). Die statische Lichtbogencharakteristik [$U=f(I)$] wird bei Speisung durch Gleichstrom (Dauerzustand) aufgenommen. Die entstehende Kurve ist eine gleichseitige Hyperbel und zeigt den Typus einer fallenden Charakteristik. Da der Lichtbogenwiderstand mit wachsendem Strom abnimmt, kann der Lichtbogen selbst zur Schwingungserzeugung benutzt werden, jedoch ist das Duddellphänomen nur im Bereiche der stark abfallenden Charakteristik möglich, d. h. mit wachsendem Strom sinkt die Spannung am Flammenbogen, so wie es auch der Schwingungsvorgang erfordert. Indessen ist die Flammenbogenspannung nicht nur von dem gleichzeitigen Strom abhängig, sondern auch noch von dem unmittelbar vorher vorhandenen Strom; darum hinkt die Stromspannungsabhängigkeit bei rasch verlaufenden Vorgängen etwas nach und es tritt hindernd die Lichtbogenhysterese auf (H. Th. Simon, Jahrb. d. drahtl. Telegr. Bd. 1, 1907, S. 16ff.). Vgl. Abb. 690. Die Lichtbogenhysterese wird vermindert durch Kühlung der positiven Elektrode, für die man gut leitendes Material (Kupfer) verwendet und besondere Wasserkühlung, sowie

durch Einbetten des Flammenbogens in ein die Wärme gut leitendes Gas (Wasserstoff, Leuchtgas). Bei reinen Flammenbogenschwingungen ist der Strom I im Schwingungskreis stets kleiner als der Speisestrom i (Abb. 691) und verläuft sinusförmig; doch lassen sich die Schwingungen nur mit kleiner Leistung herstellen, wenig über 100 W. Größere Schwingungsleistungen erzielt man nach dem Vorgang von Poulsen, wenn man Drosselspulen in die Speiseleitung legt und die Flammenbogen in ein transversales Magnetfeld einbaut. Die erzeugten Schwingungen sind dann nicht mehr sinusförmig, sondern es treten Oberschwingungen auf; die Frequenz der Grundschiwingung stimmt nicht mehr genau mit der Eigenfrequenz des Kreises überein.

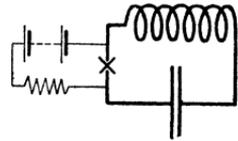


Abb. 690. Schwingungskreis, mit Flammenbogen erregt.

Barkhausen (Problem der Schwingungserzeugung, Leipzig 1907) ordnet diese komplizierten Vorgänge nach drei Typen, den Schwingungen 1., 2. und 3. Art. Die letzteren werden vielfach Partialentladungen genannt und haben den Charakter von Funkenschwingungen (Abb. 692).

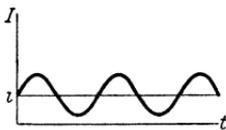


Abb. 691.
Schwingungen 1. Art.



Abb. 692.
Schwingungen 2. Art.

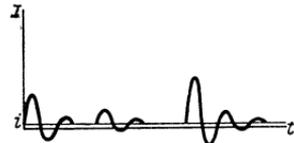


Abb. 693.
Schwingungen 3. Art.

Die Schwingungen des Poulsen-Generators stehen den Schwingungen 2. Art (Abb. 692) wohl am nächsten. Man spricht dabei von einem ungedämpften System, weil die Schwingungsamplitude konstant bleibt.

Ältere Anordnungen von Poulsen wurden von verschiedenen Seiten vorgeschlagen, so z. B. von E. Thomson 1892, N. Tesla 1895 (angeblasene Metallentladungsstrecke), auch die Schaltung von E. Lecher 1888, kann dazu gerechnet werden. Bei allen diesen Konstruktionen dürften jedoch nur Lichtbogenschwingungen 3. Art hervorgerufen worden sein. Eine gewisse Verbesserung erreichte Duddell 1900 bei seinen Versuchen mit dem „tönenden Lichtbogen“. Duddell war der erste, welcher für die Elektroden Bogenlampenkohlen benutzte. Die erzeugte Periodenzahl war noch gering (f etwa 10 000), jedoch wurden Lichtbogenschwingungen 1. Art, das sogenannte „reine Duddell-Phänomen“ erhalten; die Energie war auch hier noch sehr gering (einige Watt) und die Frequenz wenig über $f = 15 000$.

Weitere Versuchsanordnungen wurden geschaffen von Peuckert, Wertheim-Salomonsen, H. Th. Simon und Reich.

Durch Einbetten des Lichtbogens in eine Wasserstoffatmosphäre und Anwendung eines Quermagnetfeldes, das den Lichtbogen anblies, gelang es V. Poulsen, Schwingungen bis zu Frequenzen von etwa 500 000 Per/s bei verhältnismäßig großer Leistung zu erzeugen.

Literatur: Duddell, W.: On rapid variations in the current through the direct current arc. *Electrician* Bd. 46, S. 269. 1900. — Peuckert, W.: Neue Wirkungen des Gleichstromlichtbogens. *ETZ*, 1901, S. 467. — Poulsen, V.: Ein Verfahren zur Erzeugung ungedämpfter elektrischer Schwingungen und seine Anwendung in der drahtlosen Telegraphie. *ETZ* 1906, S. 1040, 1075. — Einrichtung zur Erzeugung von variierenden Strömen oder Wechselströmen hoher Frequenz. *DRP* 162 954 vom 12. 7. 1903. — Anordnung zur Zeichengebung bei drahtloser Telegraphie. *DRP* 191 094 vom 13. 3. 1906. — Rausch von Traubenberg: Über die Verwendung des Poulsen-Lichtbogens als Gleichstromhochfrequenzumformers für große Energien. *Jahrb.* 1, 1907/08, S. 307. — Rein, H.: Vorrichtung zur Erzeugung un-

gedämpfter el. Schwingungen, insbesondere für die Zwecke einer drahtlosen Telegraphie und Telephonie. DRP 199 489 vom 19. 12. 1906. — Ruhmer, E.: Vorrichtung, um die Länge eines el. Lichtbogens dauernd konstant zu halten. DRP 191 834 vom 1. 1. 1907. — Verfahren zur Erzeugung el. Schwingungen mittels Lichtbogens. DRP 196 325 vom 12. 1. 1907. — Flammenbogenunterbrecher. DRP 196 504 vom 23. 9. 1904. — Verfahren zur Erzeugung von hochfrequenten Wechselströmen unter Benutzung eines Lichtbogens. DRP 207 938 vom 11. 6. 1907. — Schwungradschwingungskreis für Lichtbogenenergie. DRP 225 459 vom 12. 12. 1908. — Simon, H. Th. und Reich, M.: Verfahren zur Erzeugung el. Schwingungen für Zwecke der drahtl. Telegraphie und Telephonie. DRP 153 792 vom 18. 1. 1903. — Simon, H. Th.: Über ungedämpfte el. Schwingungen. Jahrb. 1. 1907. S. 16. — Wertheim-Salomonson, J.: Lichtbogen der Schwingungserzeugung. Versl. K. Akad. van Wet. 381. 1902/03. Beibl. zu Wiedemanns Ann. 1903. S. 588, 792. Electrician Bd. 52, S. 126. 1903. Beibl. zu Wiedem. Ann. 1904. S. 734.

(1167) Vorgang im Lichtbogen. Während bei kleinen Energien, d. h. bei sehr kurzer Lichtbogenlänge, das Material von Anode und Kathode und deren An-

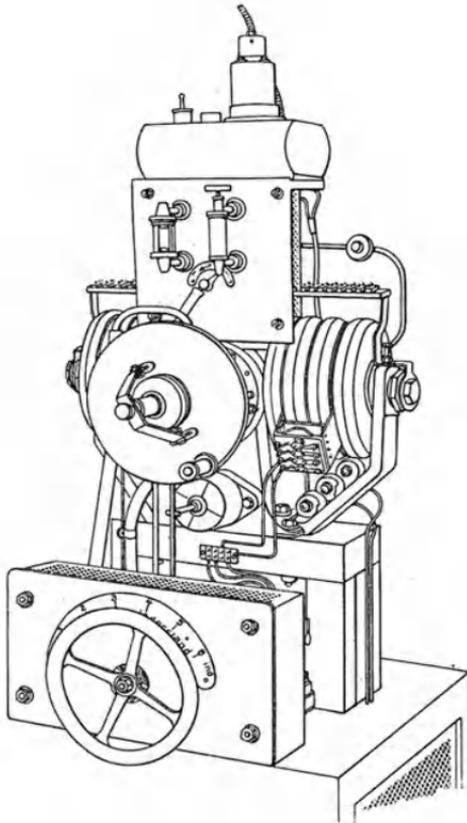


Abb. 694. Lichtbogengenerator nach Poulsen.

ordnung (Kathode aus Kohle, Anode aus Kupfer) eine ausschlaggebende Rolle spielt, tritt bei großen Energien, d. h. langen Lichtbogen, die Bedeutung der Elektroden zurück und die des Magnetfeldes in den Vordergrund, und zwar soll der Arbeitsvorgang im Generator zweckmäßig so eingestellt sein, daß während jeder Hochfrequenzperiode der Lichtbogen vom Magnetfeld einmal ausgeblasen wird. Die richtige Bemessung des Feldes ist deswegen sehr wichtig. Es ist ferner zweckmäßig, für lange Wellen beide Elektroden aus Kohle, für kurze Wellen notwendig die Kathode aus Kupfer zu nehmen, nicht die Anode. Je kürzer die Wellenlänge ist, eine desto wichtigere Rolle spielt die Temperatur der Kupferelektrode, die durch Wasserkühlung und schnelle Drehung möglichst niedrig zu halten ist. Es ist nicht nötig, den Lichtbogen in eine Atmosphäre von reinem Wasserstoff einzubetten, sondern es genügt eine Atmosphäre aus Leuchtgas, Petroleum- oder Spiritusdämpfen. Man kann die Kohlenwasserstoffatmosphäre so zusammensetzen, daß ein nur sehr

schwacher Abbrand der Kohlenelektroden stattfindet und das Wachsen der Gegenelektrode vermieden wird. Außer der schnellen Entionisation des Lichtbogens ermöglicht die Kohlenwasserstoffatmosphäre gleichzeitig bei gegebener Spannung (Zündspannung) eine große Lichtbogenlänge, so daß auch bei hohen Frequenzen Feldstärken des Magnets sich herstellen lassen, die den Lichtbogen während jeder Periode einmal ausblasen.

(1168) Aufbau. (Abb. 694). Der Lichtbogen selbst wird in eine doppelwandige, durch Wasser gekühlte Metallkammer aus nichtmagnetischem Material eingeschlossen, wobei die Elektroden isoliert von beiden Seiten eingeführt werden. Unter Umständen kann die Kathode geerdet sein; dann ist bei ihrer Einführung eine Isolation überflüssig. Quer zum Lichtbogen ragen die Pole eines Elektromagnets in die Kammer hinein, die bei großen Generatoren ebenfalls durch Wasser gekühlt werden. Der Elektromagnet kann durch den Lichtbogenstrom selbst oder durch eine besondere Stromquelle erregt werden. Das erste Verfahren hat den Vorteil, daß die nötige Feldstärke sich in gewissem Sinne der verlangten Energie von selbst anpaßt.

(1169) Schaltung. Damit der Lichtbogen Schwingungen erzeugen kann, muß er in einem schwingungsfähigen System aus Kapazität und Selbstinduktion liegen. Bei den älteren Anordnungen wurde der Lichtbogen dabei direkt in dieses System eingeschaltet. Um jedoch einen guten Wirkungsgrad des Generators zu erzielen (bis 75 vH), ist es nötig, den äußeren Widerstand, welcher die Hochfrequenzenergie verbraucht, dem Lichtbogen anzupassen. Bei großen Luftdrahtgebilden mit niedrigem Widerstand und hoher Kapazität kann dies durch Kondensatoranordnungen geschehen. Am zweckmäßigsten verwendet man jedoch in allen Fällen einfache Spartransformatoren, um das richtige Übersetzungsverhältnis zwischen Nutzwiderstand und Lichtbogenwiderstand einzustellen. Die wirksamste Schaltungsanordnung dafür ist in Abb. 695 dargestellt. G ist der Lichtbogengenerator, der aus irgendeiner Gleichstromquelle gespeist wird, L_1, L_2 der Spartransformator, L_3, C_3 E der Schwingungskreis (etwa ein Luftdrahtgebilde, C_1 ein möglichst großer Kondensator, um den Gleichstrom zu blockieren, da sonst der Lichtbogen kurzgeschlossen wäre, C_2 ein Kondensator, welcher parallel zum Lichtbogen liegt.

(1170) Größenbemessung. Eine Anlage, wie sie von der C. Lorenz Aktiengesellschaft, Berlin-Tempelhof, gebaut wird, hat beispielweise folgende Abmessungen: Das Magnetfeld G eine Stärke von 4000 bis 10 000 Gauß, der Luftdraht C_3 10 000 cm, der Spartransformator L_1, L_2 3 000 000 cm, der Parallelkondensator C_2 18 000 cm und der Blockierungskondensator C_1 200 000 cm. Bei einem Speisestrom I_1 von 100 A stellte sich der Luftdrahtstrom auf 130 A, der Strom in der Luftdrahtverzweigung über dem Lichtbogen I_3 auf 70 A ein. Bei offener Taste ging der Strom I_1 von 100 auf 30 A zurück. Die Betriebsspannung betrug 650 V.

(1171) Die Wellenkonstanz großer Lichtbogensender ist sehr groß. Während bei kleinsten Apparaten Unregelmäßigkeiten der Elektroden unter Umständen

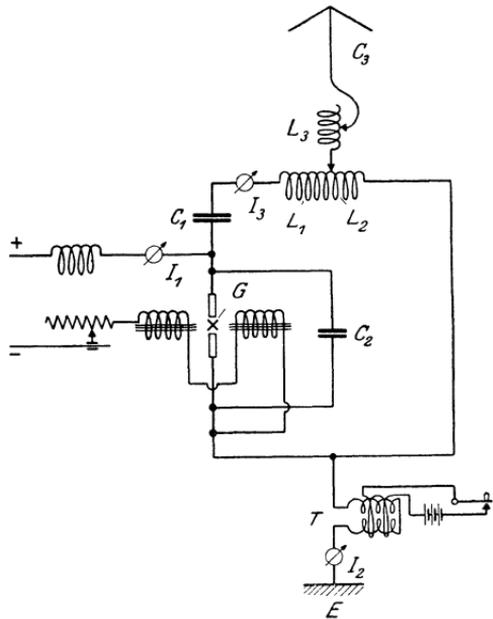


Abb. 695. Schaltung des Lichtbogengenerators.

die Frequenz beeinflussen können, fällt dies bei großen Generatoren fort und die Frequenz ist nur abhängig von den Konstanten des Schwingungskreises. Die Lichtbogengeneratoren sind deswegen auch sehr geeignet für drahtlose Telephonie. In Europa ist z. B. das Telephonnetz von Kopenhagen und der dänischen Insel Bornholm drahtlos mit Hilfe von Lichtbogengeneratoren verbunden; die Generatoren erzeugen 1 kW bzw. 3 kW im Luftdraht. Für Meßzwecke wurden Generatoren von 1,5 A (etwa 10 W) gebaut. Nach oben hin ist die Energie, soweit sie praktisch verlangt wird, nicht begrenzt. Tatsächlich besitzt die zur Zeit stärkste drahtlose Station der Welt (Malabar) einen Lichtbogengenerator, der für eine Energieaufnahme von 3000 kW eingerichtet ist.

Die Reichweite der durch den Lichtbogengenerator erzeugten Schwingungen ist natürlich dieselbe wie anderer ungedämpfter Schwingungen. Die oben genannte Station Malabar auf Java ist zum Verkehr mit Holland gebaut.

(1172) Vorzüge. Der Vorteil der Lichtbogengeneratoren gegenüber anderen Hochfrequenzzeugern liegt in ihrer großen Einfachheit, die eine große Betriebssicherheit verbürgt und bei Störungen eine Wiederherstellung mit den einfachsten Werkzeugen ermöglicht. Für Gegenden, die nicht über geschulte Präzisionsmechaniker und über vorzüglich eingerichtete Werkstätten verfügen, ist deswegen der Lichtbogengenerator das geeignete Mittel zur Erzeugung von hochfrequenten Schwingungen. Dazu kommt, daß man auf einfache Weise, indem man nur die Abstimmung des Schwingungskreises wechselt, vielleicht noch die Erregung des Magnetfeldes ändert, die Frequenz des Generators in sehr weiten Grenzen leicht ändern kann. Damit kann man sich aber den verschiedenen Empfangsstationen und Absorptionsverhältnissen der verschiedenen Wege und Zeiten anpassen. Gegenüber diesem Vorteil bildet die Unbequemlichkeit, die ein Lichtbogen durch Abbrand der Kohlen bietet und deswegen einer gewissen Wartung bedarf, keinen wesentlichen Nachteil. Unerwünschte Oberschwingungen und Geräusche lassen sich nötigenfalls durch ähnliche Mittel beseitigen wie bei allen anderen Hochfrequenzgeneratoren, die nicht von einer rein sinusförmigen Hochfrequenzenergiequelle ausgehen.

Bisher sind etwa 100 Landstationen mit Lichtbogengeneratoren von über 25 kW Leistungsaufnahme ausgerüstet, etwa $\frac{1}{4}$ davon mit Leistungen von 100 kW und mehr.

B. Die Elektronenröhre.

(1173) Wirkungsweise. Die Elektronenröhre beruht auf der Fähigkeit glühender Körper, Elektronen auszusenden (97). Sie besteht in ihrer einfachsten

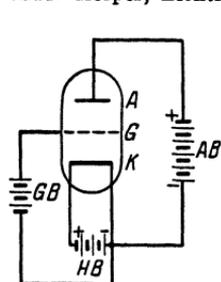


Abb. 696. Schaltbild der Elektronenröhre.

Form aus einer Glühkathode *K* und einer Anode *A* (Abb. 696). Die Glühkathode ist im allgemeinen ein gestreckter Faden, der von der Heizbatterie *HB* elektrisch geheizt wird. Die Anode *A* steht der Kathode *K* als ebenes Metallblech gegenüber oder umgibt sie als koaxialer Metallzylinder. Durch die Anodenbatterie *AB* wird zwischen Kathode und Anode ein elektrisches Feld erzeugt, das die von der Kathode ausgesandten Elektronen zur Anode befördert, so daß ein positiver Strom von der Anode zur Kathode fließt. Für die größte Zahl der Verwendungszwecke der Elektronenröhre ist zwischen Kathode und Anode eine sieb- oder gitterförmige dritte Elektrode, das Gitter *G*, erforderlich, das der Steuerung des von Kathode zu Anode fließenden Elektronenstromes dient. Dem Gitter wird

im allgemeinen durch eine besondere Gitterbatterie *GB* eine je nach dem Verwendungszweck der Röhre negative oder positive Vorspannung gegeben.

(1174) Glühkathoden. Als Glühkathoden verwendet man Wolframdraht, thorierten (mit Thorium überzogenen) Wolframdraht oder Platin- bzw. Platin-

Iridiumdraht mit einem Überzug von Erdalkalimetalloxyden (97). Der Wirkungsgrad einer Glühkathode wird durch das Verhältnis von Elektronenemission I zu der Heizleistung N , die erforderlich ist, um die Glühkathode auf der Betriebstemperatur zu erhalten, gemessen. Der Quotient I/N , die Elektronenausbeute, wird häufig als Temperaturmaß benutzt. Bei hinreichender Lebensdauer, d. h. bei nicht zu hoher Betriebstemperatur, ergeben Kathoden aus Wolframdraht eine Elektronenausbeute von 2...5 mA/W (2400 bis 2550° abs.), Kathoden aus thoriertem Wolframdraht 20...40 mA/W (1700 bis 1900° abs.) und Oxydkathoden 20...60 mA/W (1000 bis 1200° abs.). Diese Angaben gelten für Glühkathoden, deren Enden durch die Stromzuführungen gekühlt sind, während das Emissionsgesetz (97) für ideale Kathoden gilt, die sich überall auf der gleichen Temperatur befinden.

(1175) Raumladecharakteristik. Die Elektronen verlassen die Glühkathode mit einer gewissen Geschwindigkeit. Für die Normalkomponenten dieser Geschwindigkeiten gilt das Maxwell'sche Geschwindigkeitsverteilungsgesetz. Trotz der Eigengeschwindigkeiten der Elektronen fließt aber erst bei hinreichend großen beschleunigenden Feldstärken die gesamte Elektronenmenge, die die Glühkathode auszusenden vermag (Sättigungsstrom), zur Anode. Bei kleinen beschleunigenden Feldstärken begrenzt die Raumladung den zur Anode fließenden Strom (97). Die im Raume zwischen Kathode und Anode befindliche negative Ladung der Elektronen ändert den Potentialverlauf derart, daß sich im geringen Abstände x_m von der Kathode ein Potentialminimum ausbildet. Nur die Elektronen, die diese Potentialschwelle überschreiten können, erreichen die Anode. Für beliebige Elektrodenformen ist der zwischen Kathode und Anode fließende Strom I in Abhängigkeit von der Elektrodenspannung U_a

$$I = k \cdot U_a^{3/2}$$

wo k eine durch die geometrischen Abmessungen des Systems bestimmte Konstante ist. Sind Kathode und Anode zwei unbegrenzte Ebenen (Abstand x , Potentialdifferenz U_a), so ist der übergehende Strom für 1 cm² Oberfläche in Abhängigkeit von der angelegten Spannung annähernd durch die Formel

$$I = 2,33 \cdot 10^{-6} \frac{U_a^{3/2}}{x^2}$$

gegeben. Sind Kathode und Anode (Radius r) koaxiale Zylinder, so lautet die entsprechende Beziehung für 1 cm Kathodenlänge

$$I = 14,65 \cdot 10^{-6} \frac{U_a^{3/2}}{r}$$

Die Abweichung von diesem $U_a^{3/2}$ -Gesetz, bedingt durch die verschiedenen Anfangsgeschwindigkeiten der Elektronen, sind bei zylindrischer Anordnung mit einer Kathode kleinen Durchmessers bei weitem nicht so groß wie in dem Fall, wo Kathode und Anode parallele Ebenen sind, und wo bei niederen Anodenpotentialen (Größenordnung 30 V) Abweichungen von 50 vH. möglich sind. Auch der Spannungsabfall U_h längs der elektrisch geheizten Glühkathode führt zu Abweichungen von dem $U_a^{3/2}$ -Gesetz, die aber von entgegengesetztem Vorzeichen sind, wie die durch die Anfangsgeschwindigkeiten bedingten Abweichungen. Für $U_a < U_h$ wird dadurch I proportional $U_a^{5/2}$.

Die Kurve, welche die durch die Raumladung bedingte Abhängigkeit des Elektronenstromes von der Anodenspannung darstellt, nennt man die Raumladecharakteristik (Abb. 697). Der Elektronenstrom steigt entsprechend den oben angegebenen Gesetzmäßigkeiten mit wachsender Anodenspannung und nähert sich schließlich einem Grenzwert, dem Sättigungsstrom I_s .

(1176) Röhrenkonstanten. Bei Elektronenröhren mit einem Gitter bestimmen die Potentiale von Gitter (U_g) und Anode (U_a) den Stromverlauf im Elek-

trodensystem. Das elektrische Feld in der Nähe der Kathode ist in diesem Falle praktisch gleichwertig dem Feld, das durch ein in der Gitterebene vorhandenes Potential

$$U_{st} = U_g + D U_a$$

hervorgerufen wird. Streng genommen gilt dieses Potential für eine Vorgitterebene homogenen Potentials; das Potential in der Gitterebene selbst hat — wenn wir uns die Gitterebene durch eine Fläche konstanten Potentials ersetzt denken — den Wert:

$$U_{st} = \frac{U_g + D U_a}{1 + D}$$

Eine Änderung des Feldes in der Nähe der Kathode durch Änderung des Anodenpotentials läßt sich durch eine D -fache (kleinere) Änderung des Gitterpotentials ersetzen. Da die von der Anode ausgehenden Kraftlinien durch die Schlitzte des Gitters hindurchgreifen, nennt man die Konstante D den Durchgriff.

Der zur Gitterebene fließende Elektronenstrom ist unter der bei "guten Röhren erfüllten Voraussetzung, daß das resultierende Feld im Potentialminimum homogen ist, durch die obigen Formeln (1175) gegeben, wenn man statt U_a die

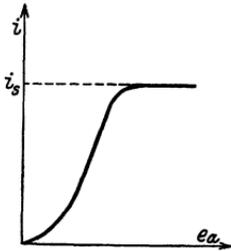


Abb. 697.
Raumladecharakteristik.

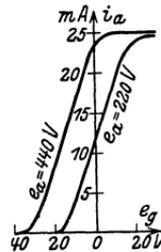


Abb. 698. Kennlinien
der Röhre BE.

Steuerspannung $U_g + D U_a$ setzt. Der durch die Formel gegebene Stromverlauf gilt bis in die Nähe des Sättigungsstromes. Infolge des allmählichen Überganges auf den konstanten Sättigungsstromwert ist ein großer Teil der durch die Formeln (1175) definierten Charakteristik geradlinig. Die Tangente des Neigungswinkels der Raumladecharakteristik gegen die Abszissenachse wird als Steilheit S bezeichnet. Die Kurve, welche die Abhängigkeit des Anodenstromes (konstantes Anodenpotential) von der Gitterspannung darstellt, bezeichnet man allgemein als Kennlinie der Röhre (Abb. 698), zum Unterschied von den Charakteristiken, die die Abhängigkeit des Anodenstromes von der Anodenspannung (Gitterspannung konstant) und des Gitterstromes von der Gitterspannung (Anodenspannung konstant) zeigen. Für den geradlinigen Teil gilt $I_a = S \cdot U_{st}$.

(1177) Gitterstrom. Für negatives Potential des Gitters ist der zum Gitter fließende Anteil des Elektronenstromes Null. Der durch die Formeln (1175) gegebene Strom ist in diesem Fall der Anodenstrom I_a . Für positive Gitterpotentiale geht ein Teil des Elektronenstromes auf das Gitter, und zwar wird dieser Anteil um so größer, je höher das Gitterpotential wird. Wächst dieses über das Anodenpotential, so sinkt der Anodenstrom.

(1178) Sekundärelektronen. Bei bestimmten Elektrodenpotentialen (Gitterpotential höher als Anodenpotential) lösen die auf die Anode fallenden Elektronen Sekundärelektronen aus, die den auf die Anode gelangenden Primärelektronenstrom derart schwächen, daß mit wachsendem Anodenpotential der Anodenstrom

abnimmt, ja sogar seine Richtung ändern kann. In diesem Fall erhält man zwischen Kathode und Anode einen negativen Widerstand (Dynatron).

(1179) Röhrgleichung. Wenn dem Gitter eine Wechselspannung U_g aufgedrückt wird, dann erzeugt sie im Anodenstromkreis den Wechselstrom I_a . In dem Anodennutzwiderstand R_a entsteht dann ein Spannungsabfall

$$U_a = -R_a I_a$$

Es ist also, da man D gegen 1 vernachlässigen kann,

$$I_a = S(U_g - D R_a I_a)$$

$$I_a = \frac{U_g}{D} \cdot \frac{1}{\frac{1}{S D} + R_a}$$

Die Röhre wirkt wie ein Generator mit der EMK $\frac{U_g}{D}$ und dem inneren Widerstand $R_i = \frac{1}{S D}$.

(1180) Verstärkungszahl. Bei Röhren ohne Gitterstrom (mit negativer Gittervorspannung) ist der Widerstand Gitter—Kathode praktisch unendlich groß. Man könnte also mittels geeigneter Kopplungen zwischen der primären Energiequelle und dem Gitterkreis beliebig hohe Gitterwechselspannungen erzeugen. Praktisch kann man jedoch den inneren Widerstand der primären Stromquelle nur auf einige Megohm ($p \cdot 10^6$ Ohm) transformieren. Ist die durch die primäre Energiequelle am Gitter erzeugte (effektive) Wechselspannung U_g , so ist die zur Verfügung stehende Primärenergie $U_g^2/p \cdot 10^6$. Die an den angepaßten Nutzwiderstand abgegebene (maximale) Wechselstromleistung ist

$$I_a^2 R_i = U_g^2 \frac{S}{4 D}$$

Daraus folgt für die Energieverstärkung

$$\alpha^2 = \frac{S p \cdot 10^6}{4 D}$$

oder für die lineare Verstärkung

$$\alpha = \frac{10^3}{2} \sqrt{p \frac{S}{D}}$$

S/D wird als Rohrgüte bezeichnet.

Zur Erzielung hoher Verstärkung sind möglichst hohe Werte der Steilheit und möglichst kleine Werte des Durchgriffs anzustreben.

(1181) Mehrgitterröhren. Eine wesentliche Zunahme der Steilheit kann man durch Einfügung eines Hilfsgitters (Raumladegitter) zwischen Kathode und Steuergitter erreichen. Die Wirkung der Raumladung wird dadurch beseitigt und der Anstieg der Charakteristik von nahe Null bis zum Sättigungswert findet in einem viel kleineren Bereiche statt, dessen Breite durch die Differenz der Eigengeschwindigkeiten der die Kathode verlassenden Elektronen und durch den Spannungsabfall am Glühfaden gegeben ist. Das Raumladegitter erhält positives Potential, nimmt also einen Teil des Emissionsstromes auf. Die Verringerung des Durchgriffes wird durch Einfügung eines Hilfsgitters (Anodenschutzgitter) zwischen Anode und Steuergitter erreicht, welches ebenfalls einen Teil des Elektronenstromes aufnimmt, da es auch positives Potential erhält.

(1182) Gleichrichter. Die Eigenschaft der Glühkathodenröhren, nur in einer Richtung Strom durchzulassen, findet bei der Gleichrichtung von Strömen aller Frequenzen und Spannungen Verwendung. Insbesondere benutzt man sie einerseits zum Empfang schwach gespannter Hochfrequenzschwingungen, andererseits, um aus niederfrequenten Wechselströmen hohe Gleichspannungen zu er-

zeugen, wie sie zum Betrieb großer Senderöhren oder in der Röntgentechnik gebraucht werden. Bei Röhren mit Steuergitter kann man die gleichzurichtende Spannung dem Gitterkreis zuführen, um bei der Gleichrichtung die Verstärkerwirkung der Röhre auszunutzen. Dabei wird durch eine Gittervorspannung der Arbeitspunkt an den oberen oder unteren Knick der Charakteristik gelegt. Bei der Audionschaltung (Abb. 699) benutzt man die Krümmung der Gitterkennlinie. Die meist geringe positive Vorspannung wird z. B. dem Gitter über einen hohen Widerstand zugeführt, der durch einen Kondensator überbrückt ist (Abb. 699). Wird in den Gitterkreis die gleichzurichtende Wechselspannung gelegt, so steigt der mittlere Gitterstrom und damit der Gleichstromspannungsabfall im Widerstand. Das mittlere

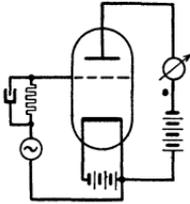


Abb. 699. Audion.

Gitterpotential sinkt und mit ihm der mittlere Anodenstrom. Gleichrichter- und Audionschaltung finden außer als Empfangsschaltung z. B. in der Hochfrequenztelegraphie und -telephonie (1985 u. f.) auch beim Röhrenvoltmeter (1056, 4) zur Messung kleiner Wechselspannungen Verwendung.

(1183) Verstärker. Da die Verstärkerröhre als Generator mit der EMK $\frac{U_g}{D}$

und dem inneren Widerstande $\frac{1}{S D}$ aufzufassen ist (1179), kommt es bei gegebener

Röhre darauf an, zur Erzielung möglichst hoher Verstärkerwirkung die zur Verfügung stehende Primärleistung im Gitterkreise mit möglichst hoher Spannung wirksam zu machen. Im allgemeinen erreicht man dieses Ziel durch Verwendung eines Übertragers, des Vorübertragers, der mit seiner Primärwicklung dem Sender der primären Leistung, mit seiner Sekundärwicklung dem Gitterkreise angepaßt ist. Wenn man mit negativer Gittervorspannung, d. h. ohne Gitterstrom, arbeitet — das ist zur Erzielung hoher Verstärkung erforderlich —, so ist der Gitterwiderstand rein kapazitiv. In diesem Falle bedeutet Anpassung der Sekundärwicklung des Übertragers, ihre Induktivität mit ihrer um die Gitterkapazität vermehrten Kapazität in Resonanz zu bringen, und zwar für die Frequenz, für die die maximale Verstärkung gefordert ist. Maximale Leistungsentnahme aus der Röhre erreicht man durch Einschaltung eines primärseitig an den inneren Widerstand der Röhre, sekundärseitig an den Widerstand des Verbrauchers angepaßten Übertragers (Nachübertragers). Die Frequenzabhängigkeit der Wirkung von Vor- und Nachübertrager, besonders des ersteren, ergibt eine frequenzabhängige Verstärkung. Eine gleichmäßigere Verstärkung erreicht man durch Dämpfung der Resonanz des Vorübertragers, oder durch Wahl einer solchen primären Wicklung des Vorübertragers, daß ihr Scheinwiderstand groß ist gegen den inneren Widerstand des die primäre Energie liefernden Senders. Will man für ein Frequenzband eine mit der Frequenz steigende oder fallende Verstärkung erzielen, so wird man den steigenden oder fallenden Ast der Resonanzkurve des Vorübertragers benutzen, d. h. im ersteren Falle muß seine Resonanzfrequenz oberhalb, im zweiten unterhalb der Frequenzen des Frequenzbandes liegen. Außerdem kann der Frequenzgang weiter durch frequenzabhängige Nebenschlüsse im Verstärkerwege — z. B. parallel zu einer Wicklung des Vor- oder Nachübertragers — beeinflusst werden.

(1184) Frequenzbereich. Theoretisch ist der Bereich der Frequenzen, für den die Röhre zur Verstärkung brauchbar ist, nach oben durch die endliche Elektronengeschwindigkeit begrenzt. In der Praxis verhindern die Schaltungs- und Röhrenkapazitäten die Verstärkung schon weit unterhalb dieser Grenze. Die Anoden—Kathodenkapazität schließt den äußeren Widerstand gewissermaßen kurz. Desgleichen setzt die Gitter—Kathodenkapazität den Eingangswiderstand herab. Beim Hochfrequenzverstärker ist die Beeinflussung der Gitter—Kathoden-

kapazität C_{gk} durch die Gitter—Anodenkapazität C_{ga} zu beachten. Es ist diese scheinbare oder dynamische Kapazität

$$C_{sch} = C_{gk} + \frac{1}{1 + D \left(1 + \frac{R_1}{R_a} \right)} C_{ga}.$$

Falls R_a nicht reell ist, bekommt $\frac{1}{1 + D C_{sch}}$ eine Wirkkomponente, die positiv oder negativ ist, je nachdem R_a kapazitiv oder induktiv ist.

(1185) Stufenschaltung. Zur Kopplung mehrerer hintereinander arbeitender Röhren (Stufenschaltung) verwendet man entweder Zwischenübertrager, die ebenso zu behandeln sind wie der Vorübertrager, oder, vorzugsweise bei Hochfrequenz, Kapazitäten (Abb. 700). In der Regel legt man in den Gitterkreis einen großen Ohmschen Widerstand R_g . Zur Erzielung frequenzunabhängiger Verstärkung wählt man als Anodenwiderstand einen Ohmschen Widerstand oder eine Drossel, deren Scheinwiderstand groß gegen den Anodenwiderstand der Röhren ist. Die Kapazität C zwischen der Anode einer Röhre und dem Gitter der folgenden muß so groß sein, daß ihr Scheinwiderstand für alle zu verstärkenden Frequenzen klein gegen R_g ist. Kommt es nicht auf frequenzunabhängige Verstärkung an oder wird hohe Selektivität gewünscht, so läßt sich durch einen Sperrkreis, d. i. eine Parallelschaltung von Induktivität und Kapazität, leichter ein großes R_a erzielen als mit einer Drossel. Die Verwendung von Ohmschen Widerständen im Anodenkreis hat den Nachteil, daß die Batteriespannung beträchtlich erhöht werden muß.

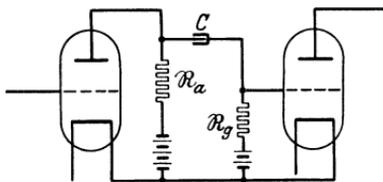


Abb. 700. Stufenschaltung mit kapazitiver Kopplung.

(1186) Selbsterregung und deren Verhinderung. Stufenschaltungen neigen zur Selbsterregung, deren Ursache in den meisten Fällen verteilte Kapazitäten, kapazitive Kopplungen zwischen den einzelnen Schaltelementen, sind. Um ihren Einfluß auszuschalten, werden die einzelnen Schaltelemente mit geerdeten metallischen Hüllen umgeben. Ein anderer Weg zur Beseitigung der unerwünschten Kopplung ist die Anbringung einer künstlichen, entgegengesetzt wirkenden Kopplung innerhalb der Schaltung. Auch der negative Widerstand, der, wie oben ausgeführt, durch die Anoden-Gitterkapazität der Röhre entstehen kann, führt, wenn R_a induktiv ist, häufig zur Selbsterregung. Man verhindert letztere durch eine kapazitive Gegenkopplung, wie bei der Neutrodynschaltung.

(1187) Röhrengenerator. Beim Sender wird ein Teil der Anodenkreisleistung benutzt, um eine Wechselspannung am Gitter aufrecht zu erhalten, die ihrerseits der Schwingung im Anodenkreis über die Verstärkeröhre Energie aus der Anodenbatterie zuführt. Hierzu sind zwischen der Spannung am Arbeitskreis und der Steuerspannung am Gitter ganz bestimmte Phasen- und Amplitudenbeziehungen notwendig. Die Gitterspannung muß über die Röhre, den Schwingungskreis und die Rückkopplung eine Gitterspannung hervorrufen, die der ursprünglich wirkenden gleich ist. Da es sich um Gleichheit zweier komplexer Vektoren handelt, sind zwei Bedingungen zu erfüllen. Zur Frequenzbestimmung dient die Phasenbilanz. Es sind Diagramme benutzt worden, die die Reaktanzen des Anoden- und Gitterkreises, sowie die in Betracht kommenden Röhrenkapazitäten in Abhängigkeit von der Frequenz darstellen. In der Regel ergeben diese Methoden mehrere Frequenzen, von denen nur ein Teil stabilen Zuständen entspricht. Zur Berechnung der Amplitude dient die Leistungsbilanz. Eine strenge rechnerische Behandlung ist in den meisten Fällen unmöglich, so daß man sich der Methode der Schwinglinien oder Reißdiagramme (1208) bedienen muß.

In den Abb. 701 bis 704 sind einige der bekanntesten Rückkopplungsschaltungen dargestellt.

Bei Zwischenkreissendern treten bei stetiger Veränderung einer Schaltungskonstanten zuweilen sprunghafte Veränderungen der Frequenz bzw. des Anodenstromes auf. Diese Erscheinungen sind unter dem Namen „Ziehen“ bekannt (1088).

Legt man an das Gitter einer Röhre höhere Spannungen als an die Anode, so können Schwingungen außerordentlich hoher Frequenz auftreten, die auf Schwingungen der Elektronen um das Gitter zurückgeführt werden, da sie von der äußeren Schaltung verhältnismäßig unbeeinflusst sind.

(1188) Empfänger. Beim Empfang modulierter Schwingungen ist mindestens eine Gleichrichtung erforderlich, meist muß noch eine Verstärkung hinzukommen. Als empfindlichster Gleichrichter ist das schon beschriebene Audion anzusehen,

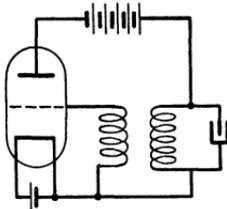


Abb. 701. Generator mit induktiver Kopplung.

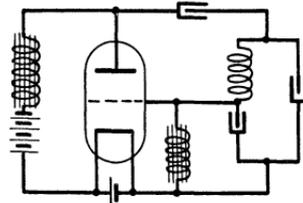


Abb. 702. Colpitts-Schaltung.

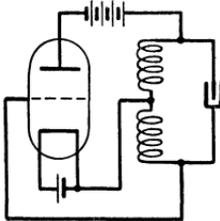


Abb. 703. Dreipunkt-Schaltung.

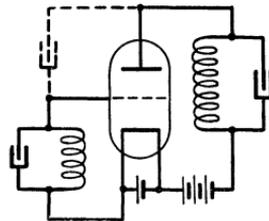


Abb. 704. Huth-Kuhn-Schaltung.

das in seiner Wirkung einem Gleichrichter mit einer Niederfrequenzverstärkerstufe gleichwertig ist. Die Verstärkung kann durch Rückkopplung (Dämpfungsverminderung) erhöht werden.

Eine Empfangsschaltung mit außerordentlich großer Verstärkung ist die Pendelrückkopplungsschaltung. Hierbei wird eine Empfangsschaltung durch einen örtlichen Schwingungserzeuger abwechselnd schwingungsfähig und nichtschwingungsfähig gemacht. Die Zeiten der Schwingungsfähigkeit müssen gegenüber der Einschwingzeit so klein gewählt werden, daß keine wesentlichen Schwingungen auftreten, wenn keine Zeichen empfangen werden. In den Zeiten der Schwingungsfähigkeit ist der negative Widerstand so groß, daß eine ungewöhnlich hohe Verstärkung erzielt wird, die den Nachteil des in der anderen Halbperiode vorhandenen positiven Widerstandes überwiegt. Dabei muß beobachtet werden, daß in der positiven Halbperiode die Schwingungen aussetzen.

Da die Gleichrichterwirkung etwa quadratisch mit der Gitterwechselspannung wächst, ist zum Empfang schwacher Energien eine Hochfrequenzverstärkung nötig. Zur Vermeidung von Verzerrungen dürfen die Maximalwerte der Gitterwechselspannung des Gleichrichters einen bestimmten Betrag nicht überschreiten. In der Telephonie ist die Hochfrequenz nur zum kleinen Teil angesteuert. Infolgedessen ist die Niederfrequenzenergie der gleichgerichteten Hoch-

frequenz klein gegenüber der Energie, die im Höchstfalle unverzerrt von der Röhre abgegeben werden kann, so daß man zur Niederfrequenzverstärkung hinter dem Gleichrichter zunächst Röhren desselben Typs verwenden kann. Wenn bei einer Stufenschaltung das verzerrungsfreie Gebiet der Hochfrequenzverstärkerrohren nur zum Teil angesteuert wird, können diese auch noch zur Niederfrequenzverstärkung herangezogen werden (Reflexschaltung).

(1189) Überlagerung. Telegraphierzeichen mit ungedämpften Schwingungen kann man durch einfache Gleichrichtung nicht hörbar machen. Man muß am Empfangsort eine Welle benachbarter Frequenz erzeugen und diese mit der empfangenden Welle zum Schweben bringen (Überlagerungsempfang). Hierzu kann eine besondere Erregerschaltung verwendet werden oder die Empfängeröhre selbst dienen (Schwingaudion). Telegraphierzeichen, die mittels nahe benachbarter Trägerfrequenzen übertragen werden, erzeugen Schwebungen anderer Tonhöhe, so daß sie unter Umständen ohne weiteres von den zu empfangenden unterschieden oder durch geeignete Einstellung der Ortsfrequenz aus dem Hörbereich gebracht werden können. Wenn für den Empfang eine sehr hohe Verstärkung erforderlich ist, wendet man den Zwischenfrequenzempfang an, bei dem hinter der Hochfrequenzverstärkung zunächst eine Schwebung erzeugt wird, deren Frequenz über der Hörbarkeitsgrenze liegt. Nach der Gleichrichtung und weiteren Verstärkung werden durch eine zweite Überlagerung und Gleichrichtung die Zeichen in den Hörbarkeitsbereich gebracht und noch weiter verstärkt.

Literatur: Zu (1174) Emission: Richardson, O. W.: The Emission of Electricity from hot bodies. London 1921. — Dushman, S.: Physical Review 21, 623 bis 636. 1923. — Schottky, W.: Verhandl. d. dtsh. phys. Ges. 21, 529—532. 1919. — Wilson, H. A.: Physical Review 24, 38—48. 1924. — Thoriete Kathoden: Langmuir, I.: Ebenda 22, 357—398. 1923. — Kingdon, K. H.: Ebenda 24, 510—522. 1924. — Oxydkathoden: Arnold, H. D.: Ebenda 16, 70—82. 1920. — Koller, L. R.: Ebenda 25, 252. 1925. — Zu (1175) Langmuir, I.: Ebenda 24, 419—435. 1923. — Ders. und Blodgett, K. B.: Ebenda 22, 347—356. 1923. — Ders.: Ebenda 2, 450—486. 1913. — Physikal. Zeitschr. 15, 348—353, 516—526. 1914. — Schottky, W.: Ebenda 15, 526 bis 528, 624—630. 1914. — Ann. d. Physik 44, 1011—1032. 1914. — Zu (1176) Barkhausen, H.: Elektronenröhren. 2. Aufl. Leipzig 1924. — Moller, H. G.: Die Elektronenröhre und ihre technischen Anwendungen. 2. Aufl. Braunschweig 1922. — Zu (1177): Muhlbrecht: Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. 17, 288. 1921. — v. d. Pohl jr.: Ebenda 25, 121. 1925. — Zu (1178) Hull: Ebenda 14, 47, 157. 1919. — Zu (1180) Schottky, W.: Arch. Elektrot. 8, 1. 1919. — Zu (1181) Schottky, W.: Ebenda 8, 1. 1919. — DRP 293 539, DRP 300 191, DRP 300 617. — Zu (1182) Gleichrichter: Muller. Helios 31, 73. 1925. — ETZ 45, 900. 1924. — Rohrenvoltmeter: Hohage: Helios 25, 193. 1919. — Trautwein: TFT 9, 101. 1920; 10, 69. 1921. — Zu (1183) Schottky, W.: Arch. Elektrot. 8, 1. 1919. DRP 348 392. — Zu (1184) Schrader: Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. 24, 27. 1924. — Barkhausen: Ebenda 21, 198. 1923. — Zu (1185): DRP 305 535. — Zu (1186): DRP 300 143, DRP 304 307. — Lubben: Rohrenempfangsschaltungen. 1925. — Zu (1187): DRP 291 604. — Möller, H. G.: Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. 14, 326. 1919. — Heising: J. Am. Electr. Engs. 39. 1920. — Rukop: Z. techn. Phys. 5, 260. 1924. — Ziehen: Harms: Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. 15, 442. 1920. — Pauli: Ebenda 17, 322. 1921. — Rogowski: Arch. Elektrot. 10, 1. 1922. — Kurze Wellen: Barkhausen u. Kurz: Physikal. Zeitschr. 21, 1. 1920. — Zu (1188) Lubben: Röhrenempfangsschaltungen. 1925. — Reflexschaltung: Brit. Pat. 8821. 1913. — Pendelrückenkopplung: Armstrong: Wireless World 170, 234. 1922. — Zu (1189): DRP 368 937.

Kennlinien der Elektronenröhren.

Röhren ohne Gitter.

(1190) Theoretische Formeln für die Abhängigkeit des Elektronenstromes von der Spannung zwischen Glühdraht und zylindrischer Anode (zylindrisches Problem) lassen sich ableiten für folgende einfache Bedingungen:

Es sei stets der Spannungsabfall und das Magnetfeld des Heizstromes und die Inhomogenität des elektrischen Feldes an den Glühfadenden, sowie die ungleichmäßige Temperaturverteilung des Fadens vernachlässigt.

Falls zwischen Glühdraht und Anode kein Potentialminimum (1175) liegt, gilt für negative Steuerspannungen:

$$i_e = I_s e^{\frac{\epsilon u_{st}}{R_m T}} = I_s e^{\frac{u_{st}}{8,6 \cdot 10^{-5} T}} \quad \dots \quad (1)^1$$

Für Wolframglühdrähte ist $T = 2300$ einzusetzen. Steigert man die Steuer-
spannung um U Volt ins Negative, sinkt der Elektronenstrom auf den

$$e^{-\frac{U}{8,6 \cdot 10^{-5} \cdot 2300}} \approx \left(\frac{1}{150}\right) U\text{-ten Teil.}$$

Bei einem Sättigungsstrom von 10 mA wurde bei 2 V negativer Steuer-
spannung der Elektronenstrom auf etwa $\frac{1}{2} \cdot 10^{-6}$ A abgesunken sein.

Unter Vernachlässigung der Temperaturgeschwindigkeit der Elektronen
(Elektronenaustrittsgeschwindigkeit aus dem Glühdraht ≈ 0) erhält man unter
Berücksichtigung der Raumladung

$$i_e = \frac{1,465 \cdot 10^{-5}}{\beta^2} \cdot \frac{l}{r} \left(\frac{u_{st}}{1+D}\right)^{3/2} \text{ Amp} \quad \dots \quad (2)$$

wobei β vom Verhältnis des Glühdrahtradius zu r abhängt und für dünne Glüh-
drähte praktisch $\beta = 1$ wird.

Bei der Sättigungssteuerspannung U_s wird der Sättigungsstrom I_s erreicht.
Die Charakteristik läuft wagrecht. Wären in diesem Punkte die zur Ableitung
der Raumladungsformel (2) benutzten Annahmen noch gültig, so würde die
Charakteristik mit einem Knick in die horizontale Sättigungsgerade übergehen.

(1191) Abweichungen. Die experimentell aufgenommenen Charakteristiken
liegen bedeutend flacher, als den theoretischen Formeln entspricht. Beide Knicke,
namentlich der obere, sind stark abgerundet. Dies kann einmal an einer fehler-
haften Konstruktion der Röhre liegen [(Inselbildung, Flaueht infolge zu langen
Herausragens des Glühdrahtes aus der Gitterspirale (1176)].

Andererseits liegt es am Spannungsabfall des Heizstromes über den Glühdraht,
am Magnetfelde des Heizstromes und an der ungleichförmigen Temperaturver-
teilung.

(1192) Ungleichmäßige Temperatur im Raumladungsgebiete. Die beiden
ersten Einflüsse lassen sich experimentell ausschalten, wenn man mit dem
Schottkyschen Kontakttring arbeitet (1072). Die Messung der Elektronenströme
erfolgt dann bei abgeschaltetem Heizstrom, also während einer Zeit, in der die
Spannung über dem Glühfaden konstant und kein Magnetfeld vorhanden ist.
Die erhöhte Abrundung des unteren Knickes verschwindet dann, nicht aber die
des oberen. Letztere rührt her von der ungleichmäßigen Temperaturverteilung
auf dem Glühfaden infolge der Wärmeableitung durch den Glühfaden nach den
Haltern des Fadens.

Um den Zusammenhang zwischen der Kennlinienform und der Temperatur-
verteilung quantitativ nachzuweisen, stehen zwei Wege offen.

1. Aus den Gesetzen der Wärmeleitung und Strahlung ist die Differential-
gleichung für die Temperaturverteilung aufzustellen. Sie lautet:

$$\pi r_a^2 k \frac{d^2 T}{dx^2} + 2\pi r_a a (T^4 - T_0^4) = R_s I_h^2$$

Die Temperaturverteilung ist durch Integration zu ermitteln. Dann ist für
jedes Glühdrahteillement von der Länge dx der Elektronenstrom als Funktion der
Steuerspannung u_{st} zu berechnen und schließlich der Gesamtstrom i_e durch
Integration zu finden.

¹⁾ Für das zylindrische Problem gilt, wenn der Anodenradius groß gegen den Glüh-
drahtradius ist. $i = I_s 2 \cdot \sqrt{\frac{n}{\pi}} \cdot e^{-n}$; $n = \frac{\epsilon u_{st}}{R_m T}$, Formel (1) gilt streng nur für das ebene
Problem.

2. Der andere Weg geht von der experimentell aufgenommenen Charakteristik aus und führt über die Ermittlung der Sättigungsstromdichte- und der Temperaturverteilung nach der Richardsonschen Formel (97) zu der Feststellung, daß die gefundene Temperaturverteilung mit der Wärmeleitungsgleichung übereinstimmt.

Während der erste Weg Integrationen erfordert, sind für den experimen-

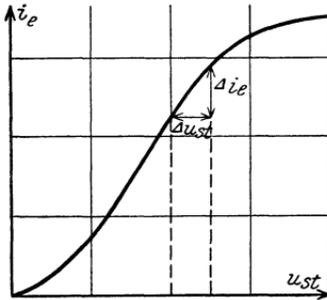


Abb. 705. Charakteristik.

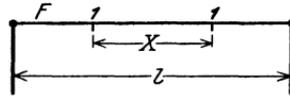


Abb. 706. Temperaturverteilung auf dem Glühfaden F .

tellen nur Differentiationen nötig, die sich jederzeit graphisch leicht ausführen lassen.

Steigert man die Steuerspannung von u_{st} um Δu_{st} , so steigt der Elektronenstrom von i_e um Δi_e (Abb. 705). Wenn der Glühfaden über seine ganze Länge gleich heiß wäre, würde man nach der Langmuirschen Formel (1175) eine Stromsteigerung

$$\Delta i_e' = \frac{22 \cdot 10^{-6} u_{st}^{1/2}}{r \beta^2 (1 + D)^{3/2}} l \Delta u_{st}$$

berechnen. Dabei würde sich der Stromzuwachs $\Delta i_e'$ über die ganze Drahtlänge l verteilen. In Wirklichkeit sind aber die Drahtenden kühl. Außerhalb der Punkte 11' in Abb. 706 ist bei der Steuerspannung u_{st} bereits der Sättigungsstrom erreicht, der wirklich beobachtete Stromzuwachs Δi_e verteilt sich nur über das Stück x . Er beträgt nur

$$\Delta i_e = \frac{22 \cdot 10^{-6} \cdot u_{st}^{1/2} x}{r \beta^2 (1 + D)^{3/2}} \Delta u_{st}$$

Er ist kleiner als $\Delta i_e'$. Δi_e und $\Delta i_e'$ stehen in dem Verhältnis

$$\Delta i_e / \Delta i_e' = x/l$$

Aus dieser Beziehung läßt sich x berechnen:

$$x = \frac{\Delta i_e \beta^2 r \sqrt{1 + D^3}}{\Delta u_{st} \cdot 22 \cdot 10^{-6} \sqrt{u_{st}}}$$

$\Delta i_e / \Delta u_{st}$ ist die experimentell gefundene Steilheit der Charakteristik an der Stelle u_{st} ; $22 \cdot 10^{-6} = 14,65 \cdot \frac{3}{2} \cdot 10^{-6}$ (97).

Die Sättigungsstromdichte (Strom auf 1 cm Glühfadenlänge) ist also außerhalb der Punkte 11' kleiner, innerhalb der Punkte 11' größer als $1,465 \cdot 10^{-5} u_{st}^{3/2} / r \beta^2 (1 + D)^{3/2}$. In den Punkten 11' mit dem Abstände x hat sie gerade den angegebenen Wert. Damit ist die Verteilung der Sättigungsstromdichte längs des Glühdrahtes ermittelt (Abb. 708). Nunmehr ist aus der Richardsonschen Gleichung, am einfachsten ebenfalls graphisch, die Temperaturverteilung zu entnehmen (Abb. 707 u. 708). Schließlich ist zu prüfen, ob die so gefundene Temperaturverteilung den Gesetzen der Wärmeleitung und Strahlung, d. h. der Differentialgleichung

$$r^2 \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + 2\pi r a \alpha T_4 = R_s I_d^2 + 2\pi q \alpha T_0^4 \quad \text{oder} \quad T^4 + \gamma \frac{d^2 T}{dx^2} = \eta$$

genügt. Die Bedeutung der Abkürzungen γ und η geht aus dem Vergleich der beiden Formeln hervor. Zur Durchführung der Prüfung bilden wir die $T(x)^4$ - und die $\frac{d^2 T(x)}{dx^2}$ -Kurve. Soll die gefundene Temperaturverteilung der Wärmeleitungsgleichung genügen, so müssen beide Kurven nach Dehnung der $d^2 T/dx^2$ -Kurve im Verhältnis γ die konstante Summe η haben. Abb. 709 zeigt dies.

Damit ist die obere Krümmung der Kennlinie quantitativ durch die Temperaturverteilung auf dem Faden erklärt. Bemerkte sei noch, daß bei dieser Ableitung zwei vereinfachende Annahmen stillschwei-

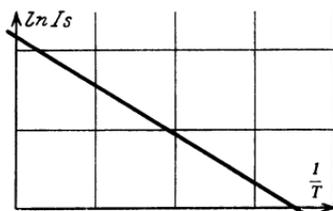


Abb. 707. Richardsonsche Gleichung

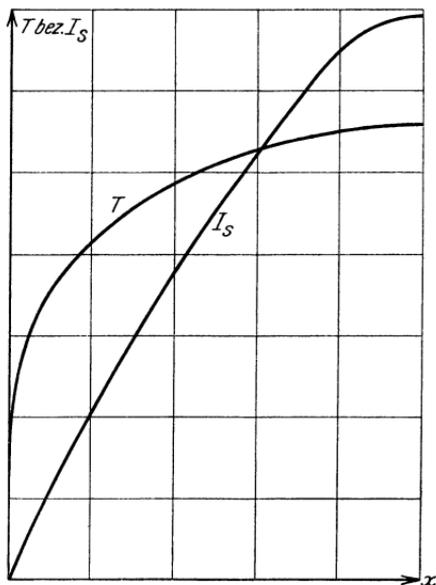


Abb. 708. Verteilung von Temperatur und Sättigungsstromdichte über den Glühdraht.

gend benutzt wurden: die Wärmeentwicklung $R_s I^2$ ist langs des Drahtes konstant oder der Drahtwiderstand von der Temperatur unabhängig. Der obere Knick der theoretischen Kennlinie ist scharf.

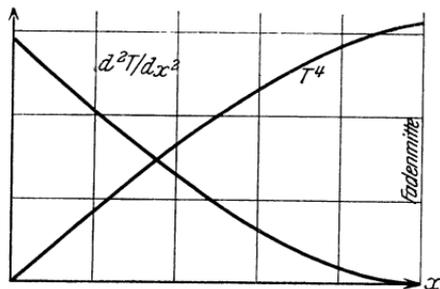


Abb. 709. Temperaturverteilung über den Glühdraht.

(1193) Ungleichmäßige Temperatur im Gebiet negativer Steuerspannungen. Die Temperatur des Drahtes sei durch seine Widerstandserhöhung bestimmt. Da diese ungefähr der Temperatur des Drahtes proportional ist (Proportionalitätsfaktor C_q), erhält man für die mittlere Temperaturerhöhung

$$T_m - T_o = \int_0^l (T - T_o) \frac{dx}{l} = C_q \Delta R$$

Für die Abweichungen ΔT von der mittleren Temperatur T_m (arithmetisches Mittel) gilt

$$\int_0^l \Delta T(x) \frac{dx}{l} = 0$$

Für den Elektronenstrom erhält man dann nach der Richardsonschen Gleichung:

$$I = \frac{A}{l} \int_0^l T^2 e^{-\frac{\varepsilon(\Phi + u_{st})}{R_m T}} dx = \frac{A}{l} \int_0^l (T_m + \Delta T)^2 e^{-\frac{\varepsilon(\Phi + u_{st})}{R_m(T_m + \Delta T)}} dx$$

Entwickelt man nach ΔT und führt die Integration aus, so erhält man schließlich unter Berücksichtigung von

$$\int_0^l \delta T(x) dx = 0$$

$$\frac{d \ln I / I_s}{d u_{st}} = -\frac{\varepsilon}{R_m T} \left(1 - \int \frac{\Delta T(x)^2}{T_m^2} \frac{dx}{l} \left[1 + \frac{\varepsilon(\Phi + u_{st})}{R_m T_m} + \dots \right] \right)$$

Die Formel zeigt, daß die $\ln(I/I_s) = u_{st}$ -Kurve flacher verläuft, als man ohne Berücksichtigung der ungleichmäßigen Temperaturverteilung erhalten würde.

(1194) Einfluß der Heizspannung im Raumladungsgebiet. Über diese Abweichungen bekommen wir den besten Überblick, wenn wir sie für drei Spezialfälle berechnen:

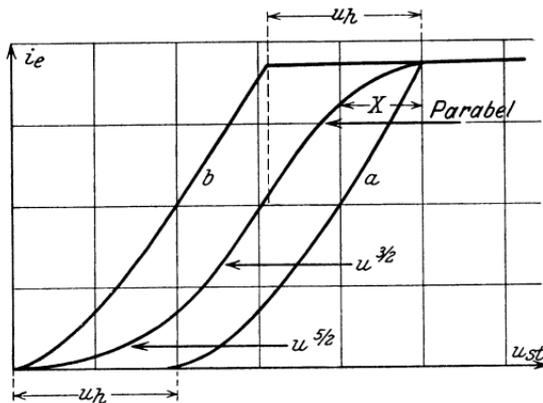


Abb. 710. Einfluß der Heizspannung auf die Form der Charakteristik.

a) Für den oberen Knick für den Fall gleichmäßiger Temperaturverteilung und unter der Annahme scharfgeknickter theoretischer Charakteristiken.

b) Für den unteren Knick bei konstanter Temperatur unter der Annahme des $u_{st}^{3/2}$ -Gesetzes für konstantes Fadenpotential.

c) Für Steuerspannungen, die so stark negativ sind, daß noch kein Potentialminimum (1175) auftritt, ebenfalls für konstante Fadentemperatur.

a) In der Nähe des oberen Knickes sei die Kennlinie durch eine horizontale Gerade (Gebiet der Sättigung) und eine schräge Gerade (Gebiet der Raumladung) mit der Steilheit S dargestellt (Abb. 710), die mit einem scharfen Knick aneinanderstoßen.

Man würde die Charakteristik a erhalten, wenn der ganze Glühdraht die Spannung seines negativen Endes hatte, die Charakteristik b , wenn er die Spannung des positiven Endes hätte. u_h ist also der Spannungsabfall infolge des Heizstromes.

Bezeichnet man die Differenz der eingestellten Steuerspannung u_{st} gegen die Sättigungssteuerspannung U_s mit X , so erhält man bei Berücksichtigung des Heizspannungsabfalles für den oberen Knick die Gleichung:

$$I = I_s \left(1 - \frac{SX^2}{2u_h} \right) \text{ im Gebiete } 0 < X < u_h$$

Dann läuft die Charakteristik in der Mitte zwischen den Kurven *a* und *b* weiter. Sie liegt so, als wenn der ganze Glühdraht gleichmäßig seine mittlere Spannung hätte.

Der Einfluß der Heizspannung zeigt sich also darin, daß der theoretisch zu erwartende scharfe Knick parabolisch abgerundet wird, und zwar hat die Abrundung eine Breite, die der Heizspannung gleicht.

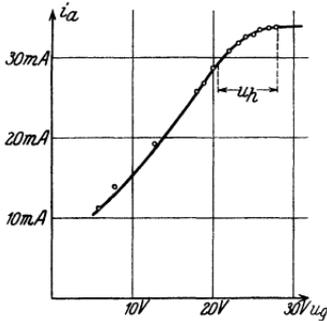


Abb. 711. Oberer Knick der Charakteristik bei einer Senderröhre.

Um dieses Resultat experimentell zu bestätigen, muß man den oberen Knick bei einer Röhre mit langen und infolgedessen gleichmäßig temperierten Fäden und einer hohen Heizspannung, also bei einer Senderröhre aufnehmen. Abb. 711 zeigt den oberen Knick der Charakteristik einer kleinen Senderröhre MS3 von C. H. F. Müller mit einer Heizspannung von 7,5 V.

b) Abrundung des unteren Knickes durch die Heizspannung unter der Annahme, daß bei konstanter Spannung des Glühdrahtes die Charakteristik die Form

$$i_e = \frac{1,465 \cdot 10^{-5} l u_{st}^{3/2}}{\beta^2 r (1+D)^{3/2}}$$

hat. Liegt die Steuerspannung zwischen $-u_h$ und 0, so gilt für die Charakteristik die Formel

$$i_e = \frac{5,86 \cdot 10^{-6} l}{\beta^2 r^2 (1+D)^{5/2} u_h} (u_{st} + u_h)^{5/2}$$

Für positive Steuerspannungen gilt

$$i_e = \frac{5,86 \cdot 10^{-6} l}{\beta^2 r (1+D)^{5/2} u_h} [(u_{st} + u_h)^{5/2} - u_{st}^{5/2}]$$

Beide Formeln geben für $u_{st} = 0$ den gleichen Betrag i_e und den gleichen Differentialquotienten $di_e/d u_{st}$. $5,86 = 1,465 \cdot 2/5$ (97).

Für Steuerspannungen, die groß gegen die Heizspannung u_h sind, gilt bis auf einen Fehler 2. Ordnung:

$$i_e = \frac{14,65 \cdot 10^{-6} l}{\beta^2 r (1+D)^{3/2}} (u_{st} + 1/2 u_h)^{3/2}$$

Es ist also, wie im Falle a, die auf die Fadenmitte bezogene Steuerspannung in die Langmuirsche Formel einzusetzen.

(1195) Einfluß der Heizspannung bei negativen Steuerspannungen. Für stark negative Steuerspannungen (Potentialminimum liegt noch außerhalb des Anodenzylinders) gilt für konstantes Glühelektrodenpotential:

$$i_e = I_s e^{-\frac{\varepsilon u_{st}}{R_m T}}$$

ebenes Problem (ebenes Glühblech gegenüber ebener paralleler Anode),

$$i_e = I_s 2 / \sqrt{\pi} e^{-\frac{\varepsilon u_{st}}{R_m T} \sqrt{\varepsilon u_{st} / R_m T}}$$

zylindrisches Problem (Glühdraht in der Achse einer zylindrischen Anode).

Berücksichtigt man den Spannungsabfall im Faden, so erhält man

$$I = \frac{I_s}{l} \int_0^l e^{-\frac{\varepsilon(u_{st} + u)}{R_m T}} dx \text{ oder, da } dx = \frac{du}{u_h} : I = I_s \frac{1 - e^{-\frac{\varepsilon u_h}{R_m T}}}{\frac{\varepsilon u_h}{R_m T}} e^{-\frac{\varepsilon u_{st}}{R_m T}} \quad 1)$$

und nach dem Logarithmieren

$$\ln I = -\frac{\varepsilon u_{st}}{R_m T} + \text{konst.}$$

Die Steilheit der Geraden im $\ln I - u_{st}$ -Diagramm wird also durch den Spannungsabfall des Heizstromes über den Glühfaden nicht geändert.

Für das zylindrische Problem

$$i_e = I_s \frac{2}{\sqrt{\pi}} e^{-\frac{\varepsilon u_{st}}{R_m T}} \sqrt{\frac{\varepsilon u_{st}}{R_m T}}$$

läßt sich die Integration ebenfalls durchführen, führt aber zu einer sehr verwickelten Formel, die deshalb hier nicht mitgeteilt wird.

(1196) Verlauf des Potentials zwischen Glühdraht und Potentialminimum. Für das ebene Problem ist die Rechnung von Schottky durchgeführt worden. Er gibt die Formel

$$\varphi = \frac{R_m T}{\varepsilon} \ln \left(1 + \operatorname{tg}^2 \sqrt{\frac{2\pi\varepsilon}{R_m T}} \varrho_0 \right)$$

Hierbei ist x die Entfernung von der Ebene des Potentialminimums, ϱ_0 die Elektronendichte im Potentialminimum.

Für das zylindrische Problem ergibt sich:

$$\varphi = \frac{R_m T}{\varepsilon} \left\{ \ln \left[\left(1 - \frac{1}{C} \right) \left[1 + \operatorname{tg}^2 \sqrt{C-1} \frac{(\gamma + \gamma_0)}{2} \right] \right] - \gamma \right\}, \quad \gamma = \ln \frac{r}{r_0},$$

wobei

$$C = \frac{8\pi\varrho_0\varepsilon r_0^2}{R_m T}$$

ist und ϱ_0 die Dichte im Potentialminimumzylinder, r_0 die Entfernung des Potentialminimums von der Glühdrahtachse. γ_0 berechnet sich aus der Gleichung

$$1 - \frac{1}{C} = \cos^2 \sqrt{C-1} \frac{\gamma_0}{2}$$

(1197) Vermeidung des Potentialminimums. Sowie zwischen Glühdraht und Anode ein Potentialminimum auftritt, ist nicht die Anodenspannung, sondern das Minimumpotential zur Berechnung des Elektronenstromes zu benutzen. Wenn man das Anodenpotential einsetzt, würde man statt der Geraden eine nach unten gekrümmte ($\ln I - u_{st}$)-Kurve erhalten. Berechnet man aus ihrer Steilheit die Temperatur

$$T = \frac{\varepsilon d u_{st}}{R_m d \ln I}$$

so findet man zu hohe Werte für die Temperatur.

Um eine richtige Temperaturmessung ausführen zu können, muß man die Raumladung so weit steigern, daß das Potentialminimum aus dem Anodenzylinder herausfällt. Diese Steigerung geschieht durch Erhöhung der Emission

1) Ist $\frac{\varepsilon u_h}{R_m T}$ klein, kann man die Reihenentwicklung für $e^{-\frac{\varepsilon u_h}{R_m T}}$ beim ersten Gliede

abbrechen; die Formel geht wieder in $I = I_s e^{-\frac{\varepsilon u_{st}}{R_m T}}$ über. Diese Bemerkung diene zur Kontrolle der Rechnung.

und Temperatur und durch Herabsetzen des Stromes I , mit dem man arbeitet. Für diesen Strom I lassen sich folgende Grenzen angeben:

a) Falls das Verhältnis des Glühdradradius r_d zum Anodenradius r_a sehr klein ist, gilt für den Maximalelektronenstrom, mit dem man eben noch arbeiten darf, bei dem ein Potentialminimum am Anodenzylinder gerade auftritt,

$$I = \frac{I_s^{1/2} T^{3/4} r_d / r_a^2}{\ln r_d / r_a \cdot C}, \quad \text{wobei } C = \sqrt{2 \pi \epsilon R_m \sqrt{\pi/2} \cdot m / R_m}.$$

b) Ist das Verhältnis r_d / r_a nicht so groß, so gilt

$$I = \frac{\pi^2 T^{3/2}}{\left(\ln \frac{r_o}{r}\right)^2 \cdot r_o^2 C^2}$$

unabhängig von I_s .

Die angegebenen Formeln wurden gewonnen, indem man die Elektronendichte ρ_0 im Potentialminimum durch den Sättigungsstrom ausdrückt und diesen Wert in die Potentialformel (1196) einsetzt, für $r = r_d$ und $r_o = r_a$ setzt.

(1198) Einfluß des Heizstrommagnetfeldes. Die zahlenmäßige Durchrechnung der Elektronenbewegung unter Berücksichtigung des Magnetfeldes und unter Benutzung der sonst auf die $u^{3/2}$ -Kurve führenden Annahmen ergibt für Spiralgitter, daß die $u^{3/2}$ -Kurve angenähert erhalten bleibt. Sie wird im ganzen durch das Magnetfeld des Heizstromes ein wenig nach rechts zu positiven Gitterspannungswerten verschoben. Bei Verstärkerröhren beträgt diese Verschiebung etwa 0,01 V. Erst bei Glühfäden, deren Dicke 1 mm und größer ist, wird nach den Untersuchungen Hulls der Einfluß des Heizstrommagnetfeldes beträchtlich.

Röhren mit Gitter.

(1199) Verteilung des Emissionsstromes auf Anode und Gitter. Um den gesamten Elektronenstrom i_e in einer Röhre mit einem oder mehreren Gittern zu erhalten, berechne man nach Barkhausen die Steuerspannung $u_{st} = (u_g + D u_a) / (1 + D)$, an Stelle des Radius r tritt der Gitterradius. Im übrigen sind die Ergebnisse aus (1190) bis (1194) ohne weiteres anzuwenden.

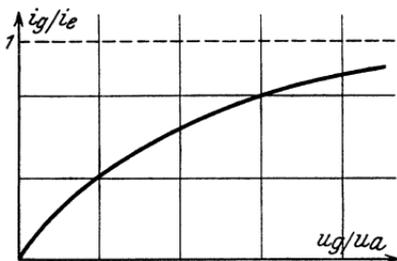


Abb. 712.

Verteilungskurven.

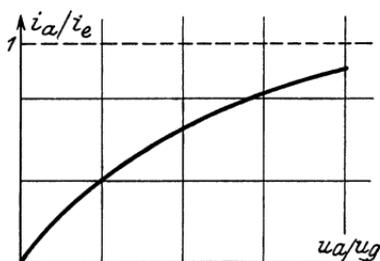


Abb. 713.

Erst wenn es sich darum handelt, den Anoden- und Gitterstrom einzeln zu erhalten, sind neue Überlegungen nötig.

Da sowohl die Bewegungsgleichungen der Elektronen, als auch die Gleichungen für das elektrische Feld linear sind, hängt die Stromverteilung außer von den geometrischen Abmessungen nur vom Verhältnis der Spannungen und nicht von den Spannungswerten einzeln ab. Gestört wird diese einfache Gesetzmäßigkeit durch reflektierte und sekundäre Elektronen, die vom Gitter und der Anode ausgehen.

Berücksichtigt man letztere nicht, so läßt sich die Verteilung entweder durch je eine Kurve im $i_a/i_e = u_a/u_g$ -Diagramm und $i_g/i_e = u_g/u_a$ -Diagramm darstellen (Abb. 712 u. 713). Auch kann man beide Kurven in ein Diagramm mit den Koordinaten $i_g/i_e = 1 - i_a/i_e$ und $u_g/u_{st} = 1 - Du_a/u_{st}$ zusammenfassen (Abb. 714).

Die Gestalt dieser Kurven hängt dann nur noch von den geometrischen Verhältnissen (nicht Einzeldimensionen) der Röhre ab.

Solange man von Sekundärelektronen absieht, ist also die Aufnahme der Kennlinienscharen nicht nötig; man kann das gesamte Verhalten der Röhre durch zwei Kurven: die Charakteristik und Verteilungskurve und die Durchgriffszahl darstellen.

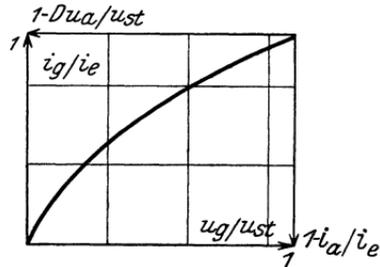


Abb. 714. Verteilungskurve.

(1200) Verteilung des Elektronenstromes bei negativen Gitterspannungen.

Auch bei negativen Gitterspannungen vermögen die Elektronen infolge ihrer Temperaturgeschwindigkeit noch gegen das Gitter zu laufen. Um diese Temperaturgeschwindigkeit zu berücksichtigen, hat man in die Verteilungsfunktion eine Gitterspannung einzusetzen, die nicht von der (als räumlich konstant angenommenen) Spannung des Glühdrahtes, sondern von derjenigen Spannung an zu rechnen ist, die die Elektronen durchlaufen haben müßten, um ihre Temperaturgeschwindigkeit zu erreichen.

Gegen eine Spannung u vermag insgesamt ein Elektronenstrom von der Stärke

$$i_e = I_s e^{-\frac{\epsilon u}{R_m T}}$$

anzulaufen. Steigt die Gegenspannung um du , so sinkt der Elektronenstrom um

$$di = -I_s \frac{\epsilon}{R_m T} e^{-\epsilon u/R_m T} du$$

Die Elektronen dieses Stromanteils di kommen scheinbar von einem Glühdraht mit der Spannung $-u$ her.

Die Verteilungsfunktion steigt für kleine u_g/u_a -Werte linear.

$$i_g/i_e = \alpha u_g/u_a$$

Da $u + u_g$ für u_g zu setzen ist, während man bei dem viel größeren u_a diese Korrektur weglassen kann, erhält man

$$di_g = -I_s \frac{\epsilon}{R_m T} e^{-(u+u_g)} \frac{\epsilon}{R T} du \cdot \alpha \frac{u+u_g}{u_a}$$

$$i_g = -I_s \frac{\epsilon}{R T} e^{-\frac{u_g \epsilon}{R T}} \alpha \cdot \int_0^\infty e^{-\frac{u \epsilon}{R T}} \cdot \frac{(u+u_g) du}{u_a}$$

Die Integration ergibt

$$i_g = \frac{I_s \alpha}{\epsilon u_a / R T} \cdot e^{-\epsilon u_g / R T}$$

Die e-Funktion für die Abnahme des Gitterstromes bei negativen Gitterspannungen wurde durch Messungen von Barkhausen bestätigt. Daß i_g bei gleichem u_g umgekehrt proportional u_a ist, bestätigen folgende Messungen. Der 1. Wert zeigt die beginnende Krümmung der Verteilungskurve.

$$u_g = -0,4 \text{ V.}$$

u_a	i_g		$u_a \cdot i_g$
20 V	6	10 ⁻⁷ A. . .	120 · 10 ⁻⁷
30 „	5	„ . . .	150
40 „	4	„ . . .	160
80 „	2	„ . . .	160
90 „	1,8	„ . . .	160
100 „	1,5	„ . . .	150

(1201) Einfluß der Sekundärelektronen, die von der Anode ausgehen. Ist das Gitter positiver als die Anode, und die Anodenspannung noch hinreichend

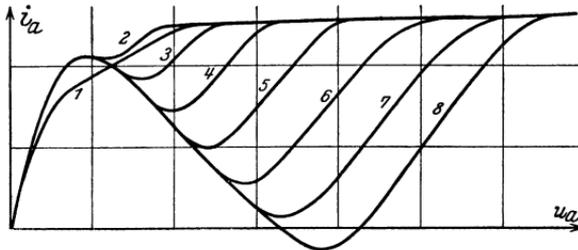


Abb. 715. Anodensekundärelektronen (Dynatron).

hoch, so werden an der Anode Sekundärelektronen (1178) ausgelöst, die zum Gitter zurückfliegen. Dieser Sekundärelektronenstrom ist vom Anodenstrom

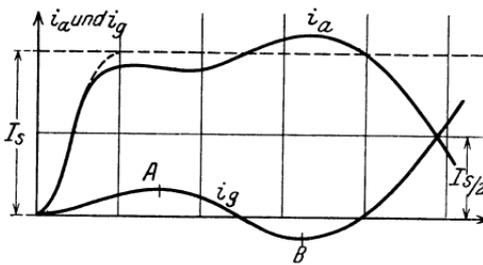


Abb. 716. Gittersekundärelektronen.

Baltruschat 80 V, Länge 600 . . . 800 V.) Es sind Sekundäremissionen bis zu 2 Elektronen je auftreffendes Primärelektron gefunden worden.

Da bei sehr hohen Gitterspannungen der Teil des Elektronenstromes, der zur Anode gelangt und dort sekundäre Elektronen auslösen kann, wieder abnimmt, verringert sich auch die Sekundärstrahlung mit wachsender Gitterspannung wieder. Es gilt daher für ein gegebenes Rohr eine günstigste Gitterspannung. (Vgl. Dynatronkurven Abb. 715.) Die Dynatronwirkung (Sekundäranodenstrahlung) läßt sich steigern, wenn man dünne Gitterdrahte nimmt, um eine günstige Verteilung des Anodenstromes zu erhalten, und die Anode dicht an das Gitter heranrückt, um schrägen Einfall der Elektronen auf das Gitter zu erzielen. Ferner läßt sich die Sekundärstrahlung durch geeignete Wahl eines Anodenmaterials mit geringer Austrittsarbeit (Oxydüberzüge!) steigern.

¹⁾ Lange, H.: Zeitschrift für drahtlose Telegraphie und Telephonie Bd. 26, S. 40.

(1202) Sekundärelektronen, vom Gitter ausgehend. Bei Senderöhren beobachtet man bisweilen Kennlinien von der Form der Abb. 716. Für das Abnehmen des Gitterstromes zwischen den Punkten *A* und *B* sind drei Ursachen möglich.

a) Gasaustritt aus der glühenden Anode.

b) Selbständige Elektronenemission des Gitters infolge hoher Temperatur.

c) Sekundärelektronenemission vom Gitter.

Um die Möglichkeiten a und b auszuschließen, stelle man folgenden Versuch mit dem Apparat Abb. 717 an:

Man lasse den Kontakthebel *Z* rasch umlaufen, so daß in der kurzen Zeit, während deren er den Sektor 1 überstreicht, weder das Gitter merklich abkühlen, noch das aus der Anode herausdiffundierte Gas wieder okkludiert werden kann. Wenn es sich um Fall a oder b handelte, so müßten beide Milliampereometer einen negativen Gitterstrom (wie in Punkt *B*) anzeigen. Handelt es sich hingegen

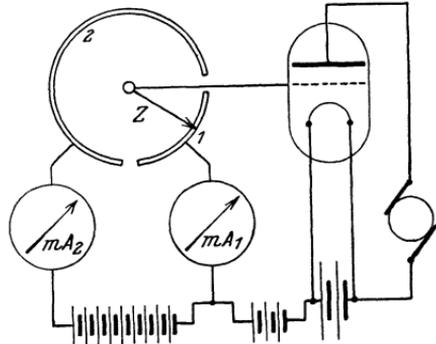


Abb. 717. Apparat zum Nachweis von Gittersekundärelektronen.

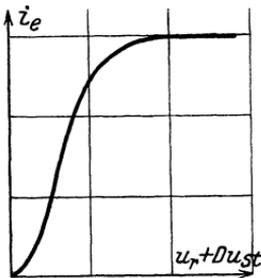


Abb. 718.

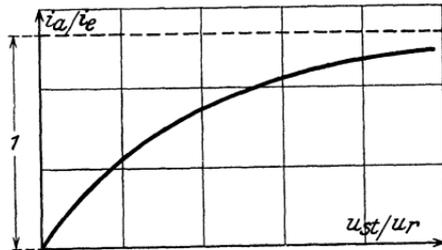


Abb. 719.

Verteilungskurven bei Doppelgitterröhren.

um Sekundärelektronen, so muß das Milliampereometer 1 einen positiven, das Milliampereometer 2 einen negativen Gitterstrom, entsprechend der Abb. 716, anzeigen. Bei gut gepumpten Röhren ist letzteres stets der Fall.

Die Röhren mit fallenden Gitterkennlinien sind für Sendezwecke von großem Werte, da sie geringe Gitterströme und infolgedessen geringe Gitterverluste haben. Auch eignen sie sich besonders zur Herstellung ganz kurzer Wellen von nur wenigen Metern Wellenlänge.

Diese treten mitunter bei der Kennlinienaufnahme unbeabsichtigt auf. Man unterdrücke sie dann mit den in Abb. 621 angedeuteten Dämpfungskreisen *D*.

Bei längerem Gebrauche der Röhren sinkt die Gittersekundäremission meist. H. Lange vermutet eine Veränderung der Gasbeladung der Gitteroberfläche.

(1203) Röhren mit Raumladungsgitter. Da es sich bei Raumladungsgitterröhren meist um Verstärkeröhren handelt, bei denen Sekundärelektronen infolge der niedrigen Spannungen keine Rolle spielen und die mit negativem Steuergitter (Gitterstrom = 0) arbeiten, lassen sich die Verhältnisse an Hand der Charakteristik und der Verteilungskurve leicht übersehen. An die Stelle der Anodenspan-

nung tritt $u_{st} = u_g + Du_a + D''u_r$, an die Stelle der Gitterspannung die Raumladenetzspannung u , und an Stelle der Steuerspannung $u = u_r + D'u_{st}$, wobei D der Durchgriff im gewöhnlichen Sinne, D'

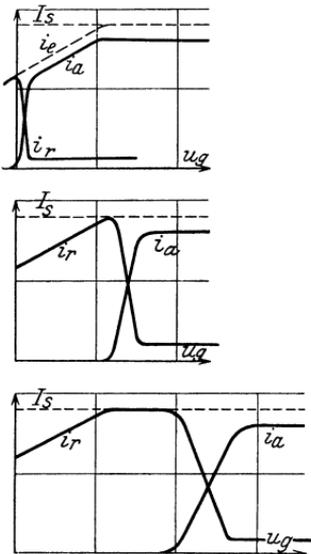


Abb. 720...722. Doppelgitterröhrenkennlinien.

Da man nun in der Lehre vom Wechselstrom nicht von den Momentanströmen, sondern von deren Amplituden spricht, so liegt es nahe, bei Röhrengeneratoren auch nicht die durch die Charakteristik verbundenen Momentanwerte von Elektronenstrom i_e und Steuerspannung u_{st} , sondern deren Amplituden I_{me} und U_{mst} zu betrachten; die Eigenschaften der Röhre lassen sich praktischer nicht durch die statische Charakteristik und die Durchgriffszahl, sondern durch eine Kurve, die den Zusammenhang zwischen I_{me} und U_{mg} gibt, und D in die Rechnung einführen. Die Kurve mit den Amplituden der Steuerspannung U_{mst} und des Elektronenstromes I_{me} wollen wir Schwinglinie nennen.

Einen einfachen Überblick über die Verwendung der Schwinglinien gewähren die Beispiele des fremderregten und des selbsterregten Senders.

a) Der fremderregte Sender:

Gegeben seien die Schwinglinie, die eingeprägte Gitterspannung U_{mg} und der Schwingungskreis (bestehend aus der Selbstinduktion L , dem Widerstande R und der Kapazität C .) Ermittelt soll werden die Amplitude I_{me} des Elektronenstromes. Es sei, der Praxis entsprechend, der Schwingungskreis auf die Frequenz der eingepprägten Gitterspannung abgestimmt. Er setzt dann dem Anodenstrom einen reinen Wirkwiderstand von der Größe L/CR entgegen. Von den Gitterströmen sei zunächst abgesehen.

Die Steuerspannungsamplitude U_{st} setzt sich dann zusammen aus

$$U_{mst} = U_{mg} - DU_{ma}.$$

U_{ma} ist der Spannungsabfall über dem Schwingungskreise

$$U_{ma} = I_{ma} L/CR \quad \text{und} \quad U_{mst} = U_{mg} - I_{ma} DL/CR.$$

der Durchgriff der Steuerspannung u_{st} durch das Raumladungsnetz und D'' der Durchgriff der Raumladungsspannung durch das Steuergitter ist. Aus der Charakteristik Abb. 718 und der Verteilungskurve Abb. 719 sind für kleine, mittlere und hohe Raumladenetzspannungen die Anodenkennlinien konstruiert. Da i_a/i_e nicht von u_{st} , sondern von u_{st}/u_r abhängt, wird der steile Teil der Kennlinien um so steiler, aber auch um so kürzer, je kleiner u_r ist (Abb. 720 bis 722). Einen analogen Einfluß auf Steilheit und Breite der Kennlinie hat auch die Anodenspannung.

Bei Raumladungsrohren ist besonderer Wert auf zylindrische Anordnung und geringe Heizspannung zu legen.

Schwingungsgeneratoren.

(1204) Die Schwinglinie. In allen Anordnungen, gleichgültig ob Gleichrichter, Verstärker oder Röhrengenerator, ist die Funktion der Röhre immer die gleiche. Sie hat nichts weiter zu tun, als einen von der Anoden- und Gitterspannung abhängigen Anodenstrom durchzulassen, der dann in der verschiedenartigsten Weise in den angeschalteten Apparaten zur Verstärkung, Wechselstromerzeugung usw. benutzt wird.

Nach diesen Bemerkungen ergibt sich folgende Konstruktion der Amplitude U_{ma} im Schwingliniendiagramm (Abb. 723): Wenn die Maßstäbe des Diagramms i A/cm und e V/cm sind, so entspricht eine Gerade von 45° Neigung ($\text{tg } \zeta = 1$) einem Widerstand von $\nu = e/i$ Ohm. ζ ist also so zu wählen, daß

$$\nu \text{ tg } \zeta = D L / C R.$$

Um I_{me} zu konstruieren, trage man das gegebene U_{mg} als Abszisse auf, errichte im Endpunkt von U_{mg} eine Gerade unter dem Winkel ζ . Die Ordinate I_{me1} des Schnittpunktes S ist dann die gesuchte Anodenstromamplitude.

Nummehr sind Schwingungskreisstrom, Anodenspannung, Leistung usw. nach den normalen Wechselstromgesetzen zu berechnen.

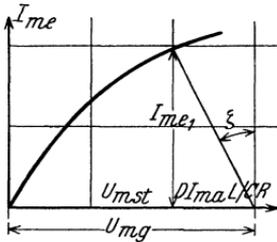


Abb. 723. Fremderregter Sender.

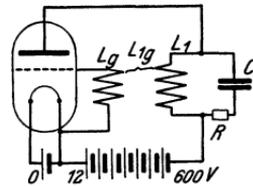


Abb. 724. Röhrensender (Meißnerschaltung).

(1205) Schwingungsamplituden rückgekoppelter Generatoren. Phasen- und Amplitudenbilanz. Rückkopplungsgerade. Beim rückgekoppelten Generator (Abb. 724) erzeugt die Gitterspannung den Anodenstrom, dieser den Strom im Schwingungskreis und dieser wieder über die Rückkopplung die Gitterwechselspannung. Soll eine ungedämpfte oder kontinuierliche Schwingung zustande kommen, so muß einmal die über die Rückkopplung erregte Gitterspannung U'_{mg} dieselbe Amplitude wie die ursprüngliche U_{mg} haben (Amplitudenbilanz) und andererseits dieselbe Phase (Phasenbilanz).

Der Zusammenhang zwischen dem Anodenstrom und der erregten Gitterspannung U'_{mg} ist aber ein linearer. Im Schwingliniendiagramm ist er durch eine Gerade darzustellen. Wir wollen diese Gerade als „Rückkopplungsgerade“ bezeichnen.

Aus der Amplitudenbilanz gibt der Schnittpunkt der Rückkopplungsgeraden mit der Schwinglinie die sich einstellenden Amplituden U_{mst1} und I_{ma1} (Abb. 725) an. Wäre der Anodenstrom kleiner, z. B. I_{me2} , so wäre die Steuer-spannung U_{mst2} , diese aber würde, wie die Schwinglinie angibt, nicht wieder I_{me2} , sondern das größere I_{me3} anregen. Die Schwingung würde sich aufschaukeln. Wir erkennen hier bereits, daß wir auch die Aufschaukelgeschwindigkeit aus dem Schwingliniendiagramm werden entnehmen können, da diese in einem bestimmten Zusammenhang mit der Differenz $I_{me3} - I_{me2}$ stehen muß (1209).

Um die Konstruktion wirklich ausführen zu können, ist es nur noch nötig, den Winkel α der Rückkopplungsgeraden zu berechnen.

$$\nu \text{ tg } \alpha = U_{mst} / I_{me}; \quad U_{mst} = U_{mg} - D U_{ma}$$

(ν ist wieder das Verhältnis der Maßstäbe).

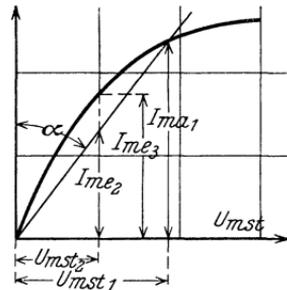


Abb. 725. Selbsterregter Sender.

[—Zeichen, da die Anodenspannung sinken muß, wenn U_{mst} und mit ihr der Anodenstrom steigt, falls der Schwingungskreis Energie aus der Röhre und Anodenbatterie aufnehmen soll].

Man berechnet DU_{ma} und U_{ma} wieder nach der bereits benutzten Beziehung $U_{ma} = I_{ma}L/CR$.

Da sowohl U_{mg} wie auch U_{ma} von demselben Schwingungskreisstrom I_m induktiv erregt werden, ergibt sich:

$$U_{mg} = i\omega L_{1g} I_m; U_{ma} = i\omega L I_m; U_{mg} = L_{1g}/L \cdot U_{ma} = L_{1g}/CR \cdot I_{ma}.$$

Also

$$U_{mst} = (L_{1g} - DL)/CR \cdot I_{ma}.$$

Der Faktor

$$\frac{L_{1g} - DL}{CR}$$

sei mit Rückkopplungsfaktor (RKF) bezeichnet. Wir erhalten also

$$\nu \operatorname{tg} \alpha = \frac{L_{1g} - DL}{CR} \cdot 1).$$

Ebenso einfach ist der gemischt erregte Generator (z. B. Schwingaudionempfänger) mit Hilfe des Schwingliniendiagramms zu behandeln.

In dem praktisch meist vorkommenden Fall, daß das Schwingaudion auf die zu empfangende Welle abgestimmt ist, liegt die durch die Empfangsantenne dem Gitterkreis zugeführte Fernerregung ΔU_{mg} in Phase mit der durch die Rückkopplungsspule erregten Gitterspannung und ist dieser einfach algebraisch zu addieren. Die Steuerspannung ist dann

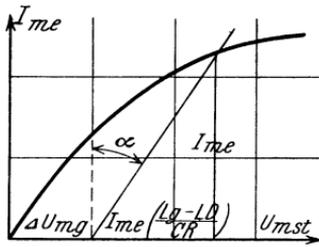


Abb. 726. Gemischterregter Sender (Empfänger).

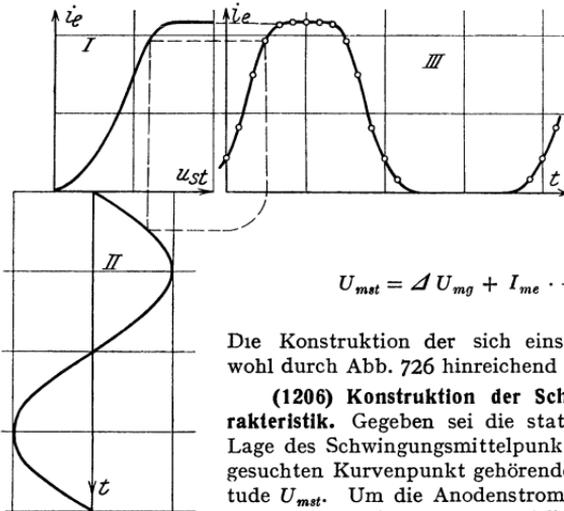


Abb. 727. Graphische Konstruktion der Schwinglinie.

$$U_{mst} = \Delta U_{mg} + I_{me} \cdot \frac{L_{1g} - DL}{CR}.$$

Die Konstruktion der sich einstellenden Amplitude ist wohl durch Abb. 726 hinreichend erläutert.

(1206) Konstruktion der Schwinglinie aus der Charakteristik. Gegeben sei die statische Charakteristik, die Lage des Schwingungsmittelpunktes (U_{st}) und die zu dem gesuchten Kurvenpunkt gehörende Steuerspannungsamplitude U_{mst} . Um die Anodenstromamplitude $I_{ma} = I_{me}$ zu finden, konstruiert man den zeitlichen Verlauf des Anodenstromes punktweise (Abb. 727). Unter der Charakteristik (I) ist die mit der Zeit sinusförmig verlaufende Steuerspannung (II, Zeitachse [t] senkrecht nach unten) aufgezeichnet; dann wird durch Projektion aus I und II der zeitliche Verlauf des Anodenstromes (III) konstruiert. Schließlich ist durch harmonische Analyse

1) Hierin sind L und L_{1g} in Henry, C in Farad, R in Ohm auszudrücken, der RKF hat die Dimension des Ohm, das Maßstabsverhältnis die Dimension des Siemens. Im folgenden wird das Maßstabsverhältnis der Zahl nach immer zu 1 angenommen.

Kurve III in Grund- und Oberschwingungen zu zerlegen; die Amplitude der Grundschwingung ist das gesuchte I_{me} .

Auf diese Weise kann die Schwinglinie punktweise konstruiert werden. In praxi wird man diese zwar gedanklich einfache, aber mühsame Konstruktion nicht durchführen, sondern die Schwinglinie experimentell aufnehmen (1084).

(1207) Konstruktion der Schwinglinienschar. Um die Konstruktion der Schwinglinie nach (1206) durchzuführen, muß die Lage des Schwingungsmittelpunktes (Steuervorspannung U_{st}) und die Charakteristik der Röhre, die ihrerseits wieder von der Heizung abhängig ist, gegeben sein. Das gesamte Verhalten der Röhre würde also durch eine Schwinglinienschar mit den Parametern U_{st} und I_s darstellbar sein.

Die Charakteristiken für verschiedene Heizungen lassen sich wenigstens angenähert in ein Diagramm zusammenfassen, wenn man — ähnlich wie bei der Theorie der korrespondierenden Zustände in der Thermodynamik — als Spannungseinheit die Sättigungssteuerspannung, als Stromeinheit den Sättigungsstrom wählt, also als Koordinaten u_{st}/U_s und i_a/I_s aufträgt. Für das qualitative Aufzeichnen

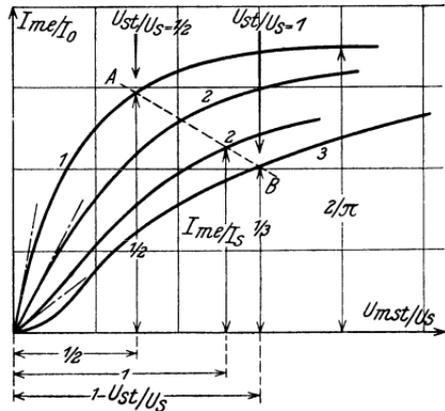


Abb. 728. Schwinglinienschar.

des alle Heizungen umfassenden, nur noch den Parameter U_{st} enthaltenden Schwingliniendiagrammes (Abb. 728) kommen folgende Regeln in Betracht:

a) Die Anfangsteilheit der Schwinglinie gleicht der Teilheit der Charakteristik im Schwingungsmittelpunkt.

b) Ist die Steuervorspannung $U_{st} = U_s/2$ und die Steuerspannungsamplitude $U_{mst} = U_s/2$, so ist die Amplitude des Elektronenstromes ungefähr gleich $I_s/2$. Kurve 1, Abb. 729.

Ist die Steuervorspannung $U_{st} = 0$ und die Amplitude $U_{mst} = U_s$, so ist die Amplitude $I_{me} = I_s/3$. Kurve 3, Abb. 729. Die mit der Maximalsteilheit der Charakteristik beginnende Schwinglinie geht also durch den Punkt $I_{me}/I_s = 1/2$; $U_{mst}/U_s = 1/2$, die mit der Steilheit Null beginnende durch den Punkt $I_{me}/I_s = 1/3$; $U_{mst}/U_s = 1$.

c) Mit wachsender Steuerspannung strebt I_{me}/I_s dem Werte $2/\pi$ zu. (Dieser Wert würde für einen rechteckigen zeitlichen Verlauf des Anodenstromes erreicht.)

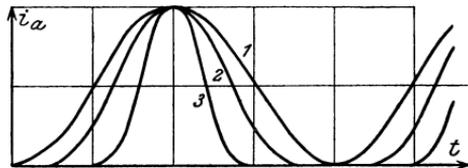


Abb. 729. Anodenstrom-Zeitkurven bei verschiedener Steuervorspannung.

Nach diesen Regeln kann man zunächst die beiden Schwinglinien 1 und 3 zeichnen. Von den dazwischen liegenden kennt man nur die Anfangsteilheit, ihren Schnittpunkt mit AB und ihre Asymptote; dieses genügt aber auch, um sie qualitativ richtig zwischen Linie 1 und 3 einzufügen.

(1208) Der Schwingungseinsatz; Folgen, Reißen und Springen (Rukop). Wenn man die Rückkopplung eines Röhrengenerators allmählich festigt, so beobachtet man, daß unter gewissen Bedingungen die Schwingungen stetig einsetzen und mit dem Festerwerden der Rückkopplung stetig wachsen. Die Schwingung „folgt“. Unter andern Bedingungen „springt“ die Anodenstromamplitude

bei einer bestimmten Rückkopplung sofort auf einen endlichen Wert. Ebenso kann beim Lockern der Rückkopplung die Schwingungsamplitude „folgen“ oder „reißen“. Diese Erscheinungen sind von Rukop eingehend untersucht und in zahlreichen „Reißdiagrammen“ dargestellt worden.

Aus dem Schwingliniendiagramm ist leicht ersichtlich, wann „Reißen, Springen und Folgen“ eintreten, wie Abb. 730 u. 731 zeigen.

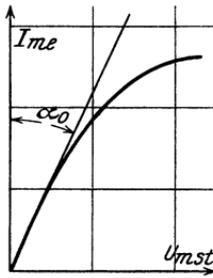


Abb. 730. Weicher Schwingungseinsatz

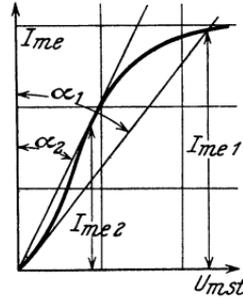


Abb. 731. Harter Schwingungseinsatz

Arbeitet man mit stark positiver Steuervorspannung (Abb. 730), so werden die Schwingungen mit ganz kleiner Amplitude einsetzen, sobald der RKF (Rückkopplungsfaktor) den Wert $\text{tg } \alpha_0$ (Grenzurückkopplung) erreicht. Bei weiterer Festigung der Rückkopplung folgt die Amplitude. Arbeitet man hingegen mit negativer Gittervorspannung (kleiner Steuervorspannung, Abb. 731), so springen die Schwingungen bis zur Amplitude I_{m1} an, sobald der RKF den Wert $\text{tg } \alpha_0$ erreicht hat. Bei weiterer Steigerung des RKF folgt dann die Amplitude. Bei einer Lockerung des RKF folgt die Amplitude bis zum Werte RKF = $\text{tg } \alpha_1$ und $I_{me} = I_{m2}$, dann „reißt“ die Schwingung ab.

Schmale Reißgebiete bei mittleren Schwingungsamplituden werden nach Verfeinerung der Theorie durch Berücksichtigung der Gitterströme besprochen werden (1213).

(1209) Aufschaukelgeschwindigkeit. Für eine anlaufende Schwingung von der Form $i = I_0 e^{(\beta + i\omega)t}$ berechnet sich der RKF zu

$$\text{RKF} = \frac{L_{1g} - DL}{CR \left(1 + \frac{\beta}{d}\right)} = \text{tg } \alpha$$

Hierbei ist $d = \frac{R}{2L}$ die Dämpfung der Schwingungskreise; $\beta \ll \omega$. In Abb. 732 und 733 sind die momentane Schwingungsamplitude mit dem RKF $\text{tg } \alpha$ und die stationäre Amplitude I_{m0} mit dem RKF für kontinuierliche Schwingungen $\text{tg } \alpha_0$ eingetragen.

$\text{tg } \alpha_0$ berechnet sich (1205) zu

$$\text{tg } \alpha_0 = \frac{L_{1g} - DL}{CR}$$

Wir erhalten also:

$$\frac{\text{tg } \alpha_1}{\text{tg } \alpha_0} = \frac{1}{1 + \beta/d}; \quad \beta = \frac{d \ln I_{me}}{dt} = d \frac{\text{tg } \alpha_0 - \text{tg } \alpha_1}{\text{tg } \alpha_0}$$

Greift man für verschiedene I -Werte $\text{tg } \alpha_1$ aus dem Schwingliniendiagramm ab, so erhält man β als Funktion von I_m (Abb. 732)

$$\beta = f(I_m)$$

und schließlich die Aufschaukelzeit durch Integration

$$t = \int_{I_{ma}}^{I_1} \frac{dI_m}{I_m \cdot f(I/m)}$$

die graphisch leicht ausgeführt werden kann.

Je kleiner I_{ma} ist, um so länger ist die Anlaufzeit. Für $I_{ma} = 0$ wird sie theoretisch unendlich lang. Daher sind für Schnelltelegraphie kräftige Anstöße

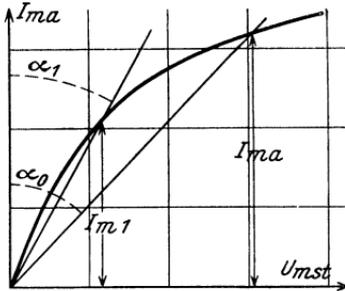


Abb. 732.

Ermittlung der Aufschaukelgeschwindigkeit eines Röhrensenders

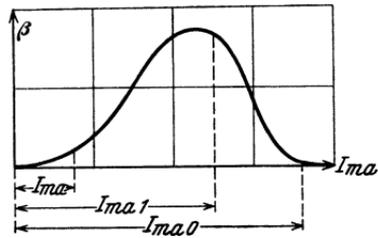


Abb. 733.

des Senders durch Anodentastung oder Tastung mit starker Änderung der Gittervorspannung wichtig.

(1210) Amplitudenmodulierung der Rundfunksender. Die Steuerröhre R_I (Abb. 734) stellt einen veränderlichen Widerstand sowohl für den Gittergleich-

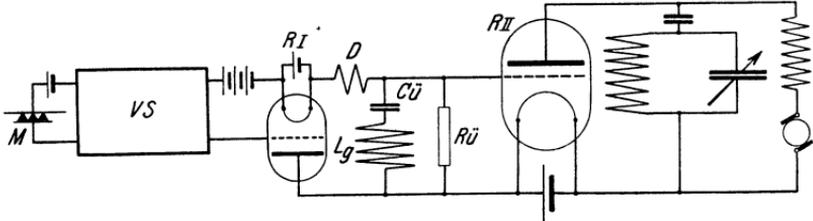


Abb. 734. Schaltung der Rundfunksender.

strom als auch für den Gitterwechselstrom dar. Die Steuerung ist also eine doppelte. Einmal wird durch Veränderung des Gitterwiderstandes der RKF geändert, andererseits wird die Steuervorspannung geändert und damit die Form der Schwinglinie.

a) Veränderung des RKF. Im Gitterkreise liegt der induktive Widerstand ωL_g und die drei parallelgeschalteten Widerstände: R_g (Widerstand der Senderröhre R_{II}), $R_{\bar{u}}$ und der Widerstand der Steuerröhre. Die Gitterspannung gleicht also nicht der in der Rückkopplungsspule induzierten Spannung, sondern beträgt wie in (1215)

$$U_{mg} = I_{ma} L_{1g} / CR (1 + i \omega L_g / R_g).$$

Da R_g der kleinste der drei Parallelwiderstände ist, seien $R_{\bar{u}}$ und der Steuerröhrenwiderstand vernachlässigt. Hiernach berechnet sich der RKF zu

$$RKF = (L_{1g} - DL) / CR (1 + i \omega L_g / R_g).$$

Da der Gitterwiderstand R mit zunehmender Gitterstromamplitude sinkt, so sinkt auch der RKF mit der Amplitude.

b) Veränderung der Vorspannung. Die Gitterwechselspannung treibt durch die Steuerröhre einen gleichgerichteten Strom. Dieser lädt den Kondensator C_u und fließt über den Silitwiderstand ab. Der hierdurch entstehende Gleichspannungsabfall bildet die Steuervorspannung. Die negative Steuervorspannung steigt also, wenn α) die Schwingungsamplitude groß ist, oder β) wenn das Gitter der Senderöhre positiv ist.

Hiernach arbeitet die Steuerung folgendermaßen (vgl. Abb. 735):

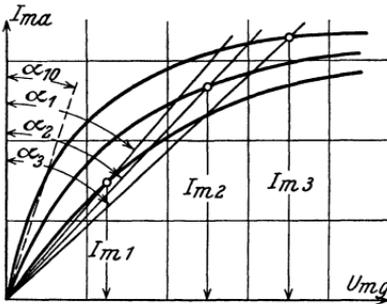


Abb. 735. Modulation der Rundfunksender.

Die Schwingungsamplitude I_{m2} habe sich eingestellt. Nun werde das Gitter der Steuerröhre negativ geladen. Der Gleichrichterstrom in der Steuerröhre wird hierdurch unterbrochen, das Gitter der Senderöhre lädt sich rasch negativ, die Schwinglinie 3 stellt sich ein. Die Amplitude nimmt sehr rasch ab. Die Schwingungen würden ganz erlöschen, wenn nicht durch die Abnahme der Amplitude und des mittleren Gitterwiderstandes der RKF stiege, also eine Gegensteuerung stattfände.

Durch diese Gegensteuerung, die erst nach Eintritt der neuen Amplitude stattfindet, ist es möglich, durch starkes Steuern die Senderamplitude zu zwingen, den Schwankungen der Gitterspannung sehr rasch zu folgen, ohne daß eine Übersteuerung (Aussetzen der Schwingungen) zu befürchten ist.

(1211) Leistungslinien. Wirkungsgrad. Aus der Anodenstromamplitude I_{me} berechnet sich die von der Röhre an den Schwingungskreis abgegebene Leistung zu

$$N_2 = \frac{I_{me}^2}{2} \cdot \frac{L}{CR}.$$

Die aufgenommene Leistung ist aus dem mittleren Anodenstrom zu berechnen. Diesen könnte man durch graphische Mittelwertbildung aus den $i_e = t$ -Kurven (Abb. 727) entnehmen oder messen. Die mittleren Gleichströme oder besser den Quotienten $(I_e)/I_s$ trage man als Ordinaten in ein zweites Diagramm, das als Abszissen ebenfalls U_{mst}/U_s und als Parameter U_{st}/U_s enthält, ein. Um die von der Röhre aus der Gleichstromquelle aufgenommene Leistung zu berechnen, ist aus diesem Diagramm (I_e) zu entnehmen und mit der Betriebsspannung U_a zu multiplizieren. $N_1 = (I_e) U_a$. Hieraus ergibt sich der Wirkungsgrad zu $\eta = N_2/N_1$.

(1212) Zusammenfassung. Solange man auf die Gitterströme keine Rücksicht nimmt, lassen sich alle Fragen auf dem Gebiete der Röhrengeneratoren durch einfache Konstruktionen in einer einzigen für die Röhre charakteristischen Kurvenschar, dem Schwingliniendiagramm, lösen. Wünscht man auch die aufgenommenen Leistungen und Wirkungsgrade zu berechnen, braucht man als zweites Diagramm die Leistungslinien nach (1211).

(1213) Berücksichtigung der Gitterströme. Positive Gitterströme bedeuten immer einen Energieverlust. Man wird sie daher beim praktischen Betriebe der Röhren klein halten und zumeist mit einer Theorie, die die Gitterströme vernachlässigt, auskommen. Da aber für einige Erscheinungen die Gitterströme wesentlich sind, sei die Methode der Berücksichtigung der Gitterströme kurz angedeutet.

Analog zu den Schwinglinien konstruiere man ein Gitterschwingliniendiagramm, indem man als Abszisse die Gitterspannungsamplitude und als Ordinate

die Gitterstromamplitude aufträgt. Auch hier wird man wieder die reduzierten Koordinaten vorteilhaft verwenden.

Der Anodenstrom i_a ist jederzeit gleich $i_e - i_g$, also ist, Gleichphasigkeit vorausgesetzt, auch die Anodenstromamplitude $I_{ma} = I_{me} - I_{mg}$.

Um I_{ma} , das den Schwingungskreis antreibt, zu erhalten, muß man I_{mg} von I_{me} , die Gitterschwinglinie von der Schwinglinie, abziehen; hierfür müssen die Gitterschwinglinien auf den gleichen Maßstab gebracht werden. Für die einfache Meißnerschaltung Abb. 724 würde dies durch Verkürzen des Abszissenmaßstabes der Gitterschwinglinie im Verhältnis

$$\frac{U_{mst}}{U_{mg}} = \frac{L_{1g} - DL}{L_{1g}} = 1 - DL/L_{1g}$$

zu geschehen haben.

In Abb. 736 sind Schwinglinie 1, Gitterschwinglinie 2 und Anodenschwinglinie 3 eingetragen¹⁾.

Die Amplitude des rückgekoppelten Senders findet man wieder durch Konstruktion des Schnittpunktes der Anodenschwinglinie mit der Rückkopplungs-

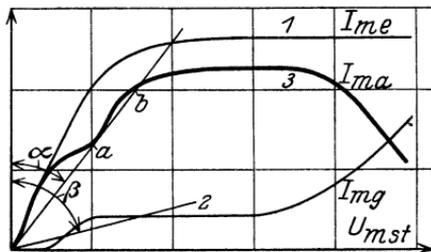


Abb. 736. Gitterschwinglinie.

geraden. Abb. 736 zeigt zwei für den Einfluß der Gitterströme charakteristische Erscheinungen.

1. Bei sehr fester Rückkopplung nimmt die Schwingungsamplitude wieder ab.
2. Bei mittlerer Schwingungsamplitude können durch die Gitterströme die von Rukop gefundenen Reißgebiete verursacht werden.

(1214) Diagramm der Gitterschwinglinien. Als Parameter für die Gitterschwinglinien kommen die Betriebsspannung U_{ma}/U_s , die Anodenspannungsamplitude und u. U. noch eine besonders angebrachte Gittervorspannung U_g/U_s in Frage. Letztere spielt normalerweise keine wesentliche Rolle. Nun hängt die Amplitude der Gitterschwinglinie im wesentlichen von der Größe des Gitterstromes in der Mitte der ersten Halperiode ($\alpha = \omega t = 90^\circ$) ab, während die Werte am Anfang und am Ende der Halperiode ($\alpha = 0$ und $\alpha = 180^\circ$) von geringem Einfluß sind. — Es folgt dies aus der Formel für die Berechnung des ersten Fourier-Koeffizienten

$$A_1 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\alpha) \sin \alpha \, d\alpha$$

und aus dem Umstand, daß bei $\alpha = 0$ und 180° außerdem der Gitterstrom klein ist. Es kommt also nicht auf U_a und U_{ma} einzeln, sondern wesentlich auf $U_a - U_{ma}$, die Anodenspannung in der Mitte der ersten Halperiode an. Wir können also $(U_a - U_{ma})/U_s$ als Parameter wählen und damit auch die Gitterschwinglinien in ein einziges Diagramm zusammenfassen. Abb. 737 zeigt ein

¹⁾ Haben Emissions- und Gitterstrom eine Phasenverschiebung φ , so ist die Anodenstromamplitude: $I_{ma} = I_{me} - I_{mg} \cos \varphi$.

solches Gitterschwingliniendiagramm. Die Diagramme 738 und 739 kennzeichnen also das gesamte Verhalten der Röhre.

(1215) Phasenverschiebung durch die Gitterströme und daraus folgende Frequenzänderung. Bei Rückkopplungsspulen mit hoher Selbstinduktivität ergibt der induktive Spannungsabfall in der Gitterspule eine Phasenverschiebung zwischen U_{mg} und U_{ma} und somit auch zwischen U_{mst} und U_{mg} . Diese Phasenverschiebung bedingt nach dem Prinzip der Phasenbilanz eine Abweichung der Sendefrequenz $\Delta\omega$ von der Resonanzfrequenz ω_0 des Arbeitskreises. In diesem Falle ist zunächst ohne Berücksichtigung der Gitterschwinglinie wie in (1205) die Amplitude zu ermitteln, dann die Gitterschwinglinie einzuzichnen und der Gitterwiderstand $R_g = \operatorname{tg} \beta = U_{mg}/I_{mg}$ (Abb. 736) abzugreifen. Nunmehr kann

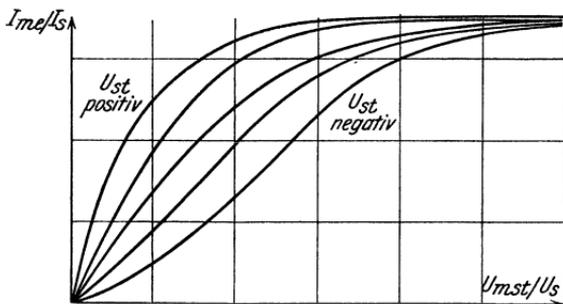


Abb. 737.

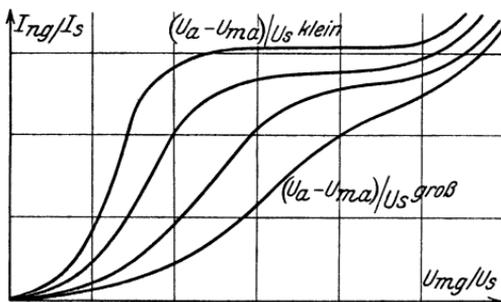


Abb. 738.

Abb. 737 u. 738. Schwinglinien und Gitterschwinglinien mit reduzierten Koordinaten.

der RKF genauer berechnet werden. Einfache Formeln erhält man bei sehr kleinem Durchgriff. Die in der Rückkopplungsspule induzierte Spannung ist dann $U'_{mg} = I_{ma} L_{1g} / CR$, der auf das Gitter entfallende Anteil ist

$$U'_{mg} \frac{R_g}{i\omega L_g + R_g}.$$

Also ist die Gitterspannung

$$U_{mg} = I_{ma} \frac{L_{1g}}{CR \left(1 + \frac{i\omega L_g}{R_g} \right)}.$$

Hierin bedeutet R_g den mittleren Widerstand der Elektronenstrecke Glühdraht-Gitter. Da außerdem der Schwingungskreis nicht mehr in der Resonanzfre-

quenz ω_0 schwingt, sondern in einer um $\mathcal{A}\omega$ abweichenden, so berechnet sich der Widerstand

$$\Re = \frac{(i\omega L + R) \frac{1}{i\omega C}}{i\omega L + R + \frac{1}{i\omega C}},$$

des Schwingungskreises unter den üblichen Vernachlässigungen nicht zu $\Re = L/CR$, sondern zu

$$\Re = \frac{L}{CR} \left(1 + \frac{i\mathcal{A}\omega}{d}\right)^2,$$

so daß man für den RKF schließlich

$$\text{RKF} = \frac{I_{ma} L_{1g}}{CR} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{i\omega L_g}{R_g}\right) \left(1 + \frac{i\mathcal{A}\omega}{d}\right)}$$

erhält.

Das Prinzip der Phasenbildung erfordert nun aber Phasengleichheit zwischen I_{ma} und U_{mst} , da auch die Röhre einen zu U_{mst} in Phase liegenden Anodenstrom I_{ma} liefert. — Von den geringfügigen Phasenverschiebungen zwischen I_{me} und I_{ma} sei abgesehen. — Sollen aber zwei Schwingungen phasengleich sein, so muß das Verhältnis ihrer komplexen Amplituden reell sein. Hieraus folgt, daß der imaginäre Teil des Nenners

$$\frac{i\omega L_g}{R_g} + \frac{\mathcal{A}\omega}{d} = 0 \quad \text{oder} \quad \mathcal{A}\omega = -\omega d \frac{L_g}{R_g}$$

sein muß.

Zahlenbeispiel:

1. Hochfrequenzgenerator: $R = 0,2 \Omega$. $L = 10^{-5}$ H, $L_g = 10^{-5}$ H.
 $R_g = 1000 \Omega$; $d = 10^4$; Die Verstimmung beträgt

$$\frac{\mathcal{A}\omega}{\omega} = \frac{10^4 \cdot 10^{-5}}{10^3} = 10^{-4}.$$

2. Tongenerator: $R = 2000 \Omega$. $L = 10$ H; $L_g = 10$ H, $R_g = 1000 \Omega$.

$$d = \frac{2000}{2 \cdot 10} = 100. \quad \frac{\mathcal{A}\omega}{\omega} = \frac{100 \cdot 10}{1000} = 1.$$

Die Verstimmung ist hier ungefähr eine Oktave. Experimentell läßt sich diese starke Tonänderung am einfachsten durch Erhöhung des Heizstromes zeigen.

Die Gleichrichtung.

(1216) Gleichrichterschaltungen. Das Hohagesche Röhrenvoltmeter (1056, 1082). Legt man die Wechselspannung zwischen Kathode und Anode — wobei man das Gitter als Raumladungszerstreuungsgitter benutzen kann —, so arbeitet die Röhre als Hohagesches Röhrenvoltmeter.

Legt man die Wechselspannung zwischen Kathode und Gitter, in den Anodenkreis eine Anodenbatterie, und gibt man dem Gitter eine solche negative Vorspannung, daß man im unteren Knick der Anodenkennlinie arbeitet, so wirkt

1) Im Resonanzfall ist der Nenner $i\omega_0 L + R + \frac{1}{i\omega_0 C} = R$, da sich kapazitiver und induktiver Widerstand aufheben. Für die Frequenz $\omega = \omega_0 + \mathcal{A}\omega$ ist $i\omega L + \frac{1}{i\omega C} = i\omega L \left(1 - \frac{\omega_0^2}{\omega^2}\right) \approx \frac{i\omega L}{\omega_0^2} 2\omega \mathcal{A}\omega = 2iL\mathcal{A}\omega$ und der Nenner $N = R \left(1 + i\mathcal{A}\omega \frac{2L}{R}\right) = R \left(1 + \frac{i\mathcal{A}\omega}{d}\right)$, worin d die Dämpfung des Arbeitskreises bedeutet.

die Röhre als Hochfrequenzverstärker mit darauffolgender Gleichrichtung (Anodengleichrichtung).

Blockiert man das Gitter mit Silitwiderstand und Kondensator (zum Durchlassen der Wechselstromkomponente), so findet die Gleichrichtung im Gitterkreis statt. Der Gleichrichtereffekt (gleichgerichtete Strom) verursacht über dem Silitwiderstand einen Spannungsabfall und steuert den Anodenstrom. Die Röhre wirkt als Gleichrichter mit dahintergeschaltetem Gleichstromverstärker. Diese „Audionggleichrichtung“ ist die für Empfangsgeräte übliche.

Wenn die Anoden-(Gitter-)kennlinie die Form $i = f(u)$, und wenn u einen zeitlich sinusförmigen Verlauf hat, so gilt für kleine Amplituden: der Gleichrichtereffekt im Anoden-(Gitter-)kreis ist

$$\Delta i = \frac{1}{4} \cdot \frac{\partial^2 f}{\partial u^2} U_m^2 \quad (u = U_m \cos \omega t).$$

Für nicht sinusförmigen zeitlichen Verlauf der Spannung ist Δi nicht mehr nur Funktion der Effektivspannung, sondern von der Kurvenform abhängig.

Bei nicht symmetrischem zeitlichem Verlauf der Spannung erhält man durch Umpolen verschiedene Δi -Werte.

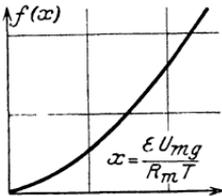


Abb. 739. Gittergleichrichtung.

(1217) Theorie der Audionggleichrichtercurve. Da für negative Gitterspannungen u_g die Gitterkennlinie die Gestalt

$$i_g = I_s \alpha e^{-\epsilon u_g / R_m T}$$

hat (1200), läßt sich der Gleichrichtereffekt zu

$$\Delta i_g = I_s \alpha e^{-\epsilon U_g / R_m T} \cdot f(\epsilon U_m g / R_m T)$$

berechnen, wobei U_g die Gitterspannung im Schwingungsmittelpunkt und

$$f(\epsilon U_m g / R_m T) = \frac{1}{T} \int_0^T e^{\epsilon U_m g \cos \omega t / R_m T} dt$$

in Abb. 739 graphisch dargestellt ist. Der Beginn dieser Kurve ist parabolisch.

Da $I_s \alpha e^{-\epsilon U_g / R_m T} = I_g$ dem Gitterstrom im Schwingungsmittelpunkte gleich, läßt sich Δi_g durch

$$\Delta i_g = I_g f(U_m g); \quad \Delta i_g / I_g = f(U_m g)$$

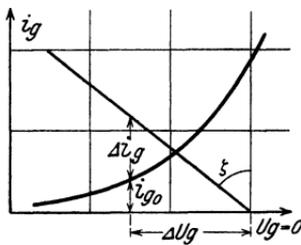


Abb. 740. Konstruktion der Audionggleichheit.

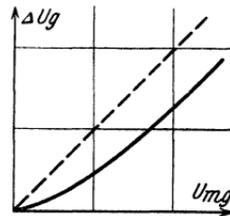


Abb. 741. Verschiebung des Schwingungsmittelpunktes bei der Audionggleichrichtung.

darstellen. Δi_g ist also I_g proportional. Diese Eigenschaft ermöglicht folgende graphische Konstruktion der Audionggleichrichtercurve, wenn die Gitterkennlinie bekannt ist. Man trage im Gitterkennliniendiagramm Abb. 740 die Widerstandslinie des Silitwiderstandes ($R_u = \text{tg } \zeta$, Maßstabsverhältnis = 1!) ein, zeichne an einer beliebigen Stelle Δi_g und i_{g0} , bilde den Quotienten $\Delta i_g / i_{g0}$ und greife aus Abb. 739 das zugehörige $U_m g$ ab. Durch Wiederholen dieses Verfah-

rens und Auftragen zusammengehöriger Werte erhält man die $\mathcal{L}U_g - U_{mg}$ -Kurve (Abb. 741).

Aus der geschilderten Konstruktion läßt sich folgern:

a) Wenn α und $1/R_u$ im gleichen Verhältnis verändert werden, bleibt die $\mathcal{L}U_g - U_{mg}$ -Kurve dieselbe.

b) Wenn bei dem gleichen α R_u vergrößert wird, so wird die anfängliche Krümmung der $\mathcal{L}U_g - U_{mg}$ -Kurve schärfer.

c) Durch eine besondere Näherungsrechnung läßt sich nachweisen, daß die $\mathcal{L}U_g - U_{mg}$ -Kurve für große U_{mg} -Werte asymptotisch die Steilheit von 45° erreicht.

d) Die $\mathcal{L}(i_a) - U_{mg}$ -Kurve wird mit abnehmender Steilheit der Anodenkennlinie wieder flacher; $d\mathcal{L}(i_a)/dU_{mg}$ hat kurz vor der unteren Krümmung der Anodenkennlinie ein Maximum. (Wichtig für die Einstellung der größten Lautstärke bei Telephonieempfang.)

C. Hochfrequenzmaschinen und -Umformer.

Hochfrequenzmaschinen.

(1218) **Allgemeines.** Hochfrequenzenergie wird in elektrischen Maschinen nach denselben physikalischen Gesetzen erzeugt, nach denen in der Starkstromtechnik Niederfrequenzenergie von 50 Per/s erzeugt wird¹⁾.

Für die Erhöhung der Frequenz auf die für die drahtlose Telegraphie notwendigen Werte stehen drei Mittel zur Verfügung:

1. die Vergrößerung der Polzahl,
2. die Vergrößerung der Umfangsgeschwindigkeit.
3. die Verzerrung der Feldkurve.

Mit den beiden erstgenannten Mitteln kann man nur bis zu bestimmten Grenzen gehen. Bei zu kleiner Polteilung macht die Unterbringung der Wicklung Schwierigkeiten. Die Umfangsgeschwindigkeit darf man mit Rücksicht auf die mechanische Festigkeit des Materials nicht zu groß machen.

Für die Frequenz gilt der Ausdruck [Starkstromausgabe (452)]

$$f = \frac{p \cdot n}{60} = \frac{v}{2\tau},$$

¹⁾ Als Vorläufer der modernen Hochfrequenzmaschinen kommen folgende Konstruktionen in Betracht: Hochfrequenzinduktormaschine von N. Tesla nach dem Wechsellpoltyp. Leistung 1000 W, $n = 1600$, $f = 5100$ (El. Engin. New York 1889. Bd. 11, S. 338. — Gleichpolmaschine von N. Tesla (Ferrantityp). $n = 2500$, $f = 15\,000$ (Electr. Engin. vom 18. 3. 1891). — Hochfrequenzmaschine nach dem Induktortyp von R. A. Fessenden und Alexanderson (1904/06) der General Electric Company. $f = 100\,000$. — Alexanderson, E. F. W.: Wechselstrommaschine für die Frequenz 100 000. ETZ 1908. S. 1003. Zeitschr. für Instrumentenkunde Bd. 30, S. 164. 1910. — Fessenden, R. A.: Wechselstrommaschine zur Erzeugung elektr. Schwingungen hoher Frequenz. DRP 216 491 vom 11. 9. 1908. — Induktormaschine mit unterteilten Polen von Cail-Hermer (1892). — Induktormaschine von Guy-Osnos (1901) mit senkrecht aufeinander stehender Gleichstrom- und Wechselstromwicklung. (Guy, S.: Wechselstrommaschine für Ein- und Mehrphasenstrom mit gezahntem Eisenanker ohne Wicklung. DRP 143 630 vom 12. 9. 1901. — Osnos, M.: Hochfrequenzmaschine der Induktortype. Jahrb. 13. 1918. S. 270.) — Asynchrone Wechselstrommaschine von R. Rudenberg (1905) mit Kondensatorkreis. (Rudenberg, R.: Verf. z. Erz. oder Verstärkung schneller el. Schwingungen. DRP 179 954 vom 22. 10. 1905.) — Wechselstrommaschine f. hochfrequente Wechselströme von E. Vossnack (1905). DRP 184 385 vom 29. 11. 1905. — Ferner sind noch bekannt Konstruktionen von E. Thomson, C. P. Steinmetz, Lodge, Salomons, M. Wien (vgl. Wiedem. Ann. 1901. Bd. 4, S. 425), M. Leblanc (Americ. Inst. El. Engin. 1904. S. 405 und 416), Thury (L'Eclair. Electr. 1904, S. 65), W. Duddell (Phil. Mag. 9. 1905. S. 299/309). — Als Vorläufer der Goldschmidtschen Reflexionsmaschine kann die Induktormaschinenanordnung von E. Arnold und D. Korda (1893) bezeichnet werden. — Die Konstruktionen von Fessenden-Petersen (1914) unter Benutzung des Energiespiegelungsprinzips und die Kaskaden-Induktormaschine von Cohen (1908) unter Verwendung von einer Anzahl von Maschinenstufen gelangten nicht zur Anwendung. (Vgl. Petersen, W.: Elektrostatische Maschine z. Erz. von Wechselströmen hoher Frequenz. DRP 257 887 vom 1. 2. 1911.)

dabei bedeutet p die Zahl der Polpaare, n die Zahl der Umläufe je Minute, v die Umfangsgeschwindigkeit in cm/s, τ die Polteilung, d. i. den Abstand zweier ungleichnamiger Läuferpole in cm.

Beispiel: Die doppelte Polteilung 2τ einer Maschine nach dem Wechselpoltyp betrage 1,5 cm, die Umfangsgeschwindigkeit v sei 15 000 cm/s. Daraus errechnet sich nach obiger Formel die Frequenz zu 10 000 Per/s.

Bei einer Maschine nach dem Wechselstyp müssen Ständer und Läufer bewickelt werden. Die Läuferbewicklung, welche wegen der kleinen Polteilung und der hohen Umfangsgeschwindigkeit ziemlich schwierig ist, wird bei der Hochfrequenzmaschine nach dem Induktor- oder Gleichpoltyp vermieden. Die Variation des umschlungenen Kraftflusses erfolgt hier nicht durch den Wechsel zwischen Nord- und Südpol, sondern durch Ändern des in einer Richtung verlaufenden Kraftflusses. Ein Läuferzahn entspricht einem Pol, die folgende Nut dem entgegengesetzten. Die Nutzahl des Läufers wird dadurch auf die Hälfte verkleinert, während für die Nutzahl des bewickelten Teiles dieselbe Formel wie für die Wechselpoltype gilt. Nach diesem Prinzip sind die Maschinen von Telefunken, Lorenz und der Radio Corporation of America (Alexanderson) gebaut.

Da nach obiger Formel die Frequenz von der Ständerteilung unabhängig ist, kann man diese Polteilung auch größer als τ wählen. Das erfolgt nach dem Vorgang von Latour durch ein geeignetes Verhältnis der Nutenteilungen des Ständers und des Läufers zueinander. Außerdem ist es noch möglich, durch Ausnützung der Feldverzerrung Vielfache dieser Frequenz zu erzeugen.

(1219) Ausgeführte Maschinen. 1. Die Wechselpolmaschine von Goldschmidt arbeitet nach dem Reflexionsprinzip. Die in der Großstation Eilvese bei Hannover arbeitenden Maschinen sind für rd. 100 kW Antennenleistung gebaut.

Sie tragen am Ständer und Läufer je eine Einloch-Zickzackwicklung; die Nutzahl des Ständers, dessen Wicklung vom Gleichstrom gespeist wird, entspricht bei einer Umlaufzahl von 3200 U/min und einer Umlaufgeschwindigkeit von 140 m/s einer Frequenz von etwa 10000 Per/s. Die Läuferwicklung ist an Schleifringe geführt und über Kondensatoren geschlossen, durch die der Läuferkreis auf die Grundfrequenz abgestimmt wird (s. Abb. 742). Die Spannung der doppelten Frequenz, die durch das inverse Drehfeld erzeugt wird, wird dadurch ausgenützt, daß die an den Ständer angeschlossene Antenne auf diese Frequenz abgestimmt wird. Um den Ständer nicht über die Erregerquelle kurzzuschließen, sind die Drosseln d vorzusehen. Die dreifache Frequenz kann dadurch nutzbar gemacht werden, daß an den Ständer ein auf die

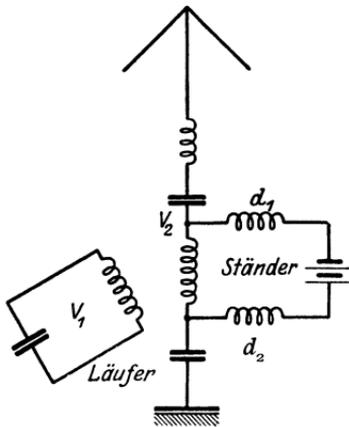


Abb. 742. Goldschmidtsche Maschine, Prinzip.

doppelte Frequenz abgestimmter Kreis und an den Läufer die auf die dreifache Frequenz abgestimmte Antenne geschaltet wird.

2. Hochfrequenzmaschinen nach dem Gleichpoltyp (AEG, Lorenz und Alexanderson). In der Abb. 743 ist ein Schnitt durch eine Hochfrequenzmaschine nach dem Gleichpoltyp dargestellt. Das Polrad, das aus Stahlguß hergestellt ist, hat zwei Kränze mit eingefrästen Zähnen. Den zwei Kränzen entsprechen zwei Blechpakete, die je eine einfache Zickzackwicklung tragen. Die Erregerwicklung ist zwischen den beiden Blechpaketen angeordnet, der magnetische Fluß verläuft in der in der Abbildung durch Pfeile angedeuteten

Richtung. Die Maschinen, die in Nauen in Betrieb sind, sind für eine Leistung von 150 und 500 kVA gebaut, und zwar die größere für 6000 Per/s bei 1500 U/min, 1000 A, 500 V bei Parallelschaltung aller Wicklungszweige. Es ist Wasser- und Luftkühlung vorgesehen.

Die Maschine von Alexanderson erzeugt nach demselben Prinzip die Antennenfrequenz direkt. Dies wird durch eine Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit und durch weitgehende Verkleinerung der Polteilung möglich. Für größere Leistungen als 200 kW werden diese Maschinen nicht gebaut.

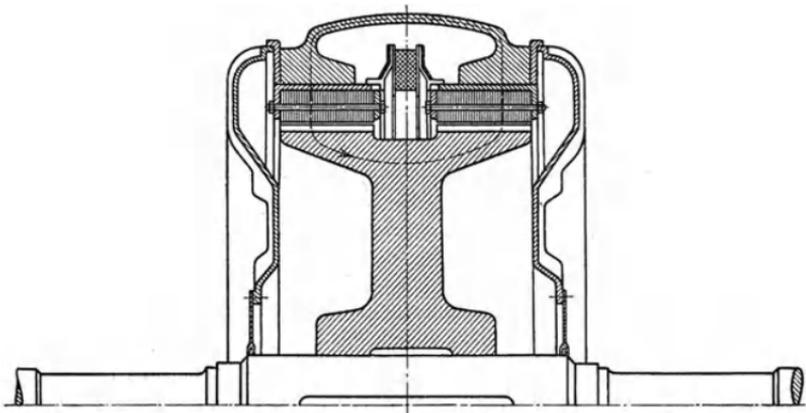


Abb. 743. Gleichpolmaschine.

3. Die Hochfrequenzmaschinen der Société Française Radio-Électrique der französischen Großstationen sind nach dem Gleichpoltyp gebaut. Der Läuferkörper ist aus Schmiedestahl hergestellt und trägt an seinem Umfang einen Kranz von dünnen Stahlblechen. Die Erzeugung der Antennenfrequenz direkt in der Maschine wird durch folgenden Kunstgriff möglich. Das Verhältnis der Zahl der Läuferzähne zur Zahl der Ständernuten ist 3 : 2. Die Zahl der Läufernuten entspricht nach der früher angegebenen Formel der erzeugten Frequenz, während die Zahl der Ständernuten auf den dritten Teil erniedrigt ist. Die Maschinen größerer Leistung (250 und 500 kW) laufen zur Verminderung der Luftreibung in einer Atmosphäre von geringem Unterdruck (200 mm Quecksilbersäule). Ständer und Läufer werden mittels Preßöl gekühlt.

Frequenzwandler.

(1220) **Geschichtliches.** Epstein kam als erster schon im Jahre 1902 auf den Gedanken, die Frequenz durch eisengesättigte Transformatoren zu vervielfachen; er beschreibt in dem DRP 149 711 einen Verdoppelungstransformator mit Gleichstromsättigung. Hierbei dachte er noch nicht an die Anwendung auf drahtlose Telegraphie. Erst im Jahre 1911 erwähnen Jolly und Vallauri in ihrer genaueren Beschreibung der Epsteinschen Anordnung¹⁾ die Möglichkeit der Anwendung für drahtlose Telegraphie.

Die Vervielfachung in ungerade Vielfache der Frequenz durch Eisendrosseln ohne Gleichstrommagnetisierung wurde im Jahre 1916 von Alexanderson²⁾ angegeben. Die weitere technische Entwicklung der Frequenzverviel-

¹⁾ Joly: La Lumière El. Bd. 14, S. 195. — Vallauri: ETZ 1911, S. 88.

²⁾ Deutsche Patente der Radio-Corporation 377 527 und 388 774.

fachung, die auf den Erfindungen von Epstein und Alexanderson beruht, lag hauptsächlich in den Händen der deutschen Firmen „Telefunken“ und „Lorenz“.

(1221) **Frequenzvervielfachung mit Gleichstromsättigung** ist anwendbar sowohl für die Steigerung auf geradzahlige als auch auf ungeradzahlige Vielfache.

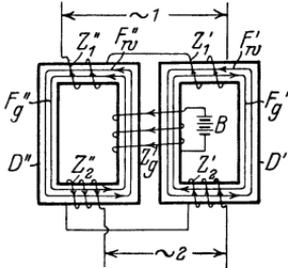


Abb. 744. Frequenzverdopplung, Schaltung.

Die Wirkungsweise einer Frequenzverdopplung ist aus den Abb. 744 u. 746 zu ersehen (Osnos, ETZ 1917, S. 423). Die beiden einander gleichen Kerne D' und D'' mit eisengeschlossenem Weg werden durch die Ströme von 3 Wicklungen magnetisiert. Z_g bedeutet die gemeinsame Gleichstromwicklung, Z'_1 Z''_1 die primären und Z'_2 Z''_2 die sekundären Wicklungen. Die zugehörigen Wechselstromfelder sind mit F'_{g0} F''_{g0} , die Gleichstromfelder mit F'_g und F''_g bezeichnet. Die beiden Sekundärwicklungen sind mit der Gleichstromwicklung gleichsinnig geschaltet. Die beiden Primärwicklungen sind so geschaltet, daß der Primärstrom in einem Kern dem Gleichstrom gleich-, im zweiten entgegengerichtet ist. Um die Entstehung der doppelten Frequenz zu erklären, ist in Abb. 745 die Feldkurve für eine einzelne Drosselspule als Funktion der Erregeramperewindungen aufgezeichnet. Die Gleichstromamperewindungen sollen x , die primären Wechselamperewindungen zu einer beliebigen Zeit gleich a sein. Die dem Wechselstrom entsprechenden Flußänderungen betragen für den einen Kern v , für den anderen u . Die in den beiden Primärwicklungen Z'_1 und Z''_1 induzierten Spannungen entsprechen der Flußschwankung $u + v$. Da die Sekundärwicklungen Z'_2 und Z''_2 entgegenschaltet sind, so wird in ihnen eine Spannung induziert, die der Differenz $u - v$ entspricht.

In der Abb. 746 ist diese Differenz unter dem magnetisierenden Strom I_1 aufgezeichnet. Man erkennt, daß der Fluß und damit die Spannung mit der doppelten Frequenz pulsiert. Damit diese Spannung nicht über die Gleichstromquelle transformatorisch kurzgeschlossen wird, sind zwischen der Gleichstromwicklung und der Batterie B Drosseln einzuschalten (vgl. auch DRP 360333).

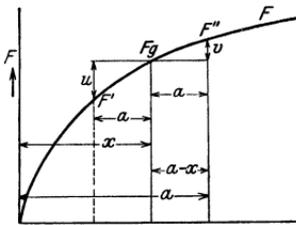


Abb. 745. Feldkurve der Drosselspule.

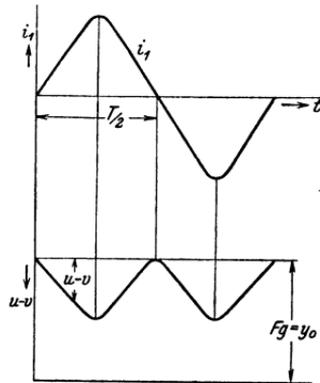


Abb. 746. Frequenzverdopplung, Vorgang.

Schaltet man die beiden Sekundärwicklungen nicht gegeneinander sondern im gleichen Sinne, wie die Primärwicklung, so kann dasselbe Transformatorpaar auch für Steigerung auf ungerade Vielfache verwendet werden.

(1222) **Frequenzvervielfachung ohne Gleichstromsättigung** kommt vorwiegend für die Steigerung auf ungeradzahlige Vielfache in Betracht; dabei wird

der Sekundärkreis an dieselben Klemmen angeschlossen, wie der Primärkreis. Um einen guten Wirkungsgrad zu erreichen, muß man mit der Amperewindungszahl des Primärstromes möglichst hoch gehen (bis über 100 A/cm). Die Feldkurve des Frequenzwandlers wird dann annähernd rechteckig und die an den Klemmen auftretende Spannung zeigt schmale und hohe Spitzen. Nach dem Vorgang von Fourier kann man sich die verzerrte Spannungskurve in einzelne Harmonische zerlegen, von denen nur die ungeradzahligen auftreten. Eine von den Harmonischen kann man dadurch ausnutzen, daß man einen auf dieselbe abgestimmten Schwingungskreis anschließt. Eine andere Erklärungsweise dieses Vorganges ist auch die, daß man die hohen und schmalen Spannungsspitzen wie bei der Erregung von gedämpften Wellen durch Funken, als Stöße auffaßt, die den Sekundärkreis im richtigen Takt zu Eigenschwingungen anregen.

Die Steigerung ohne Gleichstromsättigung auf geradzahlige Harmonische hat praktisch noch keine Anwendung gefunden.

(1223) Einiges zur Konstruktion von Frequenzwandlern. Die Abb. 747 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Hochfrequenzdrossel, die unabhängig von ihrer Verwendung als Frequenzwandler oder Tastdrossel gilt. Die abgebildete Drossel, die nur eine Wicklung trägt, kann für Vervielfachung in ungerade Harmonische benutzt werden.

Da die Verluste wegen der hohen Sättigungen sehr hoch sind — sie betragen bei den üblichen Großstationswellen etwa 10 bis 15 vH der Nutzleistung —, so ist auf kräftigen Umlauf des Öls und seine ausreichende Rückkühlung zu achten. Um Verluste in Konstruktionsteilen zu vermeiden, sind diese womöglich aus isolierenden Materialien (Holz, Preßspan) herzustellen. Wegen der auftretenden Spannungsspitzen ist die Isolation der Wicklungen gegeneinander und gegen Eisen bedeutend stärker zu wählen als den Effektivspannungen entspricht.

Umlaufsreglung der Hochfrequenzumformer.

(1224) Anforderung an die Umlaufsreglung. Läßt man beim Überlagerungsempfang eine Schwankung von α Per/s zu, so darf die Drehgeschwindigkeit des Hochfrequenzumformers um höchstens $3,3 \alpha \lambda \cdot 10^{-6}$ ihres Wertes schwanken, wobei die Wellenlänge λ in km einzusetzen ist. Je kürzer die Welle ist, desto schärfer sind die Anforderungen an die Umlaufsreglung.

Zahlenbeispiel: Betriebswelle 18 km. Der Empfänger arbeitet mit einem Überlagerungston von 1000 Per/s. Eine Schwankung von ± 15 Per/s (1,5 vH) ist für das Ohr nicht hörbar. Dies würde einer Umlaufschwankung von

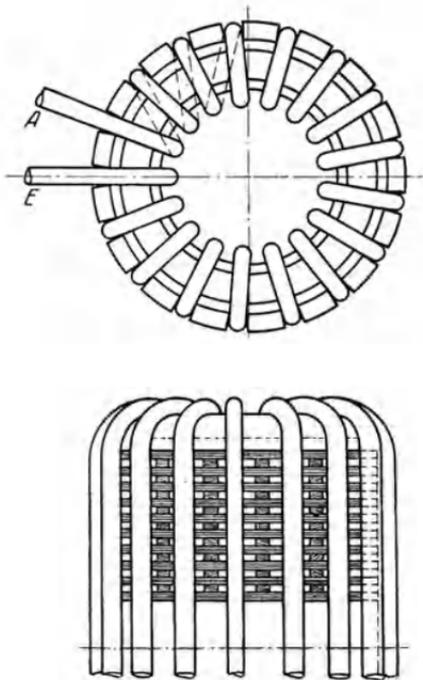


Abb. 747. Hochfrequenzdrossel.

$\pm 0,9$ Tausendstel entsprechen. Die meisten Großstationssender arbeiten mit Umlaufschwankungen in der Größenordnung von $\pm 0,2$ Tausendstel.

(1225) Aufgabe und Mittel der Umlaufsreglung. Um die Geschwindigkeit eines Hochfrequenzumformers innerhalb der verlangten engen Grenzen zu halten, sind zweierlei Aufgaben zu lösen:

a) Der Wechsel der Belastung im Telegraphiertempo muß ohne Einfluß auf die Umlaufzahl sein. Dies wird erreicht durch den „Lastausgleich“, indem der Antriebsmotor gleichzeitig mit dem Tasten durch Schaltorgane so beeinflusst wird, daß er bei Voll- und Leerlast die gleiche Drehzahl hat.

b) Der Einfluß der unvermeidlichen Schwankungen des Primärnetzes sowie der Belastungsschwankungen, die durch den Lastausgleich nicht erfaßt werden, muß aufgehoben werden. Dies wird durch eine Anordnung (Feinausgleich) erreicht, die den Antriebsmotor in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit zu kleinerer oder größerer Leistung zwingt. Außerdem hat man darauf zu achten, daß das Primärnetz möglichst konstant bleibt; eventuell sind dafür besondere Regeleinrichtungen vorzusehen.

Der Lastausgleich erfolgt je nach der Art des Antriebes auf verschiedene Weise. Bei Drehstromantrieb (Telefunken, Alexanderson) sind bei Pause (Leerlast) Widerstände im Läuferkreis des Antriebsmotors eingeschaltet, die bei Strom in der Antenne (Vollast) kurzgeschlossen werden. Bei Gleichstromantrieb (der bei den großen Leistungen als Leonardantrieb ausgeführt wird) werden im Telegraphiertempo die Erregerströme des Motors oder der Gleichstromdynamo geändert (französische Stationen, Eilvase).

Für den Feinausgleich unterscheidet man zuerst unabhängig von der Art des Antriebes verschiedene Methoden.

α) Die Maschine arbeitet als Pendel. Es wird der Antriebsmotor auf kleinere Leistung geschaltet, sobald die Drehzahl einen bestimmten Wert, der durch die Empfindlichkeit des Anzeigers gegeben ist, überschritten hat. Dann nimmt die Drehzahl solange ab, bis sie einen Wert erreicht hat, bei dem der Anzeiger im umgekehrten Sinne anspricht und den Motor auf höhere Leistung schaltet. So arbeitet die von Siemens & Halske entwickelte Umlaufsreglung der Telefunken sender (Phasensprungmethode nach Riegger).

β) Bei der Umlaufsreglung nach dem Schnellreglerprinzip wird eine der Drehzahl entsprechende Kraftwirkung mit einer konstanten Kraft (meistens Federkraft) verglichen. Die Beeinflussung des Antriebsmotors erfolgt durch Änderung von elektrischen Größen, und zwar wird wie beim Tirillregler (584) der Mittelwert dieser Größen durch periodisches Öffnen und Kurzschließen von Widerständen, entsprechend dem verschiedenen Verhältnis von Öffnungs- zu Schließungszeit, geändert. Nach diesem Prinzip wird die Drehzahl bei den amerikanischen Großstationen geregelt.

Zu diesen Umlaufsreglern ist auch die mechanische Reglung (Lorenz) zu rechnen, bei der durch periodisches Kurzschließen und Öffnen von Widerständen der Mittelwert eines Steuerstromes (Feldstrom des Antriebsmotors) in Abhängigkeit von der Drehzahl geändert wird. Dies erfolgt durch die Wirkung der Schwerkraft und der Zentrifugalkraft auf eine eingespannte Blattfeder. Für kleinere Maschinen genügt diese Anordnung auch zur Erfassung der durch Telegraphieren bedingten Laständerungen.

(1226) Ausgeführte Umlaufsreglungen. a) Der Umlaufsanzeiger von Siemens & Halske-Telefunken beruht darauf, daß in Resonanzkreisen, die an die Hochfrequenzmaschine selbst oder an eine besondere aufgekeilte kleine Wechselstrommaschine angeschlossen und auf deren Frequenz abgestimmt sind, bei geringen Abweichungen von der Sollfrequenz starke Änderungen der Ströme erfolgen. Durch Elektronenröhren werden die Ströme gleichgerichtet; die Empfindlichkeit der Änderung wird durch eine Brückenschaltung beträchtlich erhöht.

Dadurch erreicht man, daß bei Abweichung von der Sollzahl ein Gleichstrom durch ein im Nullwert befindliches, hochempfindliches Relais in der einen oder anderen Richtung fließt. Durch das Relais werden größere Relais gesteuert, die bei Drehstromantrieb die Überbrückung von Widerstandsgruppen im Läuferkreis des Drehstrommotors bewirken.

Der Antriebsmotor der in Nauen aufgestellten Hochfrequenzumformer ist ein Drehstrommotor von etwa 500 kW Dauerleistung für 1500 U/min bei Synchronismus. Er läuft mit 4 bzw. 8 vH Schlupf. Das Kurzschließen der Widerstandsgruppen, die aus Eisenplatten zusammengesetzt sind, bewirken durch Preßluft betätigte Relais. Durch ein solches Relais können bis 400 A bei 40 V geschaltet werden. Für Schnelltelegraphie ist beim Lastausgleich eine Abschaltverzögerung vorgesehen. Da der Feinausgleich die Änderung der mittleren Last, die sich bei verschiedenem Telegraphiertempo ergibt, sowie größere Last- und Netzschwankungen nicht beherrscht, ist noch ein Motorregler in den Läuferkreis eingebaut, der dann den Läuferwiderstand ändert, wenn das Verhältnis von Öffnungs- zur Schließungszeit des Relais für den Feinausgleich zu groß oder zu klein wird.

b) Der Umlaufsanzeiger von Alexanderson besteht aus einem sehr schwach gedämpften Kreis, der an eine Maschinenwicklung angeschlossen ist, und ungefähr im steilsten Teil der Resonanzkurve arbeitet. Der durch eine Ventilröhre gleichgerichtete Hochfrequenzstrom wird durch die Wicklung eines Relais geschickt, das die Spannung eines Gleichstromgenerators durch periodisches Ändern seines Erregerstromes regelt. Der von diesem Generator gelieferte Gleichstrom sättigt Mehrphasendrosseln, die dem Antriebsmotor ständerseitig vorgeschaltet sind. Dadurch wird die dem Motor zugeführte Spannung geändert. Der Lastausgleich erfolgt an zwei Stellen, und zwar auf der Ständerseite durch Änderung des Sättigungsstromes der Ständerdrosseln, und im Läuferkreis durch Kurzschließen von Flüssigkeitswiderständen.

c) Bei den Drehzahlreglern von Schmidt wird eine Konstanz von 0,01 vT zwischen Leerlauf und Vollast erreicht. Er hat die Form eines Zentrifugalregulators. (Vgl. ETZ, 1923, S. 910; Funksonderheft der ETZ, 1924, S. 22.) Der Regler arbeitet mit geeignet bemessenen Federn mit Kontakten (für Feldwiderstand) und zwar so, daß die Zentrifugalkraft in Wechselwirkung mit der Schwerkraft der Feder tritt. Bei jeder Umdrehung wird der Kontakt (für Feldwiderstand) einmal, je nach der Geschwindigkeit länger oder kürzer geschlossen. Genaueres hierüber s. Stübler: Wirkungsweise des Schmidtschen Drehzahlreglers, Mitt. a. d. TRA. Elektr. Nachr.-Technik, Bd. 2, Heft 3, 1925.

Literatur: Hochfrequenzmaschinen. Alexanderson: Wechselstromdynamo für 100 000 Perioden. ETZ 1909, S. 1003. — Blaks, E.: Wireless World 1921, S. 702. — Eccles, H.: Die Hochfrequenzmaschinen der Société Française Radio-Électrique in Paris. Jahrb. d. drahtl. Telegr. Bd. 21, S. 261. 1923. — Goldschmidt: ETZ 1911, S. 54; Jahrb. d. drahtl. Telegr. Bd. 4, S. 341. 1911. — Kühn: Die Goldschmidtsche Hochfrequenzmaschine in Selbsterregungsschaltung. Jahrb. d. drahtl. Telegr. Bd. 9, S. 321. 1915. — Latour, M.: High frequency alternators. Wireless World Bd. 7, S. 187, 247. 1919. — Macku, B.: Zur Theorie der Goldschmidtschen Hochfrequenzmaschine. Jahrb. d. drahtl. Telegr. Bd. 5, S. 5 (1011) und Bd. 8, S. 490 (1914). — Osnos, M.: Die Hochfrequenzmaschine der Induktortype. Jahrb. d. drahtl. Telegr. Bd. 13, S. 270 (1918). — Schmidt, K.: Ein neuer Hochfrequenzmaschinensender für drahtlose Telegraphie. ETZ 1923, S. 910.

Umlaufregelung. Macku, B.: Über die Erhaltung konstanter Tourenzahl einer Maschine. Jahrb. d. drahtl. Telegr. Bd. 8, S. 486 (1914). — De toerenregeling der hoogfrequentiemachine te Kootwijk. Radio Nieuws 1923, Nr. 8, S. 250.

Sender, Großstationen und deren Einrichtung. Alexanderson: The electrical plant of transocean radio telegraphy. General El. Rev., Juli 1923, S. 464. — EuM 1923, S. 662. — Graf v. Arco: Die drahtlose Großstation Nauen. ETZ 1919, S. 665. — Bucher, E.: New Brunswick. Wireless Age 1920, S. 10, Juli; S. 13, August. — Hahn, W.: Nauen. Der deutsche Rundfunk 1924, S. 469. — Hornung, R.: Die neue Großfunkstelle Radio-France (St. Assise). ETZ 1922, S. 1434. — Neuburger, A.: Die Großstation Monte Grande. Die Funkwelt 1924, S. 638.

Frequenzwandler. Irlly: Statischer Frequenzverdoppler. Frz. Pat. 418909, 22. 10. 1912. — Vallauri: Frequenzsteigerung innerhalb eines Transformators ohne bewegliche Teile. ETZ 1914, S. 88. — Caspar, L.: Jahrb. d. drahtl. Telegr. Bd. 24, S. 129 (1924). — Dreyfus: Die analytische Theorie des statischen Frequenzverdopplers bei Leerlauf. Arch. f. El. Bd. 2, S. 343 (1913/14). — Latour, M.: Multiplicateurs de Fréquence et Amplicateurs magnétiques. L'onde électrique, Juni 1923, S. 327. — Derselbe: The static frequency multiplier. Rad. News 1923, S. 557. — Osnos, M.: Beitrag zur Theorie und Wirkungsweise des stationären Frequenzverdopplers. Jahrb. d. drahtl. Telegr. Bd. 13, S. 280 (1918). — Derselbe: Charakteristische Kurven des statischen Frequenzverdopplers. Jahrb. d. drahtl. Telegr. Bd. 13, S. 399 (1918). — Zenneck, J.: Beiträge zur Theorie der statischen Frequenzvervielfachung. Physikal. Zeitschr. S. 953 (1912). — Jahrb. d. drahtl. Telegr. Bd. 7, S. 412 (1913) und Bd. 17, S. 2 (1921).

Dritter Abschnitt.

Die Telegraphenleitung.

Theorie der Telegraphenleitung.

(1227) Telegraphengleichung. Die elektrischen Eigenschaften einer homogenen Leitung seien für die Längeneinheit angegeben durch den Leitungswiderstand R , die Induktivität L , die Kapazität C und die Ableitung G . An einer durch den Abstand x von einem festen Punkte bestimmten Stelle sei die Spannung U , die Stromstärke I . Bis zur Stelle $x + \partial x$ erleiden beide Größen eine Änderung, die Spannung durch den Verlust im Widerstand und durch die EMK der Selbstinduktion bei zeitlicher Änderung der Stromstärke, der Strom durch Ableitung und Änderung der Ladung bei zeitlicher Änderung der Spannung. Dies führt zu den Gleichungen

$$\begin{aligned}-\frac{\partial U}{\partial x} &= RI + L \frac{\partial I}{\partial t} \\ -\frac{\partial I}{\partial x} &= GU + C \frac{\partial U}{\partial t}\end{aligned}$$

Scheidet man eine der Variablen, z. B. I aus, so erhält man die Telegraphengleichung

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = CL \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} + (GL + CR) \frac{\partial U}{\partial t} + GRU$$

welche in derselben Form auch für I gilt.

(1228) Ideale Leitung. R und G bringen durch Entziehung von Energie in Form Joulescher Wärme Verluste hervor. Wenn R im Verhältnis zu $\sqrt{L/C}$ und G im Verhältnis zu $\sqrt{C/L}$ klein ist, nähert sich die Leitung in ihren Eigenschaften der verlustlosen idealen Leitung. Die für $R = 0$ und $G = 0$ vereinfachten Gleichungen werden durch $U = ZI$ erfüllt, wo $Z = \sqrt{L/C}$ ist. Z heißt Wellenwiderstand der Leitung. Bringt man eine Leitung an einer Stelle $x = 0$ plötzlich auf die Spannung E , so läuft nach beiden Seiten ein Strom $I_0 = E/Z$. Den Verlauf längs der Leitung stellt nach Ort und Zeit die Gleichung dar

$$-\frac{\partial I}{\partial x} = \sqrt{CL} \frac{\partial I}{\partial t}$$

Mit der Stromwelle läuft eine Spannungswelle $U = ZI$, welche derselben Differentialgleichung gehorcht. Diese wird erfüllt durch

$$I = f\left(t \mp \frac{x}{v}\right)$$

wo $v = 1/\sqrt{CZ}$. Sie stellt eine, unter der gemachten Annahme, nach Höhe und Gestalt unverändert bleibende Welle dar, die sich mit der Geschwindigkeit v in der einen oder der anderen Richtung fortpflanzt.

(1229) **Allgemeine Leitung.** Im allgemeinen Fall läuft auf einen Anstoß an einer Stelle $x = 0$ ebenfalls eine Welle in die Leitung, deren Strom den Anfangswert E/Z hat. Diese Welle ist aber gedämpft und verzerrt, und die Form des Stromes I , welcher an der Stelle x ankommt, wenn zur Zeit $t = 0$ an der Stelle $x = 0$ ein plötzlicher Anstoß mit der Stromstärke I_0 gegeben wurde, ergibt sich aus folgenden Größen. Aus den Leitungseigenschaften werden drei Konstanten bestimmt

$$v = \frac{1}{\sqrt{CL}} \quad A = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} - \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \beta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Ein von H. Poincaré gegebener Beweis zeigt, daß v auch im allgemeinen Fall die Geschwindigkeit ist, mit welcher der Anstoß sich längs der Leitung fortpflanzt, und daß an der Stelle x bis zur Zeit x/v alles in Ruhe bleibt. Ax heißt das Längenmaß, βx das Dämpfungsmaß der Leitung. Zählt man für alle Punkte der Leitung die Zeit t vom Augenblick des Anstoßes, für jeden einzelnen Punkt x die Zeit τ vom Augenblick des Eintreffens, so daß also $t = \tau + \frac{x}{v}$, so erhält man für das Verhältnis I/I_0 folgende Formel, in der das Zeichen \log briggische Logarithmen bedeutet:

$$\log \frac{I}{I_0} = f(u) - \beta(x + v\tau) \log e, \text{ wo}$$

$$u = Av \sqrt{\tau \left(\tau + \frac{2x}{v} \right)}$$

und $f(u)$ der briggische Logarithmus der Besselschen Funktion $J_0(iu)$ ist. Für eine Reihe von Werten, wie sie zur Berechnung praktischer Aufgaben vorkommen, ist $f(u)$ als Funktion von u in nachstehender Tabelle angegeben.

u	0	2	4	6	8
0	0,0000	0,0043	0,0172	0,0382	0,0669
1	0,1025	0,1442	0,1913	0,2430	0,2988
2	0,3579	0,4198	0,4842	0,5506	0,6188
3	0,6885	0,7595	0,8315	0,9046	0,9785
4	1,0531	1,1285	1,2044	1,2809	1,3578
5	1,4352	1,5130	1,5911	1,6697	1,7485

Für die Genauigkeit des Rechenschiebers interpoliere man bis $u = 1,8$ nach der Formel $f(u) = 0,1086u^2 - 0,00525u^4$, darüber hinaus nach Proportionalteilen obiger Tabelle.

Für $\tau = 0$ ist auch $f(u)$ gleich Null, und aus dem Rest der obigen Gleichung

$$\log \frac{I_a}{I_0} = -\beta x \log e$$

ergibt sich, mit welchem Werte I_a die Stromwelle im Augenblick $\tau = 0$ bei der Ankunft an der Stelle x anspricht.

Abb. 748a und b stellen für verschiedene Werte von $\sigma = Ax$ von 1 bis 5 Formen des Stromverlaufs dar, wobei die Abszisse $T = Avt$ ist.

Beispiel: Für $G = 0$ ist bei einem deutschen Guttapercha-Erdkabel $A = \beta = 0,03$; ferner ist $v = 40000$ km/s. Bei $x = 150$ km ist $I_a/I_0 = 1/90$. In der folgenden Tabelle sind einige Werte von I zur Zeit τ nach dem Ansprung, bezogen auf dessen Höhe I_a , angegeben.

$$u = 1200 \sqrt{\tau(\tau + 0,0075)}$$

τ	u	$f(u)$	$\beta v \tau \log e$	I/I_a
0,0000	0	0	0	1,00
0,0002	1,49	0,214	0,104	1,26
0,0004	2,14	0,401	0,208	1,56
0,0006	2,65	0,568	0,312	1,80
0,0008	3,09	0,720	0,417	2,01
0,0010	3,50	0,868	0,521	2,22

Diese Berechnungen gelten aber nur unter der Annahme, daß die Leitung sich jenseits der Stelle x in unveränderter Art weiter erstreckt; nur die Höhe des

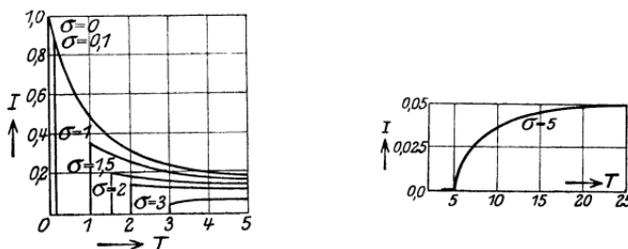


Abb. 748 a. u. b. Stromverlauf bei verschiedenen Werten des Längenmaßes τ .

ersten Ansprungs, mit dem die Welle den Ort x erreicht, ist von dieser Bedingung unabhängig.

(1230) Reflexionen. Unstetigkeiten im Wellenwiderstand ändern plötzlich das Verhältnis von Spannung und Strom, und zum Ausgleich läuft in die Ursprungsleitung eine Welle zurück. Aus der Leitung mit dem Wellenwiderstand Z_1 trete eine Welle mit der Spannung U_f in eine Leitung mit dem Wellenwiderstand Z_2 über. Die Unstetigkeit gibt Anlaß für die Entstehung einer Spannung U_g , durch welche in beide Leitungen Stromteile gesandt werden, in der Art, daß die Summe der zufließenden und abfließenden Stromstärken auf beiden Seiten denselben Wert hat. Da der durch U_g veranlaßte Strom in der ersten Leitung entgegengesetzt dem durch U_f hervorgebrachten fließt, in der zweiten Leitung aber beide gleichgerichtet sind, so ergibt sich die Beziehung:

$$\frac{U_f - U_g}{Z_1} = \frac{U_f + U_g}{Z_2}$$

oder

$$U_g = U_f \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}.$$

Ist Z_2 im Vergleich zu Z_1 sehr klein, was im Grenzfall einen Kurzschluß bedeutet, so ist $U_g = -U_f$. Dann hebt die reflektierte Spannungswelle die ankommende auf, während die Stromstärke in der Leitung 1 verdoppelt wird. Bei Isolierung der Leitung an der betrachteten Stelle, wobei $Z_2 = \infty$ wird, ergibt sich $U_g = U_f$. Am offenen Ende wird also die Spannung durch die reflektierte Welle verdoppelt, während die in die Leitung zurücktretende Stromwelle die bestehende Stromstärke fortschreitend auf den Wert Null bringt. Eine Spule mit Induktivität wirkt im ersten Augenblick wie eine Isolierung, ein Kondensator wie ein Kurzschluß.

Würde eine verlustlose Leitung auf der einen Seite mit einer ebenfalls verlustlosen Stromquelle verbunden, auf der anderen kurzgeschlossen, so nähme sie im ersten Augenblick den Strom U/Z auf, der am fernen Ende auf $2U/Z$ ge-

steigert wird und bei jeder Reflexion an einem der Enden um U/Z ansteigt. Unter wirklichen Verhältnissen nehmen die Zuwächse durch die Dämpfung von Fall zu Fall mit dem Faktor $e^{-\beta x}$ ab, so daß nach einigen Hin- und Hergängen der Wert des Dauerstroms erreicht wird. Abb. 749 stellt dies oben für den Anfangsstrom, unten für den Endstrom dar.

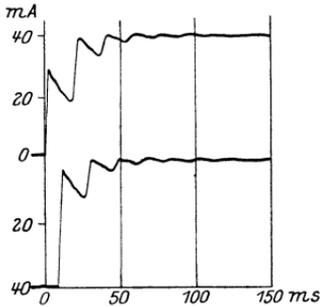


Abb. 749. Stromverlauf in einer verlustlosen Leitung, oben am Anfang, unten am Ende.

Ein Widerstand am Ende einer Leitung von der Größe ihres Wellenwiderstandes macht $g=0$, nimmt also die zugeführte Energie ohne Reflexion auf.

Berechnungen des Stromverlaufs für betriebsmäßige Schaltungen werden durch ein besonderes Verfahren auf solche für vorgegebenen zeitlichen Verlauf der Spannung zurückgeführt (1249).

(1231) Telegraphengleichung bei gegebenem Spannungsverlauf.

Nach Art der Fourierschen Zerlegung kann man jede Zeitkurve der Spannung aus Funktionen $E e^{pt}$ zusammensetzen, worin p eine reelle oder komplexe Konstante der Zeit gegenüber darstellt. Führt man in einen eine Leitung enthaltenden Kreis eine EMK dieser Zeitform ein, so nehmen Stromstärke und Spannung die Form $\Im e^{pt}$ und $\mathfrak{U} e^{pt}$ an, worin \Im und \mathfrak{U} außer von den Eigenschaften der Leitung von p und x abhängen.

Die Einführung in die Grundgleichungen ergibt

$$-\frac{\partial \mathfrak{U}}{\partial x} = \Im (R + pL) = \Im \mathfrak{R}$$

$$-\frac{\partial \Im}{\partial x} = \mathfrak{U} (G + pC) = \mathfrak{U} \mathfrak{G}$$

Wenn \mathfrak{U}_a und \Im_a die Werte von \mathfrak{U} und \Im für $x = 0$ bezeichnen, so ergeben sich die Gleichungen

$$\mathfrak{U} = \mathfrak{U}_a \cos \gamma x - \Im_a \sin \gamma x$$

$$\Im = \Im_a \cos \gamma x - \frac{\mathfrak{U}_a}{\mathfrak{Z}} \sin \gamma x$$

worin

$$\gamma = \sqrt{\mathfrak{R} \mathfrak{G}}, \quad \mathfrak{Z} = \sqrt{\frac{\mathfrak{R}}{\mathfrak{G}}}$$

Sie gelten auch in der Form

$$\mathfrak{U}_a = \mathfrak{U} \cos \gamma x + \Im \sin \gamma x$$

$$\Im_a = \Im \cos \gamma x + \frac{\mathfrak{U}}{\mathfrak{Z}} \sin \gamma x$$

Ein an die Leitung angeschlossener Apparat nimmt unter einer Spannung $\mathfrak{U} e^{pt}$ einen Strom $\Im e^{pt}$ auf; das Verhältnis \mathfrak{U}/\Im hängt von den elektrischen Eigenschaften und von p ab. Wir nennen es den Scheinwiderstand \mathfrak{R}_p des Apparates für den Parameter p , dessen Angabe dort, wo kein Zweifel ist, wegbleiben kann.

(1232) Allgemeiner Vierpol. Man nennt so einen zwischen einem Eingangsklemmenpaar und einem Ausgangsklemmenpaar sich erstreckenden Leiter ganz beliebiger Zusammensetzung. Unter der Bedingung, daß die elektrischen Eigenschaften von den Werten der Spannungen und Ströme nicht abhängen, stehen letztere in linearer Beziehung, die geschrieben wird

$$e^{-\delta} \cdot \mathfrak{U}_a = \mathfrak{A}_1 \mathfrak{U}_e + \mathfrak{B} \Im_e$$

$$e^{-\delta} \cdot \Im_a = \mathfrak{A}_2 \Im_e + \mathfrak{C} \mathfrak{U}_e.$$

Die Größe d hat von Null verschiedene Werte nur für aktive Vierpole, welche also Verstärker enthalten, bei denen die Übertragungskonstante in beiden Richtungen verschieden ist. Von den übrigen Konstanten sind nur drei unabhängig, es gilt die Gleichung $\mathfrak{U}_1 \mathfrak{U}_2 - \mathfrak{U} \mathfrak{C} = 1$. Man kann demgemäß außer d drei bestimmende Größen \mathfrak{Z} , g , k angeben, so daß

$$\mathfrak{U}_a = \frac{1+k}{1-k} \mathfrak{C} \operatorname{of} g \mathfrak{U}_e + 3 \mathfrak{Z}_e \operatorname{Sin} g$$

$$\mathfrak{Z}_a = \frac{1-k}{1+k} \mathfrak{C} \operatorname{of} g \mathfrak{Z}_e + \frac{\mathfrak{U}_e}{3} \operatorname{Sin} g$$

Auf diese Weise wird für jede Frequenz ein Wellenwiderstand \mathfrak{Z} und eine Unsymmetrie k definiert.

Eine in der Richtung von a nach e gehende Strömung erleidet eine Dämpfung und Verdrehung mit dem komplexen Exponenten $\frac{g+d}{2}$; für eine Strömung in der anderen Richtung gilt der Exponent $\frac{g-d}{2}$. Man verwendet vielfach als Parameter statt \mathfrak{Z} und k die Wellenwiderstände von beiden Enden aus:

$$\mathfrak{Z}_a = 3 \sqrt{\frac{1+k}{1-k}} \quad \mathfrak{Z}_e = 3 \sqrt{\frac{1-k}{1+k}}$$

Ein geschlossener Stromkreis, der an den Enden eines Vierpols einen Sender mit einer EMK $E^{\rho l}$ und einen Scheinwiderstand \mathfrak{R}_a und einem Empfänger mit dem Scheinwiderstand \mathfrak{R}_e enthält, wird durch folgende Gleichungen bestimmt:

$$\mathfrak{C} = \mathfrak{U}_a + \mathfrak{R}_a \mathfrak{Z}_a \quad \mathfrak{U}_e = \mathfrak{R}_e \mathfrak{Z}_e$$

Unter Berücksichtigung der Gleichungen des Vierpols erhält man zwischen der EMK und dem Endstrom die Beziehung

$$\mathfrak{C} = e^{-d} \cdot \mathfrak{Z}_e (\mathfrak{U}_1 \mathfrak{R}_e + \mathfrak{U}_2 \mathfrak{R}_a + \mathfrak{B} + \mathfrak{C} \mathfrak{R}_a \mathfrak{R}_e).$$

Daraus ergibt sich der Anfangsstrom als

$$\mathfrak{Z}_a = e^{-d} \cdot \mathfrak{Z}_e (\mathfrak{U}_2 + \mathfrak{C} \mathfrak{R}_e).$$

Graphische Rechenbehelfe. Definiert man eine Hilfsgröße ξ durch die Festsetzung $\mathfrak{I}_g \xi = \mathfrak{Z}_e / \mathfrak{R}_e$, so ergibt sich für den Scheinwiderstand \mathfrak{B} an der a -Seite des allgemeinen Vierpols die Gleichung

$$\mathfrak{B} = \frac{\mathfrak{Z}_a}{\mathfrak{I}_g (g + \xi)}$$

Mit Hilfe von Linientafeln, welche die Funktion $\mathfrak{I}_g a$ in Abhängigkeit von a darstellen, lassen sich derartige Berechnungen auch an Vierpolen, die aus mehreren zusammengesetzt sind, leicht ausführen (ETZ 1925, S. 1726).

(1233) Messung der Leitungseigenschaften. Wenn man bei einer homogenen Leitung das Verhältnis $\mathfrak{U}_a / \mathfrak{Z}_a$ bei offenem Ende, $\mathfrak{Z}_e = 0$ mißt

$$\mathfrak{B}_1 = \frac{\mathfrak{U}}{\mathfrak{C}} = 3 \frac{\mathfrak{C} \operatorname{of} \gamma l}{\operatorname{Sin} \gamma l}$$

und ferner das Verhältnis $\mathfrak{U}_a / \mathfrak{Z}_a$ bei kurzem Schluß am Ende, $\mathfrak{U}_e = 0$, nämlich

$$\mathfrak{B}_2 = \frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{U}} = 3 \frac{\operatorname{Sin} \gamma l}{\mathfrak{C} \operatorname{of} \gamma l}$$

so ergeben sich daraus die Werte

$$\mathfrak{Z} = \sqrt{\mathfrak{B}_1 \mathfrak{B}_2} \quad \gamma l = \frac{1}{2} \log \operatorname{nat} \frac{1 + \sqrt{\frac{\mathfrak{B}_2}{\mathfrak{B}_1}}}{1 - \sqrt{\frac{\mathfrak{B}_2}{\mathfrak{B}_1}}}$$

und aus diesen die Grundeigenschaften. Dieses Verfahren wird bei Gleichstrommessungen, $p = 0$, und bei Wechselstrommessungen, $p = i\omega$, angewandt. Beim allgemeinen Vierpol ergeben sich aus der Messung die Scheinwiderstände von beiden Seiten, in denen nur drei unabhängig sind, die Werte von 3_a , 3_e und g ; dagegen kann δ nur durch gleichzeitige Strom- oder Spannungsmessungen an beiden Enden festgestellt werden.

(1234) Gleichstrommessungen an Leitungen mit gleichmäßig verteilter Ableitung. Für $p = 0$ ist $3 = \sqrt{\frac{R}{G}}$, $\gamma = \sqrt{RG}$. Für W_1 und W_2 sind die Widerstände zu setzen, die man bei offenem oder kurzgeschlossenem fernen Ende erhält. Statt den Leitungswiderstand R und die Ableitung G für 1 km nach obigen Formeln zu berechnen, kann man die nachstehende Tabelle benutzen, in der für Werte des Verhältnisses W_2/W_1 die Größe δ angegeben ist, mittels deren man findet:

$$R = \frac{W_2}{l} (1 + \delta), \quad G = \frac{1 + \delta}{l W_1}$$

W_2/W_1	δ	W_2/W_1	δ	W_2/W_1	δ	W_2/W_1	δ
0	0	0,20	0,076	0,35	0,148	0,50	0,246
0,05	0,018	0,25	0,098	0,40	0,177	0,55	0,286
0,10	0,036	0,30	0,122	0,45	0,210	0,60	0,332
0,15	0,056						

(1235) Andauernder Wechselstrom. Hat dieser die Kreisfrequenz ω , so wird

$$\gamma = \alpha i + \beta = \sqrt{(R + i\omega L)(G + i\omega C)}$$

$$3 = \sqrt{\frac{R + i\omega L}{\gamma + i\omega C}}$$

γ heißt die Fortpflanzungskonstante, α die Wellenlängen- und β die Dämpfungskonstante für die Kreisfrequenz ω . Die Größe $\mathfrak{A} = \frac{1}{2}(e^{\gamma l} + e^{-\gamma l})$ wird als Dämpfungsfaktor, βl als Dämpfungsexponent oder Dämpfungsmaß bezeichnet.

Bei einem allgemeinen Vierpol ergibt sich aus der nach (1232) definierten Größe g in ähnlicher Weise das Dämpfungsmaß b , wie βl aus γl .

Das Dämpfungsmaß ist ein praktisches Kennzeichen für die Brauchbarkeit einer Leitung zum Fernsprechen. Wenn man für die einzelnen Teile, aus denen die Leitung von einem Teilnehmer bis zum anderen sich zusammensetzt, bei der Kreisfrequenz $\omega = 5000$ für jedes in der Leitung liegende Amt einen Betrag von 0,15 und für jede nicht durch besondere Übertrager ausgeglichene Stoßstelle zwischen Leitungen von der Charakteristik Z_1 und Z_2 den Betrag $\frac{1}{2} \log \text{nat}$

$(Z_1 + Z_2) / 2\sqrt{Z_1 Z_2}$ hinzufügt ($Z_1 = 600$, $Z_2 = 1600$ ergibt 0,057), so ist die Verständigung sehr gut, wenn die Summe aller Beträge unter 2,5 liegt; 3,8 bedeutet eine noch gerade ausreichende Verständigung, während bei 4,8 die Grenze der Verständigungsmöglichkeit im Verkehr liegt.

Bei Leitungen mit Verstärkern wird der Verlust durch Dämpfung stets wieder durch Verstärkung ausgeglichen. Für solche Leitungen haben daher Rechnungen dieser Art keine Bedeutung. Es ist dagegen wichtig, bei ihnen dem Dämpfungsexponenten einen innerhalb des zu übertragenden Frequenzbandes möglichst gleichmäßigen Wert zu geben.

(1236) Bestimmungsgrößen. Die Größen α , β , \mathfrak{z} kann man außer durch Messung mittels Berechnung aus den Definitionsgleichungen in (1235) finden. Sie ergeben für die reellen Größen α und β

$$\alpha^2 = \frac{1}{2} \left(\sqrt{(\omega^2 L^2 + R^2)(\omega^2 C^2 + G^2)} + (\omega^2 CL - GR) \right)$$

$$\beta^2 = \frac{1}{2} \left(\sqrt{(\omega^2 L^2 + R^2)(\omega^2 C^2 + G^2)} - (\omega^2 CL - GR) \right)$$

Um einen Überblick zu erhalten, benutzt man Näherungsformeln. Wenn ωL gegen R unbedeutend ist, was bei gewöhnlichen dünnadrätigen Kabeln zutrifft, so ist nahezu

$$\alpha = \sqrt{\frac{\omega CR}{2}} \quad \beta = \sqrt{\frac{\omega CR}{2}} \quad \mathfrak{z} = \sqrt{\frac{R}{\omega C}} e^{-45^\circ}$$

Ist dagegen ωL beträchtlich gegen R , etwa das Doppelte oder mehr, so gilt mit wachsender Annäherung

$$\alpha = \omega \sqrt{CL} \quad \beta = \frac{1}{2} R \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{1}{2} G \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \mathfrak{z} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Diese Annäherung gilt bei Freileitungen von 3 mm Durchmesser aufwärts. In der nachstehenden Tabelle sind die Werte der drei Größen α , β , \mathfrak{z} für die meistgebrauchten Leitungsarten bei $\omega = 5000$ ($f = 798$) zusammengestellt.

Leitung	α für 1 km	β für 1 km	\mathfrak{z}
Kabelleitung mit 0,8-mm Leitern	0,076	0,076	$651 e^{-45^\circ} i$
Freileitung 3 mm	0,0181	0,00465	$620 e^{-43,6^\circ} i$
„ 4 „	0,0178	0,00300	$580 e^{-8,7^\circ} i$
„ 4,5 „	0,0177	0,00254	$567 e^{-7,3^\circ} i$
„ 5 „	0,0175	0,00219	$557 e^{-6,3^\circ} i$

(1237) Leitungen mit erhöhter Induktivität. Aus den in (1236) mitgeteilten Formeln ergibt sich, daß die Größe β unter sonst gleichen Umständen um so kleiner ist, je größer L wird, falls nicht die Ableitung G hohe Werte besitzt. Hierauf sind Verfahren begründet, Leitungen durch Erhöhung der Induktivität zu verbessern.

a) Verfahren nach Krarup (ETZ 1902, S. 344). Dies läßt sich nur für Kabel anwenden und besteht darin, daß die Kupferleiter mit einer bis drei Lagen feinen Eisendrahts (0,2 bis 0,3 mm Durchmesser) bewickelt werden. Näheres über solche Kabel in (1393).

b) Verfahren nach Pupin. Die Einführung der Röhrenverstärker hat die Anwendung dieses Verfahrens gegen die Praxis vor einem Jahrzehnt wesentlich geändert. Während früher sein größter Vorteil darin lag, daß es eine Herabsetzung der Dämpfungskonstante auf etwa $\frac{1}{3}$ des natürlichen Wertes ohne erhebliche Aufwendungen ermöglichte, hat dieser Umstand heute kaum eine Bedeutung, weil die Verluste durch die Dämpfung in noch wirksamerer Weise durch Verstärker ersetzt werden können. Da wo die Pupinisierung noch angewendet wird, nämlich auf dünnadrätigen Kabeln, dient sie in erster Linie dazu, die aus der in (1236) angegebenen Gleichung für β ersichtliche Abhängigkeit der Dämpfungskonstante von der Frequenz zu mildern. Daher ist bei oberirdischen Leitungen, für die aus baulichen Gründen Drähte mit nicht weniger als 3 mm Durchmesser verwendet werden müssen, die Pupinisierung vollständig aufgegeben worden, weil bei diesen die Dämpfungskonstante von der Frequenz und im wesentlichen auch vom Isolationszustande unabhängig ist, während belastete

oberirdische Leitungen gegen Isolationsänderungen sehr empfindlich waren. Auch starkdrähtige Fernsprechkabel mit Pupinspulen, wie vor reichlich einem Jahrzehnt das Rheinlandkabel Berlin - Köln (ETZ 1914, S. 428), werden zur Zeit nicht mehr gebaut. Die Leitungen für das im wesentlichen nach einheitlichen Gesichtspunkten geplante internationale Fernsprechnetzen bestehen teils aus 0,9 mm, teils aus 1,3 oder 1,4 mm starken Drähten (1310).

(1238) Theoretische Regeln. Die in (1236) gegebene Formel für β bei einer Leitung, für welche ωL beträchtlich gegen R ist, gilt unter Berücksichtigung der durch die Spulen zugefügten Beträge an Widerstand, Induktivität und Kapazität so, als wenn die Eigenschaften gleichmäßig über die Leitung verteilt wären, aber nur für solche Frequenzen, welche genügend unter der Grenzfrequenz bleiben. Wenn die durchschnittliche Kapazität, Leitungen und Spulen zusammengerechnet, für die Längeneinheit mit C bezeichnet wird, die durchschnittliche Induktivität in demselben Sinne mit L , der Spulenabstand mit s , so ist die Grenzfrequenz

$$\omega_0 = \frac{2}{s\sqrt{CL}}.$$

Wechselströme mit dieser und mit höheren Frequenzen werden überhaupt nicht übertragen. In dem Gebiete unterhalb ω_0 gilt die Formel (Campbell, Pleijel)

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}} \left(\frac{R \left(1 - \frac{2}{3} \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right) + R_s}{2\sqrt{L_s/C}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L_s}{C}} \right).$$

R und C sind Eigenschaften der Leitung für die Längeneinheit, L_s und R_s die Beträge, welche durch die Spulen für die Längeneinheit hinzugefügt werden.

Führt man in diese Gleichung ein die Zeitkonstante der Spulen $\tau = L_s/R_s$, die selbst mit der Frequenz veränderlich ist, den Verlustwinkel des Dielektrikums $\delta = G/\omega K$, der für Papier im Gebiete der Sprechfrequenzen konstant ist, das Frequenzverhältnis $w = \omega/\omega_0$, und drückt ferner L_s durch C , ω_0 und s aus, so erhält man

$$\beta = \omega_0 s \frac{CR}{4} \frac{1 - \frac{2}{3} w^2}{\sqrt{1 - w^2}} + \frac{1}{\omega_0 s} \frac{1}{\tau} + \omega \delta.$$

(1239) Grenzfrequenz. Solange man keine Verstärker benutzte, galt als genügend hoher Wert der Grenzfrequenz $\omega_0 = 14000$ bis $\omega_0 = 18000$. Nach den gegenwärtigen Anschauungen genügt $\omega_0 = 18000$ für Kabelleitungen bis zu 700 km Länge, während darüber hinaus eine Steigerung bis zu $\omega_0 = 36000$ empfohlen wird.

Dieser Unterschied ergibt sich aus den Einschwingvorgängen. Der Übergang vom Zustand der Ruhe zu dem einer dauernden Schwingung oder der umgekehrte, oder von einer Art Schwingung zur anderen wirkt wie einmaliger Impuls, der ein Schwingen des ganzen Systems in allen ihm eigenen Frequenzen hervorbringt. Während dieser Übergangszeit interferieren die zu übertragenden Schwingungen mit den Eigenschwingungen der Leitung, und die akustische Wirkung, welche eine Verzerrung des zu übertragenden Klanges bedeutet, ist um so größer, je größer der Unterschied der Laufzeiten für die einzelnen Frequenzen in dem zu übertragenden Bereich ist. Die Laufzeit ergibt sich als αl . Bei homogenen oberirdischen Leitungen, für welche mit großer Genauigkeit $\alpha = \omega\sqrt{CL}$ ist, machen diese Erscheinungen keine Schwierigkeiten. Bei belasteten Leitungen ist α_1 bestimmt durch die Gleichung

$$\sin \frac{\alpha_1 s}{2} = \frac{\omega\sqrt{CL}}{2} s.$$

Bleibt der Unterschied der Laufzeiten für eine Strecke $l = ns$, also $(\alpha_1 - \alpha)l$, für die größte zu übertragende Frequenz ω unter einem durch Versuch festzustellenden Betrage \mathcal{A} , so halten sich die Verzerrungen in erträglichen Grenzen. Man erhält so

$$(\alpha_1 - \alpha)ns = \frac{n}{3} \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^3 \cong \mathcal{A}$$

Daraus folgt, daß $n/\omega_0^3 = l/s \omega_0^3$ unter einem empirisch festzustellenden Werte bleiben muß. Es hat sich dafür ergeben

$$\frac{s}{l} \omega_0^3 = 10^{10}.$$

Abb. 750 stellt die aus dieser Formel sich ergebende Reichweite in Abhängigkeit von der Grenzfrequenz im Netz dar. Die für große Entfernungen erforderliche Erhöhung der Grenzfrequenz bedingt schwächere Belastung, daher größere Dämpfung und Vermehrung der Verstärker. Ein aussichtsreiches Mittel, das diese Nachteile vermeidet, ist, der Leitung abschnittsweise solche künstliche Leitungen zuzuschalten, bei denen die niedrigen Frequenzen größere Phasenlaufzeiten haben, als die höheren, um so die mittlere Laufzeit nahezu gleich zu machen. (Lüschen: E. u. M. 1925, S. 209).

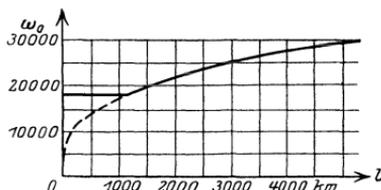


Abb. 750. Reichweite der Pupinkabel.

(1240) Echoerscheinungen. Die Nachbildungen, die man im Verstärkerbetrieb verwendet, weichen für einzelne Frequenzen mehr oder weniger von der nachzubildenden Leitung ab. Infolgedessen findet ein Teil der verstärkten Ströme einen Weg zum Ausgang zurück und erreicht, wenn die Leitung mit Verstärkern ausgerüstet ist, den Leitungsanfang, als sekundäres Echo auch das Leitungsende mit einer Stärke, die bei einem gewissen Betrage stört, wenn sie von dem ursprünglichen Impuls zeitlich genügend absteht. Dies trifft auch bei schwacher Belastung noch zu. Neuerdings sind Echosperrern in Gebrauch gekommen. Ein Teil des Sprechstromes wird abgezweigt, verstärkt und gleichgerichtet. Er kann dann entweder benutzt werden, um durch ein Relais den Zweig des Verstärkers für die andere Richtung (oder das zweite Paar der Vierdrahtleitung) für das Echo zu sperren (El. Comm. Bd. 4, S. 40) oder durch Verlagerung der Vorspannung des Gitters im Verstärker für die andere Richtung diesen unwirksam zu machen.

(1241) Viererausnutzung. Kabel für Fernleitungen sind aus Vierern aufgebaut. Zwei gegeneinander induktionsfreie Doppelleitungen sind unter sich wieder so verseilt, daß sie gegen andere Doppelleitungen und Vierer des Kabels induktionsfrei sind. Es gibt zwei Arten; nach Martin-Dieselhorst werden zwei für sich verdrehte Doppelleitungen miteinander zum Vierer verseilt; im Sternvierer liegen vier Adern schraubenförmig um die Achse, je zwei gegenüberliegende bilden ein Paar, die Ebenen dieser Paare sind senkrecht gekreuzt. Wegen der Kapazitätsverhältnisse eignet sich der Sternvierer bisher nicht für Fernleitungen mit Verstärkern. Bei der Belastung des Vierers werden besondere Spulen für die Belastung der Stammleitungen und der Viererleitungen eingeschaltet; die Belastungsspulen der einen Art sind für die andere ohne Wirkung.

Eigenschaften von Telegraphen- und Fernsprechleitungen.

(1242) Oberirdische Leitungen. a) Einzelleitungen. Die Kapazität eines einzelnen Drahtes gegen Erde ergibt sich zu $C = 0,0241/\log \text{ vulg } (2h/q) \mu\text{F}/\text{km}$, wenn h die Höhe über dem Erdboden, $2q$ der Drahtdurchmesser ist. Durch benachbarte Leitungen wird dieser Wert stark verändert. Die Induktivität einer an beiden Enden geerdeten Einzelleitung kann man aus der Formel berechnen

$L = 2 \left(\log \text{nat } 2l/\rho - 1 + \frac{\mu}{4} \right) \cdot 10^{-4}$ H/km, sie ist also von der Länge etwas, von μ stark abhängig. Für Telegraphierströme kann man bei Eisendrähten $\mu = 100$ setzen. Für Kupfer- und Bronzeleitungen nimmt man ausreichend genau $C = 0,0065 \mu\text{F/km}$, $L = 0,004$ H/km an.

b) Doppelleitungen. Für Kapazität und Induktivität eisenfreier Leitungen gelten für 1 km Schleife die Formeln $C = 0,012 \log \text{vulg } (2d/\rho) \mu\text{F/km}$ und $L = 4 (\log \text{nat } 2d/\rho + 0,25) \cdot 10^{-4}$ H/km. Die danach sich ergebenden Werte werden durch die Kapazität der Isolatoren und durch Rückwirkungen aus benachbarten Leitungen etwas verändert. Auch der wirksame Widerstand, der bei 15°C mit Rücksicht auf die höhere Festigkeit der zu Freileitungen verwendeten Drähte etwa gleich $0,48/(2\rho)^2$ ist, verändert sich durch Induktions- und Wirbelströme. Die nachstehende Tabelle gibt für $\omega = 5000$ Werte der elektrischen Eigenschaften von Freileitungen für 1 km Schleife auf Grund von Messungen.

2 ρ in mm	Widerstand Ω/km	Kapazität $\mu\text{F/km}$	Induktivität mH/km
2,0	12,0	0,0054	2,20
2,5	2,7	0,0057	2,10
3,0	5,44	0,0060	2,04
4,0	3,16	0,0064	1,85

Die Ableitung oberirdischer Fernsprechleitungen beträgt bei gutem Stande und gutem Wetter weniger als $0,1 \mu\text{S/km}$, sie kann aber bei schlechtem Wetter auf $0,5 \mu\text{S/km}$ steigen, ohne daß die Leitungen einen ausgeprägten Fehler besitzen.

(1243) Telegraphenkabel. Nur für die mit Guttapercha isolierten Kabel lassen sich einigermaßen genaue Angaben machen. Für den

a) Leitungswiderstand gilt nach den Lieferungsverträgen, daß er bei 25°C für 1 km höchstens $17,5 \Omega$ für jedes mm^2 des Querschnitts betragen darf.

b) Die Kapazität kann man nach der Formel berechnen

$$C = \frac{0,024 \varepsilon}{\log \text{vulg } D/2\rho} \mu\text{F/km},$$

worin für ε Werte zwischen 3,5 und 4 zu setzen sind. 2ρ bezeichnet den Durchmesser der Seele, D den der Guttaperchaader. Es ist gebräuchlich, ein Kabel nach den Gewichten der für die Seemeile oder das Kilometer erforderlichen Mengen von Kupfer und Guttapercha zu bezeichnen. Bei gleichen Mengen beider Materialien erhält das Kabel eine Kapazität von $0,192 \mu\text{F/km}$. Bezeichnet C_u das Kupfergewicht, G das Guttaperchagewicht, so ist sehr nahe

$$C = \left(0,110 + 0,082 \frac{C_u}{G} \right) \mu\text{F/km}.$$

In Ländern englischer Sprache ist es üblich, die Stärke eines Kupferleiters durch sein Gewicht P in englischen Pfunden für eine Meile anzugeben. Zur Umrechnung dient (11).

c) Die Induktivität von Telegraphenkabeln ist so gering, daß man sie bei der Berechnung von Stromvorgängen vernachlässigen kann. Nach Messungen von Breisig (ETZ 1899, S. 842) war die Induktivität eines Kabels mit $2\rho = 0,5$ cm, $C = 0,212 \mu\text{F/km}$ etwa gleich $0,0024$ H/km.

d) Der Isolationswiderstand hängt sehr von der angewandten Guttaperchamischung ab, außerdem gesetzmäßig von D und 2ρ . Ist A eine Zahl zwischen 2500 und 7000, so ist der Isolationswiderstand

$$W = A \log \text{vulg } \frac{D}{2\rho} M \Omega/\text{km}.$$

(1244) Fernsprechkabel mit Luftisolation. Alle Eigenschaften werden für 1 km Doppelleitung angegeben, da Einzelleitungskabel in der modernen Technik keine Bedeutung mehr haben.

a) Der Widerstand für 1 km ist mit $0,44/(2\varrho)^2$ (ϱ in cm) anzunehmen; bei den gebräuchlichen Stärken ist er von der Frequenz nahezu unabhängig.

b) Für die Kapazität der Doppelleitung gilt die Formel

$$C = \frac{0,019}{\log \text{vulg } u} \mu\text{F/km},$$

wo u eine von der Bauart des Kabels abhängige Größe ist. Bei einem Kabel mit zwei oder vier Doppelleitungen innerhalb eines Bleimantels vom Radius r , bei denen die Querschnitte vom Radius ϱ den Achsenabstand $2d$ besitzen, ist $u = 2d(r^2 - d^2)/\varrho(r^2 + d^2)$. Bei vielpaarigen Kabeln, in denen auf eine Doppelleitung der Raum q cm² entfällt, ist

$$u = \frac{0,43\sqrt{q}}{\varrho} \left(1 - 0,56 \frac{\varrho}{\sqrt{q}}\right).$$

Für annähernde Rechnungen kann man die Kapazität mit $0,033 \mu\text{F}$ für Kabel mit 0,8 mm starken Drähten bis $0,038$ für Kabel mit 2 mm starken Drähten ansetzen.

c) Die Induktivität gewöhnlicher Fernsprechkabel ist gleichfalls gering und braucht gegen den Widerstand nicht berücksichtigt zu werden. Man kann sie berechnen nach der Formel

$$L = 4 \left(\log \text{nat} \frac{2d}{\varrho} + \frac{1}{4} \right) \cdot 10^{-4} \text{ H/km}.$$

d) Die Ableitung in Fernsprechkabeln gegen Wechselströme von der Frequenz der Telephonströme ist bei weitem höher als die gegen Gleichstrom. Es hat nach den bisherigen Erfahrungen den Anschein, daß die Größe G/C eine Materialkonstante ist, deren Wert für Papierkabel zwischen 15 und 60 liegt.

Bei Guttaperchakabeln ist dies Verhältnis etwa gleich 100; daher eignet sich Guttapercha nicht für Fernsprechkabel; sie wird durch Balata ersetzt, für welche das Verhältnis im Anwendungsgebiet etwa den Wert 12 bis 15 hat.

(1245) Deutsches Normalfernkabel. Es enthält im Kern einen Meßvierer unter besonderem Bleimantel, darüber in zwei Lagen 7 + 13 Vierer aus 1,4 mm starken Drähten und darüber in einer Lage 28 Vierer aus 0,9 mm starken Drähten.

Für den Widerstand der Stammleitungen ist eine obere Grenze von 57,8 und 23,8 Ω/km festgesetzt, der Unterschied des auf jeden Zweig entfallenden Anteils darf bei einer Werklänge von L m den Betrag $0,3\sqrt{L}/280 \Omega$ nicht überschreiten.

Der Sollwert der Kapazitäten ist für die dünneren Leiter $0,0335 \mu\text{F/km}$ im Stamm und $0,054 \mu\text{F/km}$ im Vierer, für die stärkeren Leiter gelten bezüglich der Zahlen 0,0355 und 0,057. Von diesen Sollwerten darf der Mittelwert einer Lage um nicht mehr als ± 4 vH abweichen, und die Betriebskapazitäten der einzelnen Stamm- und Viererleitungen müssen bis auf ± 3 vH bei den stärkeren und ± 5 vH bei den schwächeren Leitungen gleich dem Lagenmittelwert sein. Für 10 vH der Leitungen ist ein etwas größerer Spielraum zugelassen.

Der Spulenabstand beträgt 2000 m mit ± 2 vH. Indessen muß er in einer Verstärkerlänge einheitlich sein, derart, daß keine Spule um mehr als 10 m nach der einen oder anderen Seite von der genauen Stelle abweichen darf.

Es gibt drei verschiedene Arten von Pupinisierung, nämlich für die 1,4 mm und 0,9 mm starken Drähte die Normalbelastung und für die 0,9 mm starken die leichte Belastung. Die Belastungen und die Ergebnisse sind aus folgender Tabelle ersichtlich. Für die Induktivität der Spulen ist ein Spielraum von ± 2 vH zugelassen, die Ungleichheit für die beiden Wicklungen einer Stammspule darf 0,3 vH nicht übersteigen.

	1,4 mm normal		0,9 mm normal		0,9 mm leicht	
	St.	V	St.	V	St.	V
L in H/km . . .	0,095	0,035	0,100	0,035	0,050	0,020
Grenzfrequenz . . .	17200	22100	17300	23300	33500	43000
Wellenwiderstand .	1630	775	1730	805	855	440
$10^4 \beta$ bei $\omega = 5000$.	97	101	197	210	367	350
$10^4 \beta$ „ $\omega = 12000$	133	131	236	234	368	353

Für Musikübertragung im Rundfunk werden neuestens die Stämme des Kernvierers für eine Grenzfrequenz $\omega = 60000$ belastet.

Für das Dämpfungsmaß des Nebensprechens wird in Zweidrahtkreisen wenigstens $b = 7,5$, in Vierdrahtkreisen wenigstens $b = 9,2$ gefordert, wenn die Sende- und Empfangsapparate an derselben Kabelseite liegen; das sogenannte Gegennebensprechen darf keine geringere Zahl als $b = 7,5$ zeigen.

Die vorläufigen internationalen Vereinbarungen lassen die normale Pupinisierung bis zu Strecken von 700 km zu. Tatsächlich sind innerhalb Deutschlands 1000 km lange Strecken in dauerndem befriedigenden Betrieb.

(1246) Kettenleiter (147). Man versteht darunter Schaltungen, in denen mehrere im wesentlichen gleichartige Vierpole in Reihe verbunden sind. Nach dem Aufbau unterscheidet man die Glieder in solche der II-Form (erster Art) und solche der T-Form (zweiter Art). Letztere heißen bei symmetrischer Anordnung auch H-Schaltungen. Wenn in dem Querbalken eines H-Leiters ein Leiter vom Leitwert \mathfrak{G} liegt, während der auf einen oder beide Längsbalken, aber zum Querbalken gleichmäßig verteilte Scheinwiderstand der übrigen Teile im ganzen \mathfrak{R} ist, so ergibt sich zwischen den Spannungen und Stromstärken an den Eingangs- und Ausgangsklemmen die doppelte Beziehung

$$U_1 = U_2 \left(1 + \frac{\mathfrak{R} \mathfrak{G}}{2} \right) + \mathfrak{R} \mathfrak{I}_2 + \left(\frac{\mathfrak{R} \mathfrak{G}}{4} \right)$$

$$\mathfrak{I}_1 = \mathfrak{I}_2 \left(1 + \frac{\mathfrak{R} \mathfrak{G}}{2} \right) + U_2 \mathfrak{G}$$

Die zugehörige gleichmäßige Ersatzleitung wird daher bestimmt durch

$$\text{Cof } g = 1 + \frac{\mathfrak{R} \mathfrak{G}}{2} \quad 3 = \sqrt{\frac{\mathfrak{R}}{\mathfrak{G}} \left(1 + \frac{\mathfrak{R} \mathfrak{G}}{4} \right)}$$

Für die Spannungen und Stromstärken am Anfang und am Ende einer Kette von n Gliedern gilt dann

$$U_a = U_e \text{Cof } ng + 3 \mathfrak{I}_e \text{Sin } ng$$

$$\mathfrak{I}_a = \mathfrak{I}_e \text{Cof } ng + \frac{U_e}{\gamma} \text{Sin } ng$$

Nach Analogie homogener Leitung setzt man

$$\text{Sin } \frac{g}{2} = \text{Sin} \left(\frac{ia + b}{2} \right) = \sqrt{\mathfrak{R} \mathfrak{G}} = ia_1 + b_1$$

worin also a das Winkelmaß, b das Dämpfungsmaß bezeichnet, während a_1 und b_1 sich aus \mathfrak{R} und \mathfrak{G} ergeben.

Die Zerlegung in die reellen und imaginären Teile führt zu den Gleichungen

$$\frac{1}{2} \left(e^{\frac{b}{2}} - e^{-\frac{b}{2}} \right)^2 = \sqrt{(1 - w^2)^2 + b_1^2} - (1 - w^2)$$

$$2 \cos^2 \frac{a}{2} = \sqrt{(1 - w^2)^2 + b_1^2} + (1 + w^2)$$

Die Art der Abhängigkeit zwischen w und der Frequenz kennzeichnet einen bestimmten Kettenleiter. Hier steht w^2 für $\frac{1}{4}(a_1^2 + b_1^2)$. Bei solchen Werten von w , bei denen $1 - w^2$ groß gegen b_1^2 ist, ergibt sich

$$\left(e^{\frac{b}{2}} - e^{-\frac{b}{2}} \right)^2 = \frac{b_1^2}{1 - w^2},$$

und da rechts eine kleine Größe steht, auch

$$b = \frac{b_1}{\sqrt{1 - w^2}}.$$

Unter derselben Bedingung erhält man $\sin \frac{a}{2} = w$.

Bei Werten von w , die sich der Einheit mehr nähern oder sie überschreiten, nimmt b erhebliche Werte an, und a nähert sich dem Werte π .

Der Kettenleiter hat also eine Grenzfrequenz, die dem Werte $w = 1$ entspricht.

Bei der Spulenleitung ist $\mathfrak{R} = R + i\omega L$, $\mathfrak{G} = i\omega C$, also, wenn R klein gegen ωL ist

$$i a_1 + b_1 = i\omega \sqrt{CL} + \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}.$$

Unter Vernachlässigung geringer Größen erhält man $w^2 = \frac{\omega^2 CL}{4}$.

Die Grenzfrequenz wird daher $\omega_0 = 2\sqrt{CL}$, und so ist

$$w = \frac{\omega}{\omega_0}, \quad b = \frac{\frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}.$$

Bei der Kondensatorleitung ist

$$\mathfrak{R} = \frac{1}{i\omega C}, \quad \mathfrak{G} = \frac{1}{R + i\omega L}.$$

Man erhält daraus

$$w = \frac{\omega_0}{\omega}, \quad b = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} \left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)^2.$$

Die Spulenleitung läßt nur die Frequenzen durch, die unter ω_0 liegen, dagegen die Kondensatorleitung diejenigen, welche über ω_0 liegen. Schaltet man zwei Ketten dieser Art, die verschiedene Grenzfrequenzen haben, so werden nur die zwischen diesen liegenden Frequenzen durchgelassen. Einfacher kann dies mit der Siebkette erreicht werden, deren Glieder in Reihe mit der Spule noch einen Kondensator enthalten (147).

(1247) Eichleitungen. Man versteht darunter Schaltungen, die in meßbarer Weise eine ähnliche Abschwächung der eintretenden und der austretenden Leistung hervorbringen, wie ein Leitungssystem. Gegenwärtig wird verlangt, daß die Angaben des Apparats von der Frequenz unabhängig seien. Zur Zuverlässigkeit der Angaben ist es ferner erforderlich, daß Eingangs- und Ausgangswiderstände der Eichleitung gleich denen der zu messenden Leitung seien. Eine bequeme Anordnung dafür ist eine H-Schaltung aus reinen Widerständen, bei der sowohl die Längswiderstände, wie auch der Widerstand der Brücke, letzterer fein, einstellbar sind. Für Betriebsmessungen wird ein Apparat gebraucht, der Dekadensätze von H-Leitungen gleichen Wellenwiderstandes und um Zehntel und Einer steigenden Dämpfungsmaßes enthält (1030).

Hauptsächlich im Bereich der American Telephone and Telegraph Co. gebraucht man Eicheleitungen, die nicht nach dem absoluten Dämpfungsexponenten, sondern in Vielfachen N des Exponenten $1/20 \log \text{nat } 10 = 0,115$ (Transmission Unit, TU) geeicht sind. Ihr Vergleich mit solchen absoluten Maßes ergibt sich aus der Beziehung $100,1N = e^{2b}$.

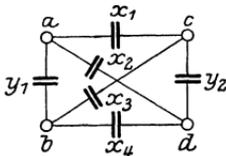


Abb. 751. Kopplungskapazitäten eines Vierers.

(1248) **Nebensprechen.** Seine Ursache ist im wesentlichen in Ungleichheiten der Kapazitäten der Zweige zweier Doppelleitungen oder einer Doppelleitung gegen die Viererleitung begründet.

Sind in einem Vierer mit den Doppelleitungen ab und cd die Teilkapazitäten nach Abb. 751 bezeichnet, unter Einrechnung der Erdkapazitäten jeder Ader, so ergeben sich zur Beurteilung der Freiheit vom Nebensprechen drei Kopplungskapazitäten:

$$k_1 = \frac{x_1 x_4 - x_2 x_3}{\frac{1}{4}(x_1 + x_2 + x_3 + x_4)}$$

$$k_2 = x_1 + x_2 - (x_3 + x_4)$$

$$k_3 = (x_1 + x_3) - (x_2 + x_4).$$

Eine andere Bezeichnungsweise setzt

$$x_1 - x_3 = p, \quad x_2 - x_4 = q$$

$$x_1 - x_2 = r, \quad x_3 - x_4 = s.$$

Dann ist

$$k_2 = p + q, \quad k_3 = r + s,$$

und da die Summen der Teilkapazitäten sich nur wenig von dem Doppelten ihres Mittelwertes unterscheiden, so ist angenähert

$$k_1 = p - q = r - s.$$

Wenn $k_1 = 0$, so herrscht Freiheit von Nebensprechen zwischen den Stammeleitungen ab und cd , das auch Übersprechen genannt wird. $k_2 = 0$ und $k_3 = 0$ zeigen an, daß kein Nebensprechen zwischen der Viererleitung und der ersten oder zweiten Stammeleitung besteht; dies heißt auch Mitsprechen.

Um diese Beziehungen so gut wie möglich herzustellen, wendet die Western El. Co. den Ausgleich durch Vertauschung passender Adern im Vierer an. Eine Kabellänge zwischen zwei Spulenpunkten wird in mehrere, mindestens drei, Abschnitte zerlegt, die Kopplungskapazitäten für jedes Teilstück gemessen und dann die Aderpaare so verbunden, durch Kreuzung (z. B. die a -Ader in der einen Länge mit der b -Ader in der nächsten und umgekehrt) oder Platzwechsel (a/b mit c/d oder d/c), daß die Unterschiede ausgeglichen werden.

Ein anderes Ausgleichsverfahren ist von Siemens & Halske ausgearbeitet worden; in jedem Leitungsstück zwischen zwei Spulenpunkten werden nach Bedarf Kondensatoren solcher Größe zugeschnitten, daß die Gleichungen erfüllt werden.

(1249) **Berechnung der Form von Telegraphierströmen.** Außer den in (1229) dargelegten Formeln zur Darstellung des allgemeinen Wellenverlaufs, insbesondere des ersten Anspruchs eines Zeichens, benutzt man jetzt zur Berechnung für Stromkreise mit bestimmten Leitungen und Endschaltungen die von Malcolm aus der Heavisideschen Anlaufformel ermittelte Methode. Es wird zuerst der Kreis behandelt, als wenn in ihm eine dauernde EMK bestimmter komplexer Frequenz p tätig wäre. Dies führt zu der in (1232) angegebenen Formel für das Verhältnis $\mathfrak{E}/\mathfrak{I}_2$, das fernerhin mit H bezeichnet wird (Heavisidische Stamme-funktion). Setzt man $i\gamma = \mathfrak{I}$, so geht diese Beziehung für eine symmetrische Leitung über in

$$H = (R_a + R_e) \cos + \sin \left(\frac{R + pL}{\mathfrak{I}} + \frac{\mathfrak{I} R_a R_e}{R + p \cdot L} \right),$$

wobei zwischen p und ϑ die Gleichung $(R + pL)(G + pC) + \vartheta^2 = 0$ besteht. Man hat diejenigen Werte p_v aufzusuchen, welche $H = 0$ machen. Dann ist für einen bei $t = 0$ an der Sendestelle auftretenden Sprung der Spannung um E der in den Endapparat eintretende Strom gegeben durch

$$I_e = \frac{E}{(H)_{p=0}} + \sum_v \frac{E e^{p_v t}}{\left(p \frac{\partial H}{\partial p}\right)_{p=p_v}}$$

Bei dieser Methode sind also weder Integrationsrechnungen noch Konstantenbestimmungen erforderlich. Die rechnerischen Schwierigkeiten liegen bei der Feststellung der Wurzeln p_v . Unter entsprechend vereinfachten Voraussetzungen führt diese Formel auf die früher meist gebrauchten nach Sir William Thomson für Kabel ohne Induktivität oder von Vaschy für Leitungen mit Induktivität. Für zahlenmäßig bestimmte Werte führen Näherungsrechnungen zum Ziel. (Beispiele solcher Rechnungen in Malcolm: Theory of the subm. telegr. and teleph. cable, London 1917 und Kunert: Tel.- u. Fernspr.-Techn. 1915). Das Ergebnis der Rechnungen ist die Kurve des von einer einmal dauernd angelegten konstanten Stromquelle hervorgebrachten „Dauerzeichens“. Zieht man von seinen Ordinaten die einer kongruenten aber um die Zeit τ später liegenden Kurve ab, so erhält man die Kurve eines Einzelzeichens von der Dauer τ .

(1250) Angenäherte Berechnung der Telegraphiergeschwindigkeit. Sie kann für Systeme mit elektromagnetischen Empfangsapparaten aus dem Werte CRl^2 der Leitung und der Laufzeit $l\sqrt{CL}$ nach der von Wollin (Tel.- u. Fernspr.-Techn. 1921, S. 50) angegebenen Formel

$$T = 0,173 CRl^2 - l\sqrt{CL} + 0,002 n$$

berechnet werden. Wenn R_e größer als $\frac{1}{2}R_0$ des Leitungswiderstandes ist, ist 0,173 durch eine etwas größere Zahl zu ersetzen. T ist die kürzeste mögliche Zeit eines Stromschritts, d. h. der kleinsten Einheit, aus der sich die Zeichen aufbauen, in Sekunden, n bedeutet die Zahl der zwischen Sender und Empfänger hintereinander arbeitenden elektromagnetischen Relais. Beim Heberschreiber umfaßt T eine Stromsendung und die darauf folgende Erdung. Hier gilt $T = 0,030 CRl^2$.

Die Formeln für T gelten nur bis zu Mindestwerten, die durch die mechanischen Eigenschaften bedingt sind. So läßt der Siemenssche Typendrucker keinen größeren Wert als 0,012 für T zu, auch wenn die Ausbildung der Zeichenform für sich eine kürzere Zeit gestattet.

Freileitungsbau.

(1251) Benennungen. Unter einer Telegraphen- oder Fernsprechleitung versteht man einen einzelnen Draht, der die miteinander arbeitenden Telegraphen- oder Fernsprechapparate verbindet. Je nach der Zahl der zum Betriebe erforderlichen Leitungsdrähte wird unterschieden zwischen Einzelleitung, Doppelleitung, Viererleitung usw. Zum Schutze gegen Ableitung umgibt man den Leitungsdraht auf seiner ganzen Länge mit einem schlecht leitenden Stoffe (isolierte Leitung); eine einzelne isolierte Leitung oder eine Anzahl miteinander verseilter isolierter Leitungen, mit einer Schutzhülle umgeben, heißt Kabel. Spannt man den blanken Draht in der Luft, die auch als Nichtleiter angesehen werden kann, frei aus, so bildet dieser die Freileitung.

Das Gestänge umfaßt den Stützpunkt (Stangen, Rohrständler usw.) samt seinen Verstärkungen und den isolierten Befestigungsvorrichtungen für die Leitungen. Gestänge und Leitungsdrähte zusammen bilden die Freileitungslinie, während unter einer versenkten Linie (unterirdisch, unter Wasser)

das Kabel samt den Schutzvorkehrungen zu verstehen ist. Eine Mittelstellung nehmen die Luftkabel ein, die mit Hilfe von Tragseilen an den Freileitungsgestängen aufgehängt werden.

A. Freileitungslinien.

Telegraphenbauzeug.

(1252) Hölzerne Stangen. In Deutschland werden verwendet die verschiedenen Arten Pinus, und zwar hauptsächlich *P. silvestris*, Kiefer; daneben auch *P. abies*, *Abies excelsa*, Fichte, *P. picea*, *Abies pectinata*, Tanne und *P. larix*, Lärche; Eiche nur vereinzelt, wo sie billiger als Nadelholz zu haben ist.

Stangenzlängen: 7, 8 $\frac{1}{2}$, 10, 12 und 15 m; Durchmesser am Zopf der geschälten Stange für Hauptlinien (Stange I) 15 cm, für Nebenlinien (Stange II) 12 cm; Verjüngung vom Stammende zum Zopfe auf 1 m Länge 0,7 bis 1 cm.

Stangen I von	15	12	10	8 $\frac{1}{2}$	7	II von	10	8 $\frac{1}{2}$	7 m
Gewichte (roh)	360	220	160	130	100		115	90	70 kg
Rauminhalt	0,600	0,360	0,270	0,220	0,170		0,190	0,150	0,115 m ³ .

Sonstige wesentliche Bedingungen: Gerader Wuchs, gesunder Stamm, wirklichen Stammende eines Baumes, keine Astlöcher, Spaltstellen, Wurmlöcher. Querschnitt kreisrund; bei elliptischem Querschnitt muß Mittel aus großer und kleiner Achse den geforderten Abmessungen genügen. Die Stangen werden nach der Tränkung mit fäulniswidrigen Stoffen (1254) am Zopfende dachartig (4 cm Fall) abgeschragt und die Schnittflächen mit heißem Teer gestrichen, dem ein Zusatz von Petroleumasphalt beigegeben ist. 3 $\frac{1}{2}$ m vom Stammende wird die Eigentumsbezeichnung TV durch Einschlagen eines Bezeichnungsnagel angebracht, der die künftige Straßenseite für die Stange angibt.



Abb. 752. Bezeichnungsnägel.

Unter dem TV wird ein Bezeichnungsnagel, der durch einen bestimmten Buchstaben die Zubereitungsart und die Zopfstärke (I oder II) kennzeichnet, und bei der späteren Verwendung ein Jahresnagel eingeschlagen (vgl. Abb. 752).

(1253) Tragfähigkeit der Holzstangen. Eine in gerader Flucht verlaufende unverstärkte Linie mit 50 m Stützpunktsabstand, die mit Querträgern ausgerüstet ist, kann mit der folgenden Zahl von Drähten belastet werden, wenn sie bei einem senkrecht zur Linie wehenden Winde von 125 kg/m² Druck noch doppelte Sicherheit gegen Umbrechen haben soll:

Drahtdurchmesser		5mm	4mm	3mm	2mm	1,5 mm	Höchstsumme der Drahtdurchmesser bei verschiedener Drahtstärke
Zahl der Drähte an	Stangen I	14	18	25	40	55	
	Stangen II	—	—	15	23	32	46 „

Je nach den örtlichen Verhältnissen (Schutz gegen seitliche Winde, Rauhreifgefahr usw.) kann eine Über- oder Unterschreitung der obigen Zahlen erfolgen.

(1254) Stangenzubereitung. a) Mit Teeröl nach dem Rüpingschen Sparverfahren¹⁾. Die lufttrockenen Kiefernstangen (Tanne und Fichte eignen sich weniger dazu²⁾) werden in einem Kessel unter 2,5 . . . 4 at Druck gesetzt, bis sich alle Holzporen mit Druckluft gefüllt haben. Darauf wird das auf 100° C erhitzte Teeröl unter geringer Druckvermehrung eingelassen und nach Füllung des Be-

¹⁾ Bub-Tilger: Konservierung des Holzes. S. 808.

²⁾ ETZ 1920, S. 1055.

hälters mit 6...7 at Druck in das Holz hineingepreßt. Nach beendigter Tränkung wird das überschüssige Öl abgelassen und eine Luftleere von 60...65 cm Quecksilbersäule erzeugt, damit die in dem Holze eingeschlossene Druckluft entweichen kann und dabei alles Öl, das nicht an den Zellwänden haftet, heraus-schleudert. Die Aufnahme beträgt etwa 60 kg (gegen 300 kg bei dem alten Bethellschen Verfahren) für 1 m³.

Das aus Steinkohlenteer hergestellte Teeröl soll ungefähr bei +240° C sieden. Es soll so zusammengesetzt sein, daß bei der Verdampfung bis 150° C höchstens 3 vH, bis 200° C höchstens 10 vH und bis 235° C höchstens 25 vH übersieden. Das Öl soll bei 40° C vollkommen klar sein und auch bei Zusatz einer gleichen Raummenge von Benzol klar bleiben, ohne mehr als Spuren ungelöster Körper abzuscheiden. Gehalt an sauren in Natronlauge von 1,15 spez. Gew. löslichen Bestandteilen mindestens 6 vH; spez. Gew. des Teeröls nicht unter 1,04 und nicht über 1,15. Lebensdauer der Stangen etwa 22 Jahre; Tränkungskosten für 1 m³ durchschnittlich 22,42 Mk, Gesamtkosten für 1 m³ und Gebrauchsjahr 2,54 Mk¹⁾.

b) Tränkung mit Quecksilbersublimat (Kyan). Die entrindeten und lufttrocken gewordenen Stangen werden unter Zwischenlegen von Lattenstücken so in einen Holztrog oder Betonbehälter eingelagert, daß sie weder dessen Wände noch sich gegenseitig berühren und die Tränkungsflüssigkeit sie von allen Seiten umspülen kann. Durch Druckbalken ist zu verhindern, daß sich die Stangen nach Einlassen der Lösung infolge des Auftriebes über den Rand des Bottichs erheben.

Die Lösung wird in der Weise hergestellt, daß das Sublimat mit kochendem Wasser übergossen und der Flüssigkeit nach Umrühren mit Holzkrücken so viel Wasser beigegeben wird, bis die Senkwage 0,662 vH anzeigt. Zum Umfüllen in den Tränkbottich Steinzeuggumpen (keine eisernen!) benutzen. In der ersten Zeit der Tränkung muß durch Nachfüllen stärkerer Lösung eine Gehaltsverminderung der Flüssigkeit verhindert werden. Gutes Durchmischen (früher durch Holz-schau-feln, neuerdings durch Einblasen von Prelluft) erforderlich! Im Winter Einfrieren durch Einlassen heißen Dampfes verhüten. Eine vermehrte Queck-silberaufnahme und größere Eindringtiefe soll durch vorhergehende Behand-lung der Hölzer mit säurehaltigem Dampfe erreicht werden, wobei eine Quellung der Holzzellen eintritt. Bei dem Dämpfen werden alle Unterschiede die sich aus der verschiedenen Lagerzeit der Hölzer für die Aufnahme der Flüssigkeit ergeben, ausgeglichen (Diakyanisierung).

Tränkungsdauer: für Kiefer mindestens 8 Tage, Fichte und Tanne bis zu 14 Tagen. Nach Auspumpen der Sublimatlauge werden die Stangen an der Ober-fläche abgekehrt und gut abgebraust, worauf sie an der Luft getrocknet werden. Die Eindringtiefe läßt sich durch Bestreichen einer Probescheibe mit Schwefel-ammonium (Schwarzfärbung aller Stellen mit freiem Quecksilbersublimat) nach-prüfen. Um auch das von der Holzfaser gebundene Sublimat erkennbar zu machen, muß erst eine Zerstörung der Holzzellen durch Anätzen der Schnitt-fläche mit Mineralsäure dem Bestreichen mit Schwefelammonium vorangehen. Lebensdauer etwa 17 Jahre; Tränkungskosten für 1 m³ durchschnittlich 15,31 Mk, für 1 m³ und Gebrauchsjahr 2,90 Mk¹⁾.

c) Behandlung mit Fluorverbindungen, sowohl Kesseltränkung als auch Saftverdrängung, hauptsächlich in Österreich mit leidlichem Erfolg angewendet²⁾. In Deutschland wurden Fluorsalze (in der Hauptsache NaF) wäh-rend des Weltkrieges als Zusätze zum Quecksilbersublimat (Sparverfahren) be-nutzt. Daraus entwickelte sich die sog. veredelte Kyanisierung, die seit 1921 als Vollverfahren angewendet wird³⁾. Ausführung wie unter b. Als Tränkungs-

¹⁾ Nach dem Durchschnitt des Jahres 1924 berechnet.

²⁾ ETZ 1910, S. 663.

³⁾ Bub-Tilger: Konservierung des Holzes. S. 491.

flüssigkeit wird eine 1proz. Lösung von 20 Teilen Quecksilbersublimat + 80 Teilen Fluornatrium benutzt. Lebensdauer wird auf 17 Jahre geschätzt. Nach den bisherigen Beobachtungen ist es aber noch nicht sicher, ob diese tatsächlich erreicht wird.

d) Tränkung mit Basilit, die in Österreich ziemliche Verbreitung gefunden hatte¹⁾, bestehend aus einer 4proz. Lösung von 89 Teilen Fluornatrium + 11 Teilen Dinitrophenolanilin, wird in Deutschland wenig angewendet. Ebenso ist wegen zu geringer Wirkung das Verfahren nach Boucherie (Kupfersulfat) und Burnett (Zinkchlorid) aufgegeben worden.

e) Das Cobra-Impfstichverfahren. Durch eine Hebelvorrichtung wird eine Hohlzahn von linsenförmigem Querschnitt etwa 80 mm tief in das Holz hineingepreßt. Beim Zurückgehen füllt sie selbsttätig den Hohlraum mit einer Paste (3...5 cm³) aus. Diese besteht aus Lehm als Träger der Zubereitungsflüssigkeit, die aus Dinitrophenol, Fluornatrium, Arsen zusammengesetzt ist. Die Impfstiche werden in gleichmäßiger Verteilung und gegenseitiger Verschiebung von etwa 7 cm in einer Schraubenlinie an der Erdzone des Holzastes angebracht. Erforderlich eine ortsbewegliche Vorrichtung, die in etwa 8 Stunden 16 Masten zu behandeln gestattet. Bei Hinzutritt von Feuchtigkeit verteilen sich die gelösten Salze in dem dem Impfstich benachbarten Holze, so daß sich die einzelnen Zonen decken. — Bisher hat das Cobrav Verfahren nur in Überlandnetzen Anwendung gefunden. Sollte es sich als brauchbar erweisen, würde eine wesentliche Verbilligung der Zubereitung durch Wegfall der Frachten für die Beförderung der Stangen zu und von den Tränkungsanstalten eintreten. Ein weiterer großer Vorteil wäre die Möglichkeit einer Nachbehandlung der bereits in den Linien stehenden Stangen.

(1255) Pflege der Telegraphenstangen. Wenn eine Stange eine Reihe von Jahren im Erdboden gestanden hat, verliert sich in der Erdzone durch Auslaugen usw. der Zubereitungsstoffe die pilzwidrige Wirkung. Um ein Schadhafwerden dieser Stelle zu verhüten, muß für einen Ersatz der verbrauchten Giftstoffe gesorgt werden. Dies geschieht am einfachsten und billigsten durch Freilegen der gefährdeten Zone; nach gehörigem Abtrocknen Anstreichen mit (am besten heißem) Teeröl, Karbolinum usw. Das Zuwerfen darf erst erfolgen, nachdem der Anstrich gut ins Holz eingezogen ist. Das Verfahren ist alle paar Jahre zu wiederholen. Die Wirksamkeit solcher Anstriche ist durch systematische Versuche nachgewiesen²⁾. Einen erhöhten Schutz erzielt man durch Erhitzen der freigelegten Stangenoberfläche mit einer Lötlampe, wobei nicht nur alle Feuchtigkeit ausgetrieben und etwaige Fäulnisreger abgetötet, sondern auch alle Risse usw. im Holze geöffnet werden, so daß das daraufgespritzte heiße Teeröl gut eindringen und beim Erkalten der heißen Luft von den Holzzellen kräftig eingesogen werden kann³⁾.

Gleichzeitig mit dem Anstrich der Stammenden ist eine Erneuerung des Teeranstrichs auf den dachartigen Schnittflächen am oberen Stangenende zweckmäßig, wodurch die Zopfäule wirksam bekämpft wird.

(1256) Eisernen Stangen. Zu eisernen Stangen werden eiserne Röhren, einfaches und doppeltes T-Eisen verwendet.

Die Befestigung im Erdboden geschieht entweder durch Erdschrauben, eiserne Dreifuße mit Stiefeln, wie bei Gaskandelabern, oder durch Fundierung mit Steinquadern bzw. Betonklotzen. I-Eisen können auch nach Schlitz und Aufbiegen des Steges ohne weiteres in die Erde gestellt werden. Auf Mauerkrone wird eine eiserne Mauerplatte mit Stiefel durch Steinschrauben befestigt. Auf Gurtungen von Brücken wird diese Platte je den Verhältnissen entsprechend festgeschraubt.

¹⁾ Nowotny: Z. f. Post u. Tel. 1910, S. 210.

²⁾ Telegr. and Telephone age 1924, S. 412 u. f.; Telegraphenpraxis 1924, S. 246.

³⁾ El. World Bd. 83, S. 373.

Die Tragfähigkeit der eisernen Stangen ist der jeweiligen Belastung der Linie, in die sie eingebaut werden, anzupassen. Verwendungsgebiet: Steinerne und eiserne Brücken, Bahnhofsanlagen, in Straßenzügen, wo Holzstangen unschön wirken und ihr Ersatz von der Stadtbauverwaltung verlangt wird usw.

Mauerbügel. An Felswänden, Mauerwerk usw. werden die Isolatoren häufig einzeln an Flacheisenbügeln oder Gasrohren, die mit eisernen Armen vor der Mauer befestigt sind, angebracht; die Ausführung ist je nach Art der Mauer verschieden. Häufig vorkommende Formen s. Abb. 753, 754).

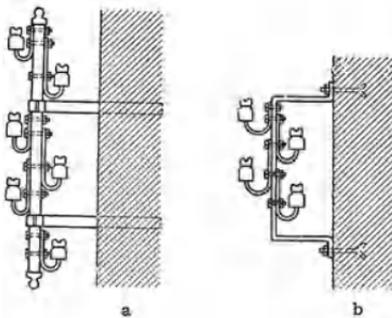


Abb. 753. Mauerbügel mit U-Stützen.

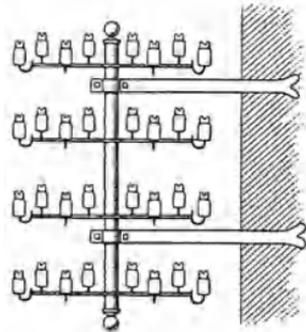


Abb. 754. Mauerbügel mit Querträgern.

Dachständer. Für Fernsprechleitungen, welche auf Dächern zu befestigen sind, werden sog. Rohrständer aus schmiedeeisernen Röhren oder nahtlos gewalzte Stahlröhren (Mannesmannröhren) von 5 mm Wandstärke verwendet. Der untere Teil des Ständers, der am Gehäuse befestigt wird, erhält 75 mm äußeren Durchmesser, der obere Teil, der die Querträger aufnimmt, 67 mm. Der obere wird in den unteren Teil eingeschraubt, doch werden die Mannesmannröhren auch in einem Stück unter entsprechender Absetzung des Durchmessers geliefert.

Die Belastung des einfachen, ausreichend verstärkten Rohrständers soll im allgemeinen

36	28	22	18	14
----	----	----	----	----

Drähte

von

1,5	2	2,5	3	4
-----	---	-----	---	---

 mm Stärke nicht übersteigen. Summe der Drahtdurchmesser bei gemischter Drahtstärke nicht über 54 mm. Bei stärkerer Belastung sind Doppelgestänge erforderlich.

An Stelle von Rohrständern werden vielfach auch Formeisen (einfache oder zusammengesetzte Querschnitte) benutzt, z. B. in Bayern, der Schweiz, in Schweden und Belgien.

(1257) Eisengittermasten. Reicht die Höhe oder die Biegefestigkeit der nach (1256) herzustellenden eisernen Bodengestänge für den vollen Ausbau der Linie voraussichtlich nicht aus, so werden dafür Gittermasten (einfache als Tragmasten und quadratische für Winkelpunkte und als Festpunkte [vgl. 1295]) verwendet. Kopfausrüstung mit Regelbauzeug.

Gittermasten werden auch für besonders hohe, in Dachlinien einzuschaltende Stützpunkte beim Fehlen geeigneter Häuser sowie zum Überschreiten von Flußläufen und für Kabelaufführungspunkte verwendet.

(1258) Eisenbetonmasten. Für den Telegraphen- und Fernsprechbau sind Eisenbetonmasten im allgemeinen wenig geeignet, weil für die Telegraphenlinien nicht die gleiche Stetigkeit der Belastungsverhältnisse wie z. B. bei Starkstromanlagen vorhanden ist. Da bei Leitungsvermehrungen eine nachträgliche Verstärkung der Linie nicht wie bei Holzstangenlinien möglich ist, so müßten die

Betonmasten von vornherein sehr reichlich bemessen werden, ohne daß feststeht, ob die angenommene Belastung später auch wirklich erreicht wird. Bei Veränderungen der Linienführung treten Schwierigkeiten auf (großes Gewicht, Fundamentklötze usw.). Betonmasten sind wirtschaftlich nur für sehr stark belastete Linien gerechtfertigt, die keinen Veränderungen mehr ausgesetzt sind; ferner sind sie zweckmäßig als Eckmasten in Straßen, für deren ausreichende Verstärkung es an Platz mangelt. Verwendbare Formen: Schleudermasten, Stampf- und Rüttelmasten mit rechteckigem Querschnitt, Hammermasten.

(1259) Stangenfüße. Das Bestreben, die Holzstangen dem verderblichen Einflusse der Erdfeuchtigkeit (Fäulniserreger) zu entziehen, hat zur Wiederauf-

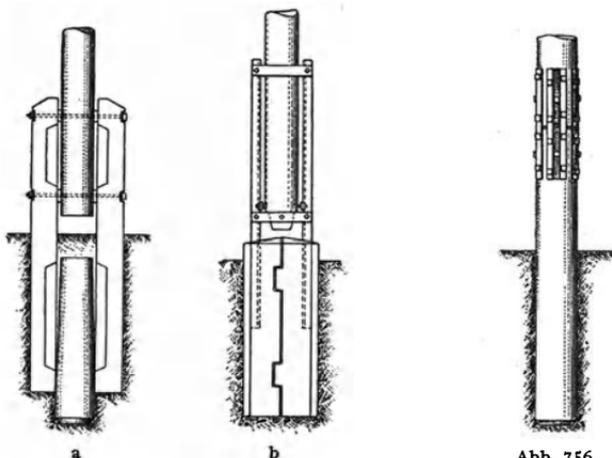


Abb. 755. Stangenfüße aus Eisenbeton.

Abb. 756. Hölzerner Stangenfuß.

nahme der bis 1854 zurückreichenden, später aber wegen der Kostspieligkeit wieder aufgegebenen Versuche¹⁾ mit Stangenfüßen geführt. Stangenfüße werden gegenwärtig in mannigfaltiger Bauart aus Formeisen mit einem Betonfundament, aus Eisenbeton und aus teeröldrucktränktem Hartholz hergestellt. Sie können entweder von Anfang an mit neuen (kürzeren) Stangen ausgerüstet oder nachträglich zur Instandsetzung durch Fäulnis unbrauchbar gewordener Stangen eingebaut werden.

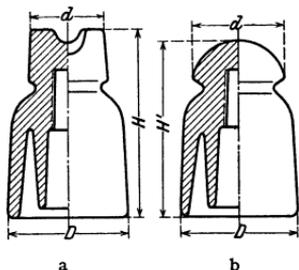


Abb. 757. Porzellandoppelglocken.

Die Festigkeitsverhältnisse der Stangenfüße sind im allgemeinen so bemessen, daß die damit versehenen Stangen annähernd dieselbe Biegefestigkeit wie eine ungeteilte Holzstange gleicher Länge besitzen. Abb. 755 a und b und 756 veranschaulichen einige typische Stangenfüße.

(1260) Isolatoren²⁾. Die deutsche Doppelglocke wird in drei Größen verwendet (Abb. 757 a und b).

¹⁾ Rother: Der Telegraphenbau. S. 28/29; Arch. Post Telegr. 1892, S. 437.

²⁾ vgl. Deutsche Industrienormen DIN/VDE 8020.

Doppel- glocke	verwendet für			Maße in mm			
	Linien	Drahtstärke		H	D	d	H'
		Eisen	Bronze				
RM I	Hauptlinien	4 bis 6	2 bis 5	141	86	59	130
RM II	Nebenlinien Fernsprech-Verbindungslei- tungen an eisernem Gestänge		2 bis 4	100	70	51	95
RM III	Amtseinführungen . . . Überführungssäulen . . . Fernsprechanschlußleitungen		1,5	80	60	40	75

Die Gewichte betragen annähernd 0,94 . . . 0,47 . . . 0,26 kg.

Die aus der Fabrik frisch bezogenen Isolatoren sollen im trockenen Zustande einen Isolationswiderstand von über 5000 $M\Omega$ für das Stück besitzen. Gebrauchte Isolatoren weisen im trockenen Zustande meist einen ebenso hohen Widerstand auf. Bei heftigem Regen sinkt der Isolationswert bedeutend, meist unter 10, häufig auch unter 1 $M\Omega$. Nach dem Aufhören des Regens steigt er ziemlich rasch wieder, und zwar um so rascher, je reiner die Glocke innen und außen ist. (Vgl. ETZ 1893, S. 503.)

Prüfung der Isolatoren. Die Isolatoren müssen beim Anschlagen hell klingen, die Glasur muß frei von Sprüngen, Rissen und Blasen sein, ein Weiß zeigen, welches nur sehr wenig ins Blaue oder Gelbe spielt. Zerschlägt man eine Glocke, so muß die Bruchfläche muschelig, feinkörnig und glänzend weiß sein. Feine Sprünge lassen sich ermitteln, indem man die Isolatoren mit dem Kopf nach unten eine Zeitlang in angesäuertes Wasser setzt und die inneren Höhlungen ebenfalls damit füllt. Das Wasser darf außen und innen nur bis auf einige Zentimeter vom Rande reichen. Man führt von der äußeren Flüssigkeit eine Zuleitung zu einem empfindlichen Galvanometer und von da zu einer kleinen Batterie. Den zum anderen Pol führenden Leitungsdraht taucht man nacheinander in die innere Höhlung aller Isolatoren; erfolgt ein Ausschlag, so ist der Isolator fehlerhaft.

Um den Isolationswert fehlerfreier Isolatoren zu bestimmen, mißt man den Übergangswiderstand vom Drahtlager bis zur Stütze (ETZ 1903, S. 503): in einem Schrank werden mehrere der zu prüfenden Doppelglocken auf Stützen an Querträgern aus Eisen befestigt. Auf dem Kopf oder am Hals der Glocken wird ein Stück Leitungsdraht vorschriftsmäßig befestigt und mit einem Guttaperchadrad durch eine in der Wand des Schrankes befindliche Öffnung an ein Meßsystem (Spiegelgalvanometer) angeschlossen. Die Stützen der Isolatoren sind mit einer Erdleitung verbunden. Im oberen Teile des Schrankes befindet sich ein Gefäß mit siebartigem Boden; wird aus der Wasserleitung Wasser eingelassen, so entsteht ein feiner Regen. Die Messungen können sowohl während des Regens als auch nach seinem Aufhören bei verschiedenen Feuchtigkeits- und Wärmegraden den wirklichen Verhältnissen entsprechend ausgeführt werden und liefern die richtigen Übergangswiderstände. Um zwei verschiedene Arten Isolatoren zu vergleichen, bringt man sie gleichzeitig und gleichmäßig verteilt im Benetzungsschrank unter. Eine Abbildung des Regenschrankes ist in Winnig, Grundlagen der Bautechnik für oberirdische Telegraphenlinien, S. 178 enthalten.

Die Porzellandoppelglocke, deren Grundform auf den Vorschlag des Preussischen Generaltelegraphendirektors v. Chauvin vom Jahre 1858 zurückzuführen ist, wird mit geringfügigen Abweichungen in allen Ländern für Fernmeldeanlagen, zum Teil auch für Niederspannungsnetze gebraucht. In Deutschland soll sie für Starkstromanlagen möglichst nicht mehr verwendet werden, seitdem hierfür ein besonderer Isolatortyp (vgl. Normblatt VDE 8000) vorgeschrieben

worden ist, um die Starkstromanlagen von den Fernmeldeanlagen auch äußerlich zu unterscheiden.

Eigenschaften des Porzellans (nach Friese): Dichte 2,30 bis 2,40. Wärmeausdehnungszahl 4,5 bis $6,5 \cdot 10^{-6}$. Druckfestigkeit 47,8 kg*/mm²; Zugfestigkeit 13 bis 20 kg*/mm²; Biegefestigkeit 4,2 bis 5,6 kg*/mm². Elastische Dehnungszahl 140 bis $190 \cdot 10^{-6}$ mm²/kg*. Wärmeleitungsfähigkeit (innere) 0,002 (g, cm, cm², °C); spezifische Wärme 0,17. Elektrische Durchschlagsfestigkeit etwa 10000 V/mm. Dielektrizitätskonstante etwa 5.

(1261) Die Stützen zur Befestigung der Isolatoren haben für hölzerne Stangen Hakenform mit kräftiger Holzschraube am wagerechten Teile, für eiserne Querträger gerade und U-Form (Abb.

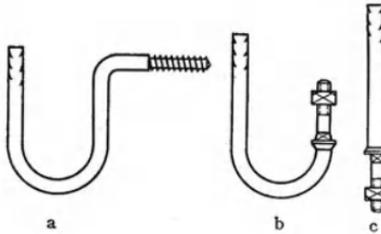


Abb. 758. a Hakenstütze, b U-Stütze, c gerade Stütze.

758 a, b, c). Der als Isolatorträger dienende senkrechte Teil der Stützen ist durch Einhauen aufgeraut, um dem zum Aufschrauben der Porzellanglocke umgewickelten Hanf einen Halt zu bieten. Entsprechend den 3 Arten von Isolatoren werden alle Stützen in 3 Größen aus Schmiedestahl hergestellt¹⁾. Als Form der Stützen für die Isolatoren, welche unmittelbar an eisernen Röhren oder an T-Eisen zu befestigen sind, wird am zweckmäßigsten die U-Form gewählt. Der an dem Träger zu befestigende Teil wird entsprechend abgeflacht (bei Röhren auch ausgerundet) und mittels zweier durchgehender Bolzen mit Muttern befestigt (Abb. 753). Bei abwechselnder Stellung der Stützen greift je ein Befestigungsbolzen durch den oberen Teil der einen und den unteren Teil der folgenden Stütze.

(1262) Eiserne Querträger werden zur Erhöhung der Aufnahmefähigkeit einfacher Holzstangenlinien sowie zur Ausrüstung der Doppelgestänge und der

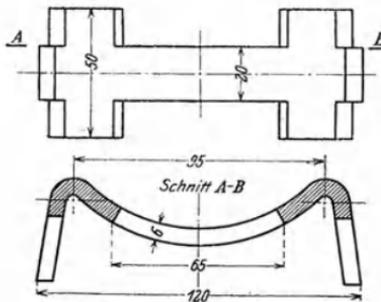


Abb. 759. Vorlegestück zur Befestigung des Querträgers an einfachen Holzstangen.

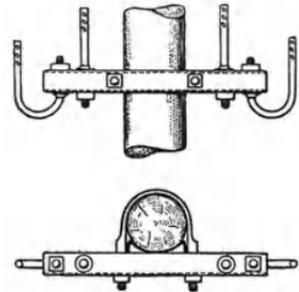


Abb. 760. C-Eisenquerträger.

eisernen Gestänge benutzt. Sie werden aus C-Eisen von 35 mm Steghöhe mit 35 mm breiten Flanschen (für Fernsprechan-schlußleitungen) und aus C-Eisen NP 4 von 40 mm Steghöhe mit 35 mm breiten Flanschen (für Telegraphen- und Fernsprechverbindungsleitungen) hergestellt und durch Ziehbander an den Stangen befestigt. Bei den Querträgern für einfaches Holzgestänge wird ein Verkanten und Schiefziehen durch ein besonderes Vorlegestück (Abb. 759)

¹⁾ Vgl. Deutsche Industrienormen DIN/VDE 8055/56

verhütet. — In diese Querträger werden die geraden und U-Stützen, für deren Bundstützen passende viereckige Löcher ausgestanzt sind, eingesetzt und durch Vierkantmütern festgezogen (Abb. 760).

Querträger werden bis zu 3 m Länge verwendet und zur Aufnahme von 4 bis 24 Isoliervorrichtungen eingerichtet.

(1263) Leitungsdraht. Verzinkter Eisendraht. Verwendung: Draht von 6 und 5 mm für die zwischenstaatlichen und für die großen inländischen Telegraphenleitungen, soweit sie nicht mit Schnelltelegraphenapparaten betrieben werden; Draht von 4 mm für die übrigen Telegraphenleitungen; Draht von 2 mm für Bindungen.

Hartgezogener Eisendraht kommt in der Hauptsache für Fernmeldeleitungen an Hochspannungs-Weitspannlinien, sowie im Gebirge (bei Rauhreifefahr) zur Verwendung (z. B. in der Schweiz).

Eigenschaften des Eisendrahtes.

Durchmesser mm	Gewicht von 1000 m Draht kg	Dämpfungs- zahl β für 1 km	Bedarf für 1 km Leitung kg	Biegeprobe		Chemische	Mechanische
				Biegungs- halbmesser mm	Zahl der Biegungen um 90°	Verzinkungsprobe Zahl der Eintauchungen	Durchmesser des Wickel- dorns in mm
6	222	—	230	15	8	8	60
5	153	0,0140	159	12,5	8	8	50
4	99	0,0162	103	10	8	7	40
2	24,5	0,0270	—	5	10 bis 12	6	20

Wegen der übrigen Eigenschaften s. die Tafel auf S. 381.

Die Biegeprobe¹⁾ wird so ausgeführt, daß der an einem Ende eingespannte Draht abwechselnd nach links und rechts um einen rechten Winkel und wieder zurück gebogen wird. Als eine Biegung wird gezählt: gerade—gebogen—wieder gerade. — Der Zinküberzug darf nicht abblättern, wenn der Draht auf einen Zylinder mit dem zehnfachen Drahtdurchmesser gewickelt wird. Der Überzug muß ferner je nach der Drahtstärke 6, 7 oder 8 Eintauchungen von je einer Minute Dauer in eine Lösung von 1 Gewichtsteil Kupfervitriol in 5 Gewichtsteilen Wasser aushalten, ohne daß sich eine zusammenhängende Kupferhaut bildet.

(1264) Kupferdraht. Zu den Fernsprechverbindungsleitungen und den Schnelltelegraphenleitungen wird Hartkupferdraht, in Rauhreifgebieten auch Bronzedraht I benutzt. Die 2 mm und 1,5 mm starken Leitungen werden ausschließlich aus Leitungsbronze II hergestellt. Leitungsbronzedrähte III werden von der Deutschen Reichspost für Freileitungen nicht benutzt (vgl. die Tafel auf S. 381).

Die Hartkupfer- und Bronzedrähte sollen bis etwa zur Hälfte ihrer Festigkeit eine möglichst geringe, bis zum Bruch aber eine möglichst große Dehnung haben. Da sie diese Eigenschaft im Anlieferungszustande nicht besitzen, werden sie vor ihrer Verwendung auf der Baustelle mit $\frac{1}{2}$ bis $\frac{2}{3}$ ihrer Festigkeit gereckt.

Verwendung: Draht von 3 mm Durchmesser²⁾ für Fernsprech-Verbindungsanlagen von 60 km und mehr; für wichtige und lange Telegraphenleitungen. Draht von 2 mm Durchmesser für Verbindungsanlagen von geringerer Länge; auch ausgeglüht als Bindendraht; Draht von 1,5 mm Durchmesser für Fernsprechanschlußleitungen und Verbindungsleitungen in Bezirksnetzen, sowie ausgeglüht als Bindendraht.

¹⁾ Näheres über Drahtprüfungen s. Win n i g: Grundlagen der Bautechnik f. oberirdische Telegraphenlinien, S. 139 u. f.

²⁾ Stärkere Leitungsdrähte als 3 mm werden nicht mehr benutzt. Bei großer Leitungslänge werden Verstärker angewendet.

Die Deutsche Reichspost verwendet:

Drahtart	Durchmesser mm	Gewicht von 1000 m Draht kg	Dämpfungs- zahl β für 1 km ¹)	Bedarf für 1 km Leitung kg	Biegeprobe	
					Biegeungs- halbmesser mm	Zahl der Biegungen um 90°
Hartkupfer . .	5	175	0,0021	178	12,5	6 $\frac{1}{2}$ ²⁾
	4	112	0,0029	114	10	6 $\frac{1}{2}$ ²⁾
	3	63	0,00465	65	7,5	6 $\frac{1}{2}$ ²⁾
Bronze I . . .	5	175	0,0021	179	12,5	8
	4	112	0,0029	116	10	9
	3	63	0,00465	65	7,5	9
Bronze II . . .	2	28	0,0084	30	5	7
	1,5	15,5	0,0158	17	3,75	8

Leichte Leitung. In besonderen Fällen wird in eine Leitung von 4 bis 6 mm Stärke zur Entlastung des Gestänges ein Stück schwächeren Drahtes (meistens Kupferdraht) eingeschaltet, z. B. beim Überschreiten der Eisenbahn oder Straße, beim Durchlaufen von Bahnhöfen, Ortschaften, zur Weiterführung der Leitung von der Abspannstange bis zur Außenwand des Dienstgebäudes oder bis zur Überführungssäule (1327) oder dem Überführungskasten vor einer Kabelleitung, an Untersuchungsstellen zur Verbindung der Leitungszweige, in Kurven.

(1265) **Kupfermanteldrähte** (Kupferpanzerstahldraht, Doppelmetalldraht usw.) haben den Zweck, Leitungen von großer Zugfestigkeit bei verhältnismäßig geringem Leitwiderstande zu schaffen. Da sich aber Manteldrähte im allgemeinen nicht billiger stellen als Kupferdrähte gleicher Leitfähigkeit, haben sie bisher im Telegraphenbau wenig Eingang gefunden.

(1266) **Stahlluminiumseile**, aus einem Stahlkern (Litze) mit herum verseilten Aluminiumdrähten bestehend, sind im Starkstrombau schon ziemlich verbreitet. Für Fernmeldeanlagen kommen sie ebensowenig wie die Manteldrähte in Betracht, weil sich keine wirtschaftlichen Vorteile gegenüber der Verwendung von Kupferleitungen ergeben und außerdem technische Schwierigkeiten (Durchhang, Verbindungsstellen, Abspannungen usw.) sich dem Einbau in bestehende Linien entgegenstellen.

(1267) **Umhüllte (isolierte) Freileitungen**. Bei Nährungs- und Kreuzungsstellen zwischen Niederspannungsanlagen und Fernmeldeleitungen ist als ausreichender Schutz die Verwendung umhüllten Drahtes anzusehen (1362). Verwendung von Gummi ist zum Aufbau der Drähte nicht mehr erforderlich; es genügen zwei Lagen getränkten Papiers und eine wetterfest getränkte Baumwollumspinnung oder -Umflechtung. Zur Prüfung sind zwei Stücke von je 5 m Länge zusammen zu verdrehen und 5 min lang in Wasser zu legen. [Nach dem Herausnehmen sollen sie eine Prüfung mit 1000 V Wechselstrom 10 min lang aushalten. Geeignete Leitungsdrähte werden in (1328, 4 c u. d) angegeben.

In manchen Fällen ist es erwünscht, lange Telegraphenleitungen, die mit besonders empfindlichen Schaltungen betrieben werden, vor Berührung mit anderen Leitungen und vor Nebenschlüssen aller Art zu bewahren. Hierzu ist Hackethalscher Draht mit Gummiisolierung geeignet. Er besitzt darüber eine Umflechtung aus Baumwolle, die mit einer an der Luft oxydierenden Mischung von Leinöl mit Mennige getränkt ist. Näheres über die Erfahrungen mit isolierten Freileitungen s. ENT 1924, Heft 2.

¹⁾ Für eine Ableitung von 0,5 μ S.

²⁾ Diese Zahl bildet den Durchschnitt; mindestens sind 5 Biegungen zugelassen, die aber durch höhere Leistungen (8 Biegungen) auszugleichen sind.

Drähte *) für Fernmelde-Freileitungen.

Bezeichnung	Kurzzeichen	Durchmesser mm		Querschnitt mm ²			Zugfestigkeit kg/mm ²	Bruchlast P _B kg mindestens	Leitfähigkeit bei 20° C m Ω·mm ² ≈	Widerstand je km bei 20° C Ω höchstens
		Nennmaß	zulassiges Abmaß	Rechnungswert	größer	kleiner				
Hartkupferdraht	Kh	2	± 0,05	3,14	3,30	2,99	45	135	55	5,8
		2,5		4,91	5,11	4,71	45	210		3,7
		3		7,07	7,31	6,83	44	315		2,6
		4		12,57	12,88	12,25	44	550		1,45
		4,5		15,90	16,26	15,55	43	680		1,15
5	19,63	20,03	19,24	43	840	0,93				
Bronzedraht I	Bz I	2	± 0,05	3,14	3,30	2,99	52	165	48	6,64
		2,5		4,91	5,11	4,71	52	255		4,26
		3		7,07	7,31	6,83	52	370		2,96
		4		12,47	12,88	12,25	51	635		1,66
		4,5		15,90	16,26	15,55	50	790		1,32
5	19,63	20,03	19,24	50	970	1,06				
Bronzedraht II	Bz II	1,5	± 0,05	1,76	1,89	1,65	70	125	36	15,7
		2	± 0,05	3,14	3,30	2,99	66	208	36	8,8
		2,5		4,91	5,11	4,71	64	315		5,7
		3		7,07	7,31	6,83	62	438		3,9
		4		12,57	12,88	12,25	60	755		2,2
4,5	15,90	16,26		15,55	58	920	1,75			
5	19,63	20,03	19,24	57	1115	1,40				
Bronzedraht III	Bz III	2	± 0,05	3,14	3,30	2,99	75	235	18	17,70
		2,5		4,91	5,11	4,71	74	364		11,30
		3		7,07	7,31	6,83	73	515		7,90
		4		12,57	12,88	12,25	69	865		4,32
		4,5		15,90	16,26	15,55	67	1065		3,50
5	19,63	20,03	19,24	66	1295	2,83				
Eisendraht (verzinkt)	E	2	± 0,1	3,14	3,46	2,84	40			43,95
		3	± 0,1	7,07	7,55	6,61	40	282	7,25	19,52
		4		12,57	13,20	11,95	40	502		10,98
		5		19,63	20,43	18,46	40	785		7,02
Eisendraht (hart gezogen) (verzinkt)	Eh	2	± 0,1	3,14	3,46	2,84	70	220	7,25	43,95
		3		7,07	7,55	6,61		495		19,52
		4		12,57	13,20	11,95		816		10,98
		5		19,63	20,43	18,46		65		1278

*) Näheres siehe Deutsche Industrienormen DIN/VDE 8300.

(1268) **Bedarf an Bauzeug.** 1. Stangen. Für 1 km Linie werden unter gewöhnlichen Verhältnissen und auf gerader Strecke gebraucht: an Eisenbahnen 20 Stangen I von 7 m Länge; an Kunststraßen und Landwegen 20 Stangen I von $8\frac{1}{2}$ m und 10 m Länge je nach Art des Baumwuchses. Für Nebenlinien mit nur wenigen Drähten, für die auch in absehbarer Zeit mit keiner erheblichen Vermehrung zu rechnen ist, genügen Stangen II. Zu dem Regelbedarfe kommt noch der durch besondere Umstände verursachte Bedarf, nämlich: für jede Überschreitung einer Straße oder Eisenbahn, auch wenn nur die Straßenseite gewechselt wird, zwei Stangen. In Krümmungen und Winkelpunkten müssen die Stangen in kürzeren Abständen gestellt werden; an einzelnen, besonders durch Zug gefährdeten Stellen werden Spitzböcke, gekuppelte Stangen und dergl. gebraucht; bei Doppelgestängen ist außer der doppelten Stangenzahl noch der Bedarf für die Querverbindungen und Diagonalstreben (7-m-Stangen) zu veranschlagen.

2. An Streben und Anker sind durchschnittlich 25 vH der Stangenzahl zu rechnen, soweit nicht die örtlichen Verhältnisse (Gebirge) eine weitergehende Verstärkung erfordern; die genaue Zahl ergibt sich erst bei der Auskundung oder den Ausführungsarbeiten. Der sichereren Wirkung halber sind Streben den Anker vorzuziehen. Für jede Strebe sind zwei Befestigungsschrauben, für jeden Anker außer der erforderlichen Menge Drahtseil je ein Ankerhaken, eine Spannschraube und ein Ankerpfahl, (-stein, -betonklotz) vorzusehen. Prellsteine und -pfähle, Scheuerböcke nach örtlicher Ermittlung.

3. Rohrständer (für Dachgestänge) nebst Zubehör (Schellen, Verschlusskappen) und Verstärkungsmitteln (Stahldrahtseilen, Formeisenstreben usw.) nach den besonderen Verhältnissen zu ermitteln. Durchschnittlicher Stützpunktabstand 60 bis 75 m; bei Überschreitung von Plätzen und Flüssen kommen auch größere Spannweiten vor. Über 150 m Abstand soll nur dann gewählt werden, wenn sich beide Gestänge auch für den Fall einseitigen Drahtzuges (Wegfall der Leitungen eines Nachbarfeldes) bruchsicher herstellen lassen.

4. Leitungsdraht. Die Bedarfsätze für 1 km sind unter (1263) und (1264) angegeben. Erdleitungen sind besonders zu veranschlagen. Bindedraht. Eisendrahtleitungen werden mit 2 mm starkem verzinktem Eisendrahte gebunden; für 100 Bindungen 2,1 kg. Für Leitungen aus Hartkupfer oder Bronze dient ausgeglühter Kupferdraht zum Binden, und zwar:

für Leitungen von 5	4,5	4	3	2	1,5 mm Stärke	
auf 100 Bindungen	6	6	2,6	2,3	1,1	1,0 kg Kupferdraht
von 3	3	2	2	1,5	1,5 mm Stärke.	

B. Festigkeitsverhältnisse.

(1269) **Spannung und Durchhang blanker Drähte¹⁾.** Der Leitungsdraht soll bei -25° C höchstens mit $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{3}$ seiner Zugfestigkeit beansprucht werden (die Kennziffer σ gilt für diese Ausgangswärme). Bedeutet a die Spannweite, l die Länge des Drahtes, f den Durchhang (die Pfeilhöhe), p die Drahtspannung im tiefsten Punkte, δ die Dichte, ϑ die Wärmeausdehnungszahl, α die elastische Dehnungszahl, t die Temperatur, so gilt für einen bestimmten Leitungszustand:

$$p = \frac{a^2 \delta}{8f}; \quad f = \frac{a^2 \delta}{8p}; \quad l = a + \frac{8f^2}{3a} = a + \frac{a^3 \delta^2}{24 p^2}.$$

Die allgemeine Zustandsgleichung lautet:

$$f^3 = f \left[\frac{a^2 \delta_0}{8 p_0^2} + 3 (\vartheta [t - t_0] - \alpha p_0) \right] \frac{a^2}{8} + \frac{3}{64} \alpha \delta a^4.$$

¹⁾ Näheres: Winnig: Grundlagen der Bautechnik f. oberird. Telegraphenlinien, S. 182.

In diesen Formeln sind alle Längen in cm, die Dichte in kg/cm^3 , die Spannungen in kg^*/cm^2 , die Dehnungszahl in cm^2/kg^* , die Temperatur in Celsiusgraden auszudrücken

Auflösung der reduzierten kubischen Gleichung am schnellsten durch ein Näherungsverfahren: für den in der ersten Potenz vorkommenden unbekanntem Durchhang f setzt man den bekannten Wert $f_0 = \frac{a^2 \delta_0}{8 p_0}$ ein, zieht aus der rechten

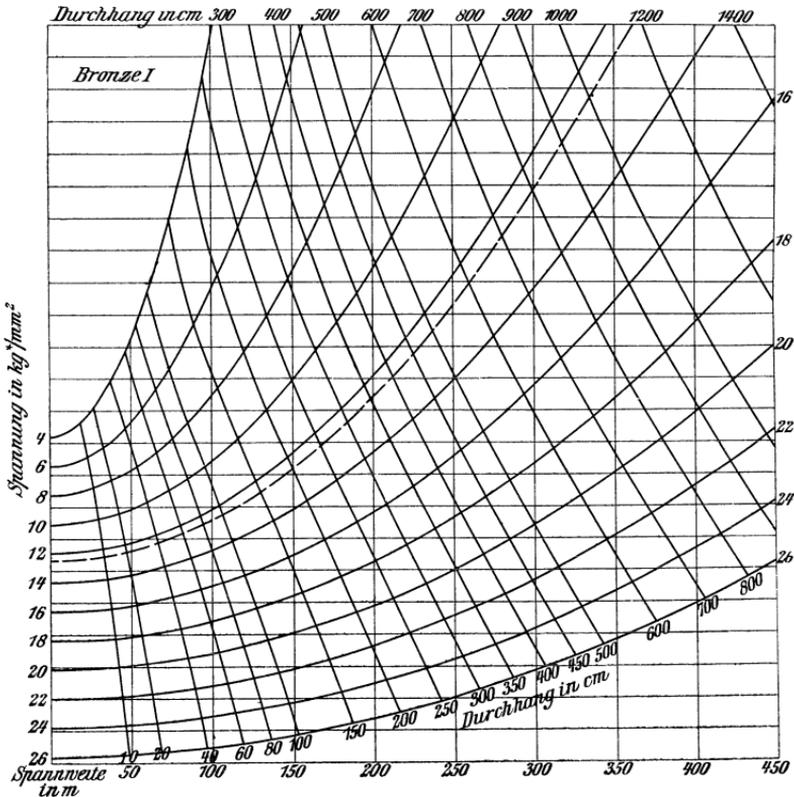


Abb. 761. Spannung und Durchhang von Freileitungen in Abhängigkeit von der Temperatur und der Spannweite. Leitungsbronze von $50 \text{ kg}^*/\text{mm}^2$.

Seite die 3. Wurzel und setzt den Wurzelwert solange wieder für f ein, bis dieser sich nicht mehr ändert.

Nach dieser Formel lassen sich für verschiedene Spannweiten und Wärmegrade die entsprechenden Durchhänge und Drahtspannungen ermitteln, die für den praktischen Bedarf in Tafeln zusammengestellt werden (S 384, 385). Lückenloser ist jedoch die bildliche Darstellung des Zusammenhanges zwischen Spannweite, Temperatur, Durchhang und Drahtspannung, wie sie Brauns¹⁾ vorgeschlagen hat. Die Kurventafeln sind bequem abzulesen, lassen aber den Einfluß etwaiger Zusatzbelastungen außer Betracht.

¹⁾ Winnig: Grundlagen der Bautechnik f. oberird. Telegraphenlinien, S. 204.

Diesem Mangel wird durch das von Blondel¹⁾ angegebene und von Nicolaus²⁾ erweiterte Verfahren abgeholfen. Die allgemeine Zustandsgleichung läßt sich nach Ersetzen von f und f_0 durch den entsprechenden Wert für p und p_0 (nämlich $\frac{a^2 \delta}{8p}$) auch folgendermaßen schreiben:

$$\frac{a^2 \delta^2}{24} \left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{p_0^2} \right) = \delta (t - t_0) + \alpha (p - p_0).$$

Dies ist aber die Differenz zweier Gleichungen von der Form $\frac{a^2 \delta^2}{24 p^2} = \delta t + \alpha p$

oder $t = \frac{a^2 \delta^2}{24 p^2 \delta} - \frac{\alpha p}{\delta}$. Durch Einsetzen bestimmter Werte für p stellt sich

die Beziehung zwischen t und a als Parabel dar. Aus $f = \frac{a^2 \delta}{8p}$ ergibt sich eine zweite Kurvenschar für die Beziehungen zwischen a und p . In Abb. 761 sind die Schaulinien für Leitungsbronze I (mittlere Festigkeit $p = 50 \text{ kg}^*/\text{mm}^2$) dargestellt.

Ordinaten: Temperaturunterschiede in °C, $10^\circ = 4 \text{ mm}$.

Abzissen: Spannweiten in m, $50 \text{ m} = 1 \text{ cm}$.

Die Spannungsparabeln sind für die Werte von 4 bis 26 kg^*/mm^2 (Ausgangsspannung 12,5 kg^*/mm^2 gestrichelt), die Durchgangsgrößen von 10 bis 1400 cm gezeichnet. Für ungleiche Höhe der Stützpunkte kann dieselbe Darstellung benutzt werden, da die Spannungskurven der wirklichen Gestalt der Drahtkurven ähnlich sind.

Beispiel: Gesucht der Durchhang einer Bronzedrahtleitung bei 200 m Spannweite und 25°C ; die bei -25°C auftretende Höchstspannung soll 12,5 kg^*/mm^2 sein. Man sucht den Schnittpunkt der gestrichelten Spannungskurve für 12,5 kg^*/mm^2 mit der Ordinate von 200 m und geht dann von diesem um $50^\circ = 20 \text{ mm}$ nach oben. Dort ergibt der Schnittpunkt einen Durchhang von 468 cm (bei einer Spannung von 9,5 kg^*/mm^2).

Durchhangstafeln³⁾.

Die Zahlen im Kopf der Spalten bedeuten die Spannweite in Metern, die Zahlen der Tabellen den Durchhang in Zentimetern.

Eisen.

Zugfestigkeit 40 kg^*/mm^2 ;

Dichte $\delta = 7,79$; Wärmeausdehnungszahl $\delta = 12,3 \cdot 10^{-6}$;

Elastische Dehnungszahl $\alpha = 52,9 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{kg}^*$.

	40 m	50 m	60 m	80 m	100 m	120 m	150 m	200 m
- 25° C	16	24	35	62	98	140	219	390
- 15	19	30	42	72	110	154	236	409
- 5	24	36	50	82	122	168	252	427
+ 5	30	43	58	93	135	182	267	445
+ 15	37	51	67	103	147	196	283	462
+ 25° C	44	59	76	114	160	209	298	479

¹⁾ Auf dem Congrès de la huile blanche in Paris 1902.

²⁾ ETZ 1907, S. 896.

³⁾ Die Tafeln sind mit $p_0 = \frac{Kz}{4}$ berechnet.

Hartkupfer.Mittlere Zugfestigkeit 45 kg*/mm²;Dichte $\delta = 8,90$; Wärmeausdehnungszahl $\vartheta = 17,2 \cdot 10^{-6}$;Elastische Dehnungszahl $\alpha = 77,7 \cdot 10^{-6}$ mm²/kg*.

	40 m	50 m	60 m	80 m	100 m	120 m	150 m	200 m
- 25°	16	25	36	63	100	140	219	390
- 15°	19	30	42	73	113	150	240	410
- 5°	24	36	50	85	126	168	260	430
+ 5°	30	44	60	97	141	185	275	455
+ 15°	37	53	70	109	155	200	292	480
+ 25°	47	64	80	122	169	218	317	510

Bronze I.Mittlere Zugfestigkeit 50 kg*/mm²;Dichte $\delta = 8,91$; Wärmeausdehnungszahl $\vartheta = 16,6 \cdot 10^{-6}$;Elastische Dehnungszahl $\alpha = 75,5 \cdot 10^{-6}$ mm²/kg*.

	40 m	50 m	60 m	80 m	100 m	120 m	150 m	200 m
- 25° C	14	22	32	57	89	128	200	356
- 15	17	26	38	66	101	142	218	379
- 5	21	32	44	76	113	158	236	402
+ 5	26	38	53	87	127	173	255	424
+ 15	32	46	62	98	141	190	274	446
+ 25° C	40	55	72	111	155	206	292	468

Bronze II.Zugfestigkeit 70 kg*/mm²;Dichte $\delta = 8,65$; Wärmeausdehnungszahl $\vartheta = 16,6 \cdot 10^{-6}$;Elastische Dehnungszahl $\alpha = 77,4 \cdot 10^{-6}$ mm²/kg*.

	40 m	50 m	60 m	80 m	100 m	120 m	150 m	200 m
- 25° C	10	16	22	40	62	89	139	247
- 15	11	18	25	44	69	99	152	267
- 5	13	20	29	50	78	110	168	287
+ 5	15	24	34	57	87	122	184	309
+ 15	18	28	39	66	99	136	201	331
+ 25° C	23	34	47	76	111	151	219	353

Die Gleichung für den Durchhang ist auch verwendbar, wenn der Draht eine Zusatzbelastung (Eis, Winddruck usw.) erhält. Es ist dann in dem Gliede $\frac{3}{64} \alpha \delta a^4$ für δ nicht das Eigengewicht des Drahtes, sondern das gesamte Gewicht der Längeneinheit (1 cm) einschließlich der Zusatzbelastung, bezogen auf den Drahtquerschnitt, einzusetzen.

(1270) Durchhang von Trageilen und isolierten Drähten. In gleicher Weise wie die Eislast bei blanken Drähten kann auch das Gewicht des Luftkabels nebst Tragevorrichtungen für das Trageil oder das Gewicht der Isolierhülle für den metallischen Leiter als Zusatzbelastung aufgefaßt werden.

(1271) Beanspruchung eines Stützpunktes. Die Festigkeit eines Stützpunktes wird durch das Eigengewicht der Bauteile, durch Eis- und Schneebelastung sowie durch Winddruck und Drahtzug beeinflusst. Diese Kräfte unterliegen, abgesehen

vom Eigengewichte, erheblichen Schwankungen. Die entsprechenden Vorschriften des VDE über den Ansatz von Zusatzbelastungen und das Maß der Sicherheit lassen sich wegen der anders gearteten Verhältnisse nicht ohne weiteres auf die Fernmeldeanlagen übertragen. Man nimmt am besten einen Eismantel von 3,4 cm Durchmesser (entsprechend der an Telegraphenleitungen beobachteten Höchstlast von 800 g für 1 m) und setzt die sich daraus bei -5°C ergebenden Drahtzüge (s. Zusammenstellung) an. Berücksichtigt man daneben noch einen Winddruck von $125\text{ kg}^*/\text{m}^2$ auf die unvereisten Leitungen, so genügt eine zweifache Sicherheit.

Zusammenstellung der Drahtzüge unter der Einwirkung von Eisansatz für 50 m Feldlänge.

Durchmesser des Eiszylinders	Drahtzug in kg^* in Eisenleitungen				Drahtzug in kg^* in Bronzeleitungen				Drahtzug in kg^* in Kupferleitungen		
	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm	1,5 mm	2 mm	3 mm	4 mm	3 mm	4 mm	5 mm
3,4 cm	175	245	320	425	120	135	215	300	185	258	335
3,6 „	185	260	340	430	—	165	230	315	198	270	355
4,0 „	282	280	360	450	—	206	245	340	210	292	385

Will man in bestimmten Fällen den Winddruck auf die mit Eismantel umgebenen Leitungen ermitteln, so darf man bei der üblichen Anordnung der Fernmeldeleitungen auf Querträgern von dem gefundenen Werte rund 50 vH für die Schirmwirkung der vorderen Drähte abziehen¹⁾.

(1272) Senkrechte Belastung einer Stange. Die zulässige Belastung in der Richtung der Stangenachse [vgl. (21), S. 27, Abb. 17a] ist

$$P = \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{J}{\alpha h^2} \frac{1}{\mathcal{E}} \text{ kg}^*,$$

worin α die elastische Dehnungszahl in cm^2/kg^* (der hundertste Teil der Zahlen auf S. 28), J das kleinste äquatoriale Trägheitsmoment des am meisten gefährdeten Stabquerschnittes (S. 26) in cm^4 , h die Entfernung des Angriffspunktes der Kraft P vom Fußpunkt der Stange in cm, \mathcal{E} die Sicherheit. An der Befestigungsstelle (Einspannstelle) der Stange sei ihr äußerer Durchmesser D cm, bei Rohrständen der innere Durchmesser d cm.

	α	Vorhandenes J	Erforderliches J (h in m)	Zulässiges P (h in m)
Holzstangen . . .	$8 \cdot 10^{-6}$	$\frac{\pi D^4}{64} \sim 0,05 D^4$	$\frac{P h^2}{30} \cdot \mathcal{E}$	$1,5 \frac{D^4}{h^2} \cdot \frac{1}{\mathcal{E}}$
Eisenstangen . . . (eiserne Röhren)	$0,5 \cdot 10^{-6}$	$\frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$ $\sim 0,05 (D^4 - d^4)$	$\frac{P h^2}{500} \cdot \mathcal{E}$	$25 \frac{D^4 - d^4}{h^2} \cdot \frac{1}{\mathcal{E}}$

(1273) Wagerechte Belastung. Wirken wagerechte Kräfte, deren Mittelkraft H in h cm vom Fußpunkt der Stange angreift, und ist die zulässige Beanspruchung des Materials $p_b \text{ kg}^*/\text{cm}^2$, so ist das erforderliche Widerstandsmoment für den gefährlichen Querschnitt

$$W = \frac{H h}{p_b}.$$

¹⁾ Vgl. Tel.- u. Fernspr.-Techn. 1924, Heft 1.

	Bruchfestigkeit K_b kg*/cm ²	Vorhandenes Widerstandsmoment W in cm ³	Erforderliches W	Zulässiges H in kg*
Holzstangen (Kiefer)	550	$\frac{\pi D^3}{32} \equiv 0,1 D^3$	$\frac{Hh}{550} \cdot \epsilon$	$\frac{55 \cdot D^3}{h \cdot \epsilon}$
Rohrständer	4000	$\frac{\pi}{32} \frac{D^4 - d^4}{D} \equiv 0,1 \frac{D^4 - d^4}{D}$	$\frac{Hh}{4000} \cdot \epsilon$	$400 \frac{D^4 - d^4}{D \cdot h \cdot \epsilon}$

Für Stangenfüße (1259) aus Eisenbeton ist der Rechnung der vom Lieferer gewährleistete Spitzenzug für die Bruchbelastung zugrunde zu legen. Bei den Hartholzstangenfüßen kann nach dem Ergebnis zahlreicher Bruchversuche für die Stoßstelle bei Verwendung von

4 Laschenblechen ein Biegemoment $M_b \leq 400000$ cm/kg*

3 „ „ „ „ $M_b \leq 280000$ „

2 „ „ „ „ $M_b \leq 180000$ „

angenommen werden.

Die Kraft H setzt sich zusammen aus dem Winddrucke auf die unter Umständen durch Eisansatz verdickten Leitungen und auf die Stange sowie aus dem Drahtzuge in Winkelpunkten und an Abspannstangen. Wirksame Größe nach (1274) und (1276) zu ermitteln.

(1274) Der Winddruck ist mit 125 kg*/m² bei senkrecht getroffener ebener Fläche anzusetzen; auf zylindrische Körper (Drähte, Stangen) mit einem Durchmesser ≤ 50 cm wirken nur 50 vH, darüber hinaus $66\frac{2}{3}$ vH des auf die Aufbläche entfallenden Druckes.

Auf die Stange wirkt er als biegende Kraft, die sich aus dem Druck auf die Drähte und dem auf die Stange zusammensetzt. Das Biegemoment ist:

$$M = M_d + M_s = 0,0063 \left(a (\Sigma d) h + \frac{Dl^2}{2} \right) \text{kg*cm}$$

a = Spannweite, Σd Summe der dem Winde ausgesetzten Drahtdurchmesser, h Höhe des Angriffspunktes der sich aus dem Winddruck auf die Drähte ergebenden Kraft, D der mittlere Stangendurchmesser, l die Stangenhöhe in cm.

(1275) Zusammengesetzte Belastung. Bringt eine lotrechte Kraft V im Stangenquerschnitt Q eine Beanspruchung $p_1 = V/Q$, eine wagerechte Kraft nach (1273) eine Beanspruchung $p_2 = H \cdot h/W$ hervor, so ist die Beanspruchung des Materials

$$p_b = p_1 + p_2 = \frac{V}{Q} + \frac{H \cdot h}{W}$$

V ist das Gewicht der Stange mit den Isolatoren, des Drahtes auf beiden Seiten bis zur Mitte der angrenzenden Felder und die Belastung durch Eis (Schnee, Rauhref).

Da in dieser Gleichung die Knickgefahr nicht berücksichtigt wird, empfiehlt sich bei starker lotrechter Belastung die Benutzung folgender Formel¹⁾:

$$p_b = \frac{M_{\max}}{W} - \frac{V}{Q}$$

worin p_b die zulässige Biegebeanspruchung, $M_{\max} = \frac{H}{\omega} \cdot \text{tg } \omega h$ und $\omega = \sqrt{\frac{V}{J} \alpha}$ ist, und α die elastische Dehnungszahl, J das äquat. Trägheitsmoment des gefährlichen Querschnittes bedeutet.

¹⁾ Das Ing.-Taschenbuch (Hütte) 25. Aufl., I., S. 643.

(1276) Zug des Drahtes in Winkelpunkten. Sind die beiden Zugkräfte der von der Stange abgehenden Drähte P_1 und P_2 , der von ihnen gebildete Winkel α , so ist nach (18), S. 24, Abb. 11:

$$R = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2 \cos \alpha};$$

wenn die Drähte gleichstark gespannt sind, ist $P_1 = P_2 = P$ und

$$R = 2P \cos \frac{\alpha}{2}.$$

(1277) Zulässiger Stangenabstand in Krümmungen. Ist α der von der Linie an der Stange gebildete Winkel, r der Krümmungshalbmesser in m , W das Widerstandsmoment des gefährdeten Querschnittes in cm^3 , p_b die zulässige Biegebeanspruchung des Baustoffes in kg^*/cm^2 , P die Drahtzugkraft in kg^* und h die Länge ihres Hebelarmes in cm , so ist $\cos \frac{\alpha}{2} = \frac{a}{2R}$, also $R = P \cdot \frac{a}{r}$. Daraus

folgt der zulässige Stangenabstand $a = \frac{Rr}{P}$ oder, da $R \leq \frac{Wp_b}{h}$ sein muß,

$$A = \frac{r}{P} \cdot \frac{W \cdot p_b}{h} m.$$

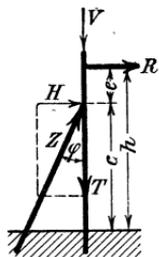


Abb. 762.
Stange mit Anker
oder Strebe.

(1278) Stange mit Anker oder Strebe (Abb. 762). Der gefährliche Querschnitt liegt im Angriffspunkte des Verstärkungsmittels, wo zunächst ein Moment $R \cdot e$ entsteht. Hierzu tritt außer der vom Eigengewichte der Querträger usw. herrührenden lotrechten Kraft V eine Druck- (oder Zug-) Beanspruchung durch T , die Seitenkraft von Z

$$\left(= \frac{H}{\sin \varphi} = \frac{R}{\sin \varphi} \cdot \frac{3h-c}{2c} \right),$$

d. h. durch $Z \cdot \cos \varphi$ oder $\frac{R}{\text{tg } \varphi} \cdot \frac{3h-c}{2c}$. Die Gesamtbeanspruchung wird nach (1275)

$$p = \frac{R \cdot e}{W} + \left(V \pm R \frac{3h-c}{2c} \text{ctg } \varphi \right) \frac{1}{Q} \leq p_b.$$

Unter Berücksichtigung der gewählten Sicherheit läßt sich das zulässige R oder der erforderliche Stangenquerschnitt berechnen. Ist q der Querschnitt des Ankers, so ist dessen Zugbeanspruchung $p = \frac{R}{q \cdot \sin \varphi} \cdot \frac{3h-c}{2c}$. Die Größe von q ist so zu bemessen, daß p die Elastizitätsgrenze nicht übersteigt, da sonst bleibende Dehnungen entstehen, und der Anker wegen Schlaufheit seinen Zweck verfehlt. Die zulässige Knickbelastung der holzernen¹⁾ Strebe bei einer Länge s ist

$Z \left(= \frac{R}{\sin \varphi} \cdot \frac{3h-c}{2c} \right) = \frac{2\pi^2 J}{\alpha s^2} \cdot \frac{1}{\epsilon}$, woraus sich ein erforderlicher Streben-
durchmesser $D = \sqrt[4]{Z \cdot \alpha s^2 \cdot \epsilon}$ ergibt.

(1279) Gekuppelte Stangen. Zwei dicht nebeneinander gelegte Holzstangen werden auf ihre ganze Länge durch mindestens vier Bolzen fest miteinander verbunden; ihre Festigkeit ist bei Beanspruchung in der Richtung der kleinen Querschnittsachse wegen der Schwächung durch die Bolzenlöcher das $1\frac{1}{2}$ - bis 2fache, bei Biegung in der Richtung der großen Achse annähernd das Doppelte einer einzelnen Stange gleicher Abmessungen. Größere Festigkeit durch Verdübeln oder Verklammern zu erreichen. Bei Anwendung besonders geformter eiserner Dübel

¹⁾ Bei den eisernen Streben (auf Dachern), deren unteres Ende nicht als eingespannt gilt, darf Z nur den halben Wert nach S. 27, Abb. 17d, erreichen.

konnte nach Versuchen der Schweizerischen Telegraphenverwaltung¹⁾ die Biegefestigkeit auf das 2,5fache erhöht werden. Der größte bisher erreichte Wert ist die 3fache Widerstandsfähigkeit einer einzelnen Stange.

(1280) Der Spitzbock oder A-Mast (Abb. 763). Wenn unter ΣM die Summe der Biegemomente aller in der Gestängeebene wirkenden Kräfte, bezogen auf den Unterriegel, verstanden werden, so erhält man die Stabkräfte $-S_1 = S_2 = (\Sigma M)/b$. Beanspruchung des einen Schenkels durch $S_1 - V/2$ auf Zug, des andern durch $S_2 + V/2$ auf Druck (Knickung). Anzuwenden 3. Eulersche Gleichung

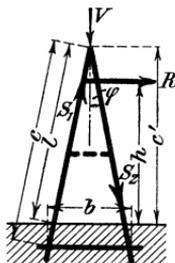


Abb. 763. Spitzbock.

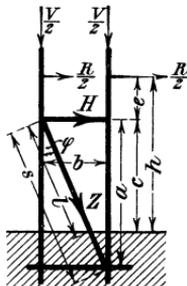


Abb. 764. Doppelgestänge.

ung (S. 27); als Knicklänge gilt die Entfernung zwischen Mitte des Dübels und der halben Eingrabetiefe. J ist für den mittleren Stangendurchmesser zu berechnen.

Angenäherte Werte für die in der Ebene des Spitzbockes zulässige wagerechte Belastung gibt auch folgende Gleichung:

$$R = \left[\frac{4 \pi^2 J}{\alpha l^2 \ominus} \cdot \sin \varphi - V \operatorname{tg} \varphi \right] \frac{c'}{h}.$$

Da die Verbindung an der Spitze nie vollkommen fest ist, so treten nach Überschreiten eines gewissen Spitzenzuges außer der Druck- und Zugbeanspruchung auch noch Biegespannungen auf, die der Rechnung nicht voll zugänglich sind. Ebenso kann der Einfluß des Mittelriegels rechnerisch nicht bestimmt werden. Durch Bruchversuche ist jedoch nachgewiesen, daß die tatsächliche Bruchbelastung eines Spitzbockes etwa um die Hälfte höher liegt, als der nach den obigen Hinweisen errechnete Wert.

Senkrecht zur Ebene des Gestänges ist die Festigkeit

$$R = \frac{2W \cdot p_b}{h}.$$

W ist für den Einspannquerschnitt zu berechnen.

(1281) Doppelgestänge (Abb. 764) Gefährlicher Querschnitt im oberen Angriffspunkte der Strebe. Beanspruchung in der Gestängeebene

$$p_b \cong \frac{R e}{2W} + \left(V - R \cdot \frac{3h - c}{2c} \cdot \operatorname{ctg} \varphi \right) \frac{1}{2Q}$$

Knickbelastung der Strebe durch $Z = \frac{R}{2} \cdot \frac{3h - c}{2c} \cdot \frac{s}{b} = \frac{D^4}{\alpha l^2 \ominus}$; ($l = s \frac{c}{a}$

ist die Knicklänge der Strebe). Hieraus lassen sich das zulässige R und der erforderliche Querschnitt berechnen. Je höher der Angriffspunkt der Strebe, desto kleiner das Biegemoment $\frac{R e}{2W}$, desto größer aber die Strebenbelastung Z .

¹⁾ Technische Mitteilungen der Schweiz. Telegr.- u. Telephonverwaltung 1923, Hft. 3/5.

Wegen Scherbeanspruchung der Strebenschrauben ist die Strebe an den Befestigungsstellen auszukehlen. Strebe und Querriegel müssen zu verschiedenen Seiten der Stange liegen.

Senkrecht zur Gestängeebene ist die Festigkeit, wenn unter W das Widerstandsmoment der Stange oder der Strebe an der Einspannstelle verstanden wird

$$R = \frac{3W \cdot \rho_b}{h}$$

C. Bauarbeiten.

(1282) Rechtliche Verhältnisse. a) Linien an Eisenbahnen. Die Grundlage für die Benutzung des Bahngeländes zur Herstellung von Reichstelegraphenlinien bildet der Bundesratsbeschluß vom 21. 12. 1868 über die den Eisenbahnverwaltungen zugunsten der Telegraphenlinien obliegenden Verpflichtungen. Daneben bestehen noch die besonderen Vereinbarungen mit den früheren Landes-Eisenbahnverwaltungen, die bei der Planung neuer Linien zu berücksichtigen sind, z. B. der Vertrag mit der Preußischen Staats-Eisenbahnverwaltung vom 28. Aug./8. Sept. 1888¹⁾, mit der Sächsischen Staatseisenbahn u. a.

b) Linien an öffentlichen Wegen. Die rechtlichen Verhältnisse für die Errichtung von Telegraphenlinien an öffentlichen Straßen werden durch das Telegraphen-Wegegesetz vom 18. Dez. 1899¹⁾ geregelt. Hierdurch ist vor allem ein Recht auf die Benutzung der öffentlichen Straßen und Plätze einschließlich des Luftraumes über Privatgrundstücken gegeben worden. Zur Aufstellung von Stützpunkten auf Dächern, Grundstücken oder an Privatstraßen ist die Erlaubnis des Eigentümers erforderlich. Ferner enthält das Gesetz Vorschriften über den Schutz des Gemeingebrauchs der Wege, über Schonung der Baumpflanzungen, Rücksicht auf besondere Anlagen usw.

(1283) Auskundung. Nach der Planung einer neuen Linie müssen die durch die Örtlichkeit gebotenen besonderen Baubedürfnisse ermittelt werden, wobei alle erforderlichen Abmachungen mit Behörden usw. zu treffen sind. Daneben sind alle Unterlagen für die nach dem Telegraphen-Wegegesetz vorgeschriebene Planauslegung zu beschaffen. Für die Feststellung des Weges sind folgende Punkte zu beachten: Zur Errichtung einer Telegraphenlinie soll bei Eisenbahnen tunlichst die den herrschenden Winden abgekehrte, bei anderen Verkehrsstraßen die den Winden zugekehrte Seite benutzt werden; in allen Fällen sucht man den Bäumen nicht zu nahe zu kommen. Bei Eisenbahnen muß unter allen Umständen das Normalprofil und die Sehlinie zur Beobachtung der optischen Bahnsignale frei bleiben; soweit es geht, ist die gerade Linie einzuhalten. In den Entwässerungsgräben und im Überschwemmungsgebiet eines Wasserlaufes sollen die Stangen nach Möglichkeit nicht aufgestellt werden. Schneidet eine Straße einen Berg an, so stellt man die Stangen an die Bergseite, wenn hier keine Bäume stehen. Baumpflanzungen, durch die eine Leitung führt, müssen beschnitten und ausgeästet werden, so daß die Zweige einen Abstand von mindestens 60 cm vom nächsten Drahte haben. In Ortschaften sind die Stangen möglichst so zu stellen, daß sie den Verkehr in keiner Weise erschweren; die Stützpunkte sind womöglich nicht an Gebäuden anzubringen, jedenfalls nicht an solchen, die mit Rohrputz versehen sind. Ortschaften, in denen kein Telegraphenamnt eingerichtet wird, lassen sich oft zweckmäßig umgehen.

Überschreitungen der Straßen und Eisenbahnen sind tunlichst zu vermeiden; wo dies nicht möglich ist, muß der unterste Draht jederzeit mindestens 6 m über der Schienenoberkante und genügend hoch über der Straßenoberfläche (für beladene Fuhrwerke etwa 4,5 m) bleiben. Eisenbahnen werden stets rechtwinklig überschritten, als Leitungsdraht wird für die 4 bis 6 mm starken

¹⁾ Die allgemeine Regelung für das ganze Gebiet der Reichsbahn ist noch nicht abgeschlossen.

Eisenleitungen 1,5 mm starker Bronzedraht verwendet. Fernsprech-Verbindungsleitungen behalten jedoch ihre volle Drahtstärke.

Überschreitung von Flußläufen usw. 1. Oberirdisch, bei schmalen Gewässer und geeigneten Ufern auf hohen Stangen, oder längs einer Brücke als Luftleitung, oder im Brückenbau als Kabel in Kasten oder Röhren. 2. Unter Wasser, als Kabel, bei nicht gestautem Wasser unterhalb der Brücke, bei gestautem oberhalb des Wehrs. Es ist in diesem Falle auf sorgfältige Auswahl der Uferstellen zu achten, stete Aufsicht, guter Untergrund (keine Felsen), kein regelmäßiger Ankerplatz, keine Gefahr bei Eisgang. Für Abtrieb sind 5 vH. zuzurechnen. Überführungssäulen außerhalb des Überschwemmungsgebietes.

Tunnel. Oberirdisch, in gewöhnlicher Weise über den Berg, oder blanke Leitung an Mauerbügeln im Tunnel, oder Kabel in hölzernen Rinnen oder Nuten in der Wand oder Sohle des Tunnels.

(1284) Herstellen des Gestänges. 1. Abpfählen der Linie. Die Stangenstandpunkte werden durch fortlaufend zu beziffernde Merkpfähle bezeichnet und in eine Nachweisung (Abpfählbuch) eingetragen, worin alle Bemerkungen über die Art der Stützpunkte (abweichende Länge, Verwendung von Kuppelstangen, Spitzböcken usw.) zu verzeichnen sind. Nach dem Abpfählbuch wird das Bauzeug längs der Linie verteilt und etwa Fehlendes beschafft.

2. Setzen der Stangen. Die Einsatteltiefe beträgt in ebenem Boden $\frac{1}{5}$, bei Böschungen $\frac{1}{4}$, in Felsboden $\frac{1}{7}$ der Stangenlänge. Die Löcher werden gegraben (Abb. 765), in steinfreiem Boden gebohrt, in Felsboden mit Brecheisen

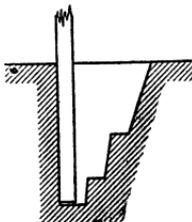


Abb. 765 Gegrabenes Stangenloch.

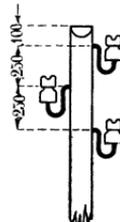


Abb. 766. Wechselständige Befestigung der Isolatoren.

und Spitzhacke gebrochen oder gesprengt. Wenn in der Nähe von Mauern oder steilen Felswänden Raum zum Einsetzen der Stangen fehlt, sind diese an der Wand mit Schellen und dergl. zu befestigen.

3. Ausrüstung der Stangen mit Isolatoren. Der oberste Isolator wird auf der Straßenseite der Stange 10 cm von der Firstkante der Abschrägung am Zopf eingeschraubt. Die folgenden Isolatoren werden wechselständig eingeschraubt (vgl. Abb. 766). Entfernung zweier Isolatoren voneinander: 25 cm; ausnahmsweise bei gedrängter Drahtführung an einzelnen Stangen 15 cm. Der unterste Draht soll neben der Eisenbahn an seiner tiefsten Stelle mindestens 2 m, neben Landstraßen mindestens 3 m vom Boden entfernt sein.

Die Querträger werden mit Ziehbändern so an der Stange befestigt, daß ihre Oberkanten 40 cm Abstand haben. An einer Stange können bis 5 Querträger angebracht werden.

Doppelgestänge werden von vornherein mit Querträgern (bis zu 5 Stück) ausgerüstet.

Die Isolatoren auf Schraubenstützen werden an den Stangen vor dem Aufrichten, an den Querträgern nach deren Anbringen befestigt.

(1285) Verstärken des Gestänges. Zur Erhöhung der Standfestigkeit einer Linie bedürfen alle durch Drahtzug und Winddruck besonders gefährdeten Stützpunkte einer ausreichenden Verstärkung:

a) Streben werden aus Hölzern von mindestens 14 cm Zopfdurchmesser hergestellt und nach entsprechender Auskehlung mit zwei versetzten Schrauben an der Stange festgelegt. Ein 4-facher Drahtbund erhöht die Festigkeit der Verbindung gegen Schub. Bei größerer Strebendlänge ist eine Querverbindung (Riegel) zwischen Strobe und Stange zweckmäßig.



Abb. 767.
Spanschraube

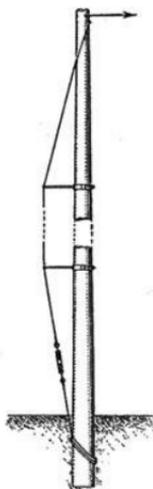


Abb. 768.
Gespannte Zange.

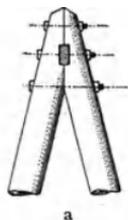
b) Anker (Abb. 762) werden aus vierfachem verseltem Eisendraht von 4 mm Durchmesser gefertigt, mit einer Schleife um die Stange herumgelegt und durch einen Haken am Abrutschen verhindert. Einschalten einer Spanschraube (Abb. 767) zweckmäßig. Den Fußpunkt bildet ein Stangenabschnitt usw. nach (1268, 2). Bei großer Beanspruchung sind Stahldrahtseile, in der Erde Rundeisen und kegelförmige Betonklötzer zu verwenden¹⁾.

Anker und Streben müssen möglichst in der Richtung der Mittelkraft aus dem Drahtzuge beider Stangenfelder liegen (1276). Wenn eine wagerechte Verankerung oder Verstrebung (an Felswänden, Mauern usw.) nicht möglich ist, wähle man den von Stange und Verstärkungsmittel gebildeten Winkel zwischen 30° und 45° .

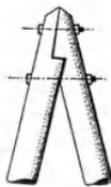
Falls ausnahmsweise kein Platz zum Festlegen des Fußpunktes einer Strobe oder eines Ankers vorhanden ist, wendet man eine Verspannung nach Abb. 768 an oder stellt

c) eine gekuppelte Stange nach (1279) auf. Mit Rücksicht auf die geringe Festigkeit ist Anwendung eines Spitzbockes, wenn auch mit ganz geringer Spreizung, vorzuziehen.

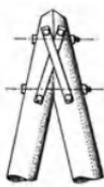
d) Spitzbock (A-Mast), Abb. 763, S. 389. Zwei Stangen werden am Zopfende auf 50 bis 75 cm



a

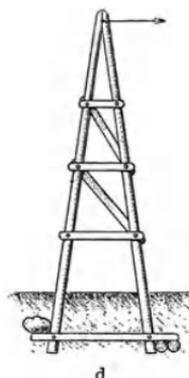


b



c

Abb. 769 a, b, c. Zopfausbildung bei Spitzböcken.



d

Abb. 769 d. Verstärkter Spitzbock.

Länge bis zum halben Stangendurchmesser abgeschrägt und durch Bolzen verbunden. Ein eingefügter Hartholzdübel, das Ausschneiden einer Verzahnung oder zwei seitlich angebolzte Andreaskreuze aus Flacheisen (Belgien) nach Abb. 769 a, b, c erhöhen die Festigkeit erheblich. Die Stammenden werden durch eine Querverbindung (Riegel oder Zange) auseinander gehalten. In der halben

¹⁾ Diese Ankerform bildet bei den DRP neuerdings die Regel

Entfernung vom Erdboden bis zum inneren Winkel an der Spitze wird ein Querriegel oder eine Zange angebracht. Bei größeren Stangenlängen empfiehlt sich die Verwendung mehrerer Mittelriegel, die nach Bedarf durch Schrägen zu verbinden sind (Abb. 769 d).

e) Verlängerte Stangen. 1. Verwendung von Stangenfüßen nach (1259). 2. Das untere Ende einer Stange wird zwischen den oberen Enden zweier gerade oder schräg gestellter und entsprechend angearbeiteter Stangenabschnitte (Abb. 770a) oder zwischen Formeisen, Eisenbahnschienen usw. durch Schraubenbolzen befestigt. 3. Bei Winkelgestängen von großer Länge ist die Benutzung eines Spitzbockes mit Aufsatzstange, die unter Umständen noch zu verspannen ist, vorzuziehen (Abb. 770b).

f) Das Doppelgestänge besteht aus zwei mit etwa 150 cm lichtem Abstände durch Riegel und Strebe miteinander verbundenen Telegraphenstangen (Abb. 764, S. 389), an deren Stelle bei stark belasteten Winkelgestängen auch Kuppelstangen treten können. Riegel und Strebe sollen auf verschiedenen Seiten des Gestanges liegen; statt des Unterriegels, namentlich bei seitlicher Beanspruchung, auch Zange vorteilhaft. Das Doppelgestänge kommt nicht wie der Spitzbock als Ersatz für eine überlastete Einzelstange in Frage, sondern wird nur als durchlaufende Gestängeform benutzt, wenn die Aufnahmefähigkeit einfacher Stangen (1253) überschritten wird.

(1286) **Erhöhung der Standfestigkeit im Boden.** In leichtem Boden werden die Gestänge durch den Drahtzug leicht schief gezogen. Abhilfsmittel bei einfachen Stangen: Anbringen zweier Druckschwellen; bei Kuppelstangen: Druckfläche am Stammende durch zwei bis über die Erde reichende, seitlich anzuliegende Stangenabschnitte vergrößern. Die Standfestigkeit von Spitzböcken wird wesentlich vermehrt, wenn am gedrückten Schenkel unter den Unterriegel mehrere Stangenabschnitte von 1 m Länge gelegt werden, während es auf der anderen Seite durch Bohlen und schwere Steine belastet wird. In gleicher Weise kann man sich auch bei Doppelgestängen helfen.

(1287) **Gruppierung der Leitungen.** Übersichtliche und gleichmäßige Gruppierung ist für die Unterhaltung und Erweiterung der Linien von größter Bedeutung. Unnotigen Platzwechsel vermeiden, gleichartige Drähte möglichst nebeneinander legen. In reinen Fernsprechnlinien an oberster Stelle die Verbindungsleitungen, darunter auf besonderen Querträgern die Vororts-, Nachbarorts- und Bezirksleitungen, an unterster Stelle die Teilnehmerleitungen. An Gemeinschaftsgestängen sollen die Reichstelegraphen-, Fernsprech- und Bahnleitungen besondere durch senkrechte Trennlinien abgegrenzte Felder im Leitungsbilde erhalten.

(1288) **Induktionsschutz.** Durch den Einbau von Kreuzungen und Platzwechseln sollen nach (1387) sämtliche Doppel- und Viererleitungen einer Linie gegeneinander und gegen Beeinflussung aus Telegraphen- und Starkstromleitungen geschützt werden. Die Aufeinanderfolge der Kreuzungen und Platzwechsel geht aus Abb. 771 a hervor. Innerhalb jeder Schutzstrecke wiederholen sich die gleichen Kreuzungsbilder in bestimmter Folge. Die regelmäßige Wiederkehr eines und desselben Bildes ist aus den angegebenen Buchstaben *ABC* usw. ersichtlich. Wie sich die hiernach ergebenden vier Kreuzungsfolgen auf das Stangenbild ver-

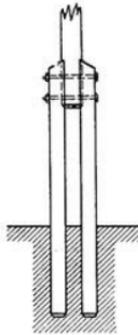


Abb. 770a.
Doppelschuh.

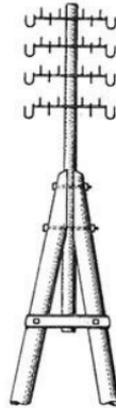


Abb. 770b. Spitzbock
mit Aufsatzstange.

teilen, wird durch Abb. 819, S. 446, erläutert, welche die Kreuzungsfolgen für 4 Doppelleitungen angibt; für 8 Doppelleitungen wiederholt sich das Schema. Als Abschnittspunkte sind möglichst die den vollen Kilometersteinen zunächst stehenden Gestänge auszuwählen.

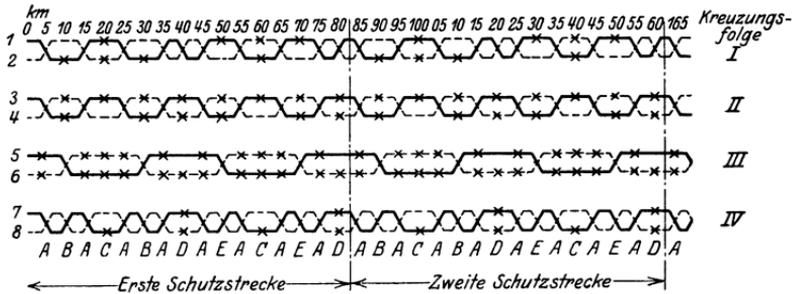


Abb. 771 a. Kreuzungsplan für 8 Doppelleitungen.

Der Einbau der Kreuzungen und Platzwechsel erfolgt mit Hilfe von U-förmigen Doppelstützen, an denen die Leitungen abgespannt und zu den bestimmten

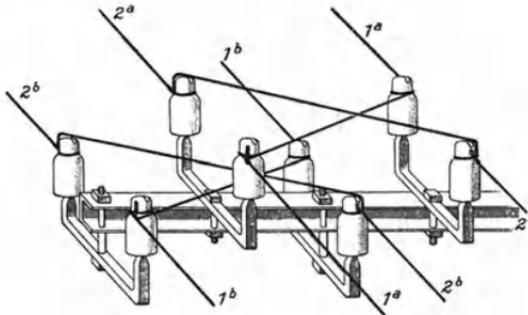


Abb. 771 b. Platzwechsel für 2 Doppelleitungen.

Plätzen übergeführt werden (Abb. 771 b). Neuerdings werden dafür nach Schweizer Muster versuchsweise Doppelisolatoren verwendet, die eine einfachere und sicherere Drahtführung gestatten (Abb. 771 c).

(1289) Herstellen der Drahtleitung. 1. Auslegen der Drahtadern. Der Draht wird für gewöhnlich längs der fertigen Stangenreihe ausgelegt und zwar auf der Seite des Gestänges, wo er befestigt werden soll. Nur der für die inneren Stützen der Doppelgestänge bestimmte Draht wird vorwärts oder rückwärts von seiner Verwendungsstelle ausgelegt, damit er nachher über die Gestänge weggezogen werden kann. Eisendraht kann meist ausgerollt werden; das Ende des Drahttringes wird festgehalten und der Ring wie ein Rad abgerollt. Kupfer- und Bronzedraht wird zur Vermeidung von Beschädigungen auf einen Haspel gelegt und die Linie entlang getragen, wobei er nicht auf hartem Boden schleifen darf. Es muß verhütet werden, daß Personen auf den Draht treten oder gar Fuhrwerke darüber fahren.

2. Verbindungsstellen. Die ausgelegten Drahtadern werden zu einer fortlaufenden Leitung verbunden. Die Verbindungsstelle muß mindestens die Zugfestigkeit und Leitfähigkeit haben wie der Draht selbst. Eine gute Verlötung ist

zwar das Beste (Wickelotstelle); sie ist aber durch den billiger und schneller herzustellenden Hülsenbund, der in mechanischer und elektrischer Beziehung völlig ausreicht, verdrängt worden.

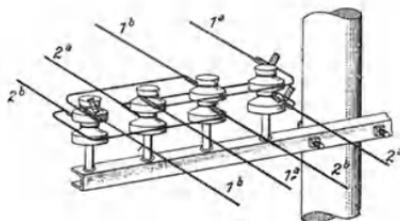


Abb. 771 c. Platzwechsel für 2 Doppelleitungen (neuer Art).

In eine Röhre von ovalem Querschnitt werden die Drahtenden von entgegengesetzten Seiten her so eingeschoben, daß sie nicht ganz hindurchreichen; man faßt die Röhre mit einer Kluppe in der Mitte und drillt darauf mit einer



Abb. 772. Arldt'scher Hülsenbund.

zweiten erst das eine, dann das andere Ende nach derselben Richtung je zweimal. Schließlich werden die leeren Enden der Hülse vorsichtig schräg abgekniffen (Abb. 772).

Im Auslande findet sich häufig die Vorschrift, daß die Drahtenden in einem kurzen Bogen über die Hülse zurückgebogen werden sollen. Dies Verfahren ist für die Festigkeit der Verbindung (Durchgleiten der Drähte) belanglos, bildet aber die Ursache dafür, daß die Leitungen beim Pendeln leicht aneinander hängen bleiben.

Abmessungen der Hülsen.

Drahtstärken in mm	Länge in mm	Wandstärke in mm
1,5	80	0,5
2	100	0,5
3	150	0,6
4	200	0,8
5	250	0,8

Werkstoff: für Kupfer- und Bronzedrähte Kupfer, für Eisendrähte Aluminium; Eisenhülsen haben sich nicht bewährt (zu wenig schmiegsam, Rostbildung).

3. Das Recken und Aufbringen der Leitung auf die Isolatoren. Zur Beseitigung von Knicken und zum Auffinden schlechter Stellen wird die Leitung gereckt¹⁾. Hierzu dient die Drahtwinde und die Froschklemme (für Eisendraht) oder die Kniehebelklemme (für Kupfer- und Bronzedraht, mit Bronze gefüttert). Das Recken geschieht am besten 2- bis 3mal, indem man die Belastung ganz allmählich bis etwa zur Hälfte der Bruchlast steigert.

Nun wird der Draht mit leichten Hakenstangen auf die Stützen der Isolatoren gehoben. Wo er über die Gestänge gezogen werden muß (bei Doppelgestängen z. B.), sind die Stellen, an denen er auf Metall schleift, zu polstern; besser ist die Anwendung von Gleitrollen.

(1290) **Spannungs- und Durchhangsreglung.** Bevor die Leitungen an den Doppelglocken festgebunden werden, muß ihnen die richtige Spannung gegeben werden, indem entweder durch Einschalten einer Federwage der Drahtzug unmittelbar gemessen oder der dem vorschrittmäßigen Drahtzuge entsprechende Durchhang (1269) hergestellt wird. Das zuletzt genannte Verfahren wird am meisten angewendet: Durchhangsmaß am Ende einer leichten Latte kennzeich-

¹⁾ Wegen der gleichzeitig erreichten Erhöhung der Elastizitätsgrenze für Bronze- und Hartkupferdrähte s. ETZ 1908, S. 339.

nen, Lattenende in der Mitte des Stangenfeldes in die Sehlinie über die beiden Isolatoren einrichten und danach Leitung soweit heben oder senken, bis sie die Durchhangsmitte berührt. An Stelle der Meßlatte sind auch Holzwinkel im Gebrauche, die auf die beiden Isoliervorrichtungen gehängt werden; an ihrem lotrechten Schenkel sitzt zum Einstellen des Durchhangsmaßes eine verschiebbare Schiene, Knagge usw. Der Durchhang der Leitung ist so lange zu ändern, bis der tiefste Drahtpunkt in die Sehlinie über die beiden Knaggen fällt.

Auch lassen sich die Pendelschwingungen des Drahtbogens zur Bestimmung des Drahtdurchhangs heranziehen¹⁾.

(1291) Binden des Leitungsdrahtes. Neuerdings werden die Leitungen nur noch im Halslager der Porzellandoppelglocken festgebunden. An Bindendraht ist erforderlich bei Leitungsdrähten

	von 1,5	2	3	4	5	6 mm Durchmesser	
1 Draht von	65	70	80	85	90	—	cm Länge für Kupferleitungen
1 „ „	—	—	—	80	80	80	„ „ „ Eisenleitungen.

In Krümmungen soll die Leitung so liegen, daß sie vom Drahtzuge gegen den Isolator gepreßt wird und nicht an dem Bindendraht zerrt. Auf geraden Strecken liegt der Draht auf der der Stange zugekehrten Seite der Doppelglocke.

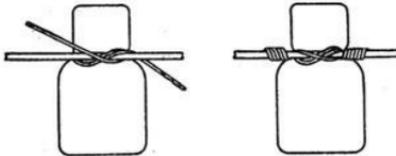


Abb. 773. Bindung im seitlichen Drahtlager.

Der Bindendraht wird über den Leitungsdraht und um den Isolatorhals gelegt; die beiden Enden werden dann wieder zurückgeführt und nach Kreuzen in acht Windungen um den Leitungsdraht herumgewickelt (Abb. 773).

(1292) Stützpunkte auf Dächern.

Die Rohrständer werden durch schmiedeeiserne Schellen am Dachgebälke befestigt; ein durch das untere Lager gezogener Schraubenbolzen dient als Stütze für den Rohrständer. Das freie Ende des Obertheiles ist durch eine Kugel oder Kappe aus Zinkblech abzuschließen; am Unterteile wird eine verzinkte Schelle zum Anschließen des Blitzableiters angefügt.

Die dem Rohrständer zu gebende Gesamtlänge richtet sich nach der zu erwartenden Höchstbelastung sowie nach den örtlichen Verhältnissen (freie Leitungsführung über Giebel, Nachbardächer usw.). Die freie Länge ist wegen der ungünstigen Festigkeitsverhältnisse möglichst kurz zu halten.

Die Querträger werden mit 40 cm Abstand von Oberkante zu Oberkante am Rohrständeroberteile befestigt; oberster Träger 10 cm unterhalb des Verschlussknopfes.

Zur Verstärkung dienen Anker aus Stahldrahtseilen und Rundeisen sowie Streben aus Formeisen. Außer den Eckstangen ist auch in gerader Linie jeder dritte oder vierte Stützpunkt so zu verstärken, daß er beim Umbruche von Gestängen den einseitigen Zug eines Feldes aushalten kann. Die Leitungen werden mit Hilfe von Zugseilen und Drahthaspeln über die Stützpunkte hinweggezogen und nach Regelung des Durchhangs festgebunden.

(1293) Verhinderung des Tönens der Leitungen. Um die Übertragung des Tönens der Drähte in das Haus zu verhüten, werden unter die Befestigungslaschen des Rohrständers, die Schellen für Anker und Streben usw. starke Filzplatten oder Bleiblechstreifen gelegt. Die Rohrständer selber sind mit Sand, Asche usw. zu füllen. Reicht diese Maßregel nicht aus, so müssen die Leitungen mit besonderen Tondämpfern versehen werden. Alle hierfür versuchten Mittel gehen darauf aus, durch Beschwerung, Umwicklung usw. der Leitung in der Nähe des Stützpunktes die Ausbildung eines Schwingungsknotens zu verhindern oder zu

¹⁾ Vgl. Winnig: Grundlagen der Bautechnik f. oberird. Telegraphenlinien, S. 212.

erschweren. Am wirksamsten hat sich gezeigt: Umwickeln der Leitung mit Bleidraht, altem einadrigem Bleirohrkabel, schmalem Bleiblechband auf etwa 100 cm Länge; Anbringen einer losen Drahtspirale; Einschalten eines Stückes isolierten Drahtes (3 m) in die Freileitung usw. Gummizylinder und Betontondämpfer werden nicht mehr verwendet.

(1294) Untersuchungsstellen. Damit die Leitungen in Störungsfällen und zu Meßzwecken in einfacher Weise getrennt, zur Schleife geschaltet oder mit Erde verbunden werden können, sind alle 20 bis 25 km Untersuchungsstellen einzurichten. Soweit die Leitungen hierzu nicht in Betriebsstellen eingeführt werden können, sind an günstigen Stellen (in der Nähe von Ortschaften, an Bahnhöfen usw.) bestimmte Gestänge mit Untersuchungseinrichtungen zu versehen. Zu diesem Zwecke werden die Leitungen an U-förmigen Doppelstützen beiderseits abgespannt und ihre zu Bügeln geformten Enden

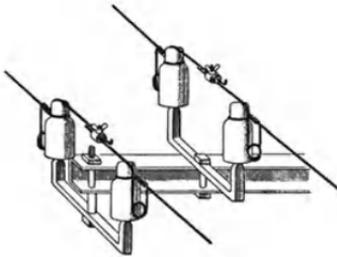


Abb. 774. Untersuchungsstelle.

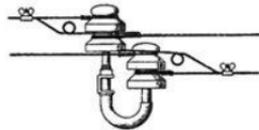


Abb. 775. Untersuchungsstelle neuer Art.

durch eine leicht lösbare Klemme verbunden (Abb. 774). Auch die zur Herstellung von Kreuzungen und Platzwechseln benutzten Doppelisolatoren (1288) sind für Untersuchungsstellen verwendbar (Abb. 775).

Ist die Bedienung der Untersuchungsstelle wegen zu großer Entfernung von der Telegraphenanstalt (z. B. in Umgehungslinien) verbunden, so kann eine Beschleunigung durch Anwendung einer elektrisch gesteuerten Untersuchungseinrichtung erreicht werden, mit deren Hilfe sich die einzelnen Fernsprechleitungen auf besondere Prüflleitungen schalten lassen.

(1295) Windverstärkungen; Linienfestpunkte. In offenem, dem Winde ausgesetzten Gelände sind auch auf geraden Strecken die einfachen Gestänge reichlich mit Seitenverstärkungen zur Aufnahme des Winddruckes zu versehen. Vorzugsweise herrschende Windrichtung berücksichtigen; aber entgegengesetzte Richtung nicht ganz ohne Schutz lassen

Gegen reihenweises Umbrechen oder Überweichen der Gestänge beim Umbreche einzelner Stützpunkte bei Rauhreif usw. muß durchschnittlich jedes 5. Gestänge durch Verstrebung so verstärkt werden, daß es den vollen einseitigen Drahtzug aus beiden anstoßenden Feldern aufnehmen kann.

(1296) Anwendung von Luftkabeln. Luftkabel kommen als Ersatz blank geführter Teilnehmerleitungen, Vororts-, Nachbarorts- und Bezirksleitungen in Frage

1. in Linien, die unter Bäumen verlaufen und durch Berührung mit den Zweigen, durch abgebrochene und in den Leitungen hängen gebliebene Äste usw. häufig Störungen erleiden,

2. in Linien, die durch Rauhreifgebiet verlaufen,

3. in geschlossenen Linienzügen, die die Teilnehmerleitungen von den Vermittlungsamtern nach benachbarten Ortschaften bringen,

4. in den Außenbezirken größerer Ortsfernprechnetze, deren noch nicht überschaubare Entwicklung die Anlage eines unterirdischen Kabelnetzes noch nicht gestattet und

5. in Ortsfernsprechnetzen für den Selbstanschlußbetrieb, um durch Verbesserung des Isolationszustandes und durch Verminderung der Störungsanfälligkeit einen gesicherten Betrieb zu ermöglichen.

Als Kabel werden die entsprechenden Typen der Fernsprechröhrenkabel (1300) benutzt, deren Bleimantel durch einen Zinn- oder Antimonzusatz größere Festigkeit erhält. Aufgehängt werden sie an Stahldrahtseilen von 35 mm², 50 mm² und 70 mm² Querschnitt mit einer Zugfestigkeit von mindestens 80 kg/mm².

(1297) Anbringen der Tragseile. Nach entsprechender Verstärkung des Gestänges werden die Tragseile entweder mit Schellen und Bolzen unmittelbar

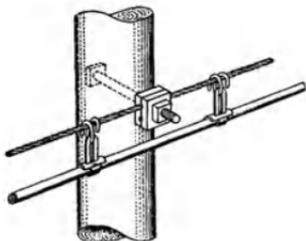


Abb. 776. Tragseilschelle für Luftkabel.

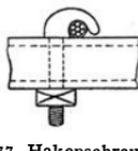


Abb. 777. Hakenschraube zur Befestigung des Luftkabel-Tragseils an Querträgern.

an der Stange befestigt (Abb. 776) oder, wenn die Linie mit Querträgern ausgerüstet ist, durch Hakenschrauben (Abb. 777) an diese angeklemt. Dem Tragseil ist eine solche Lage zu geben, daß sich das anzuhängende Kabel unter keinen Umständen an der Stange scheuern kann.

(1298) Aufhängen des Luftkabels. Das Kabel wird mit Kupfer- oder Bronzebändern, die in Form einer Schlinge um den Bleimantel herumgezogen werden, und mit kupfernen Doppelhaken (Abb. 776) an das Tragseil gehängt und an diesem entlang gezogen. Spleißstellen und Aufteilung im allgemeinen wie bei den Röhrenkabeln (1300). Nach dem Ausziehen des Kabels sollen die Tragseile einen Durchhang von etwa 2...3 vH der Spannweite haben.

(1299) Sicherungsmittel. Lassen sich einzelne Telegraphenstangen, besonders in Dorfstraßen, nur so aufstellen, daß für sie die Gefahr, durch Fuhrwerke angefahren zu werden, besteht, so sind sie dagegen durch Prellsteine oder Abweiser (d. s. schräg eingegrabene Stangenabschnitte) zu schützen. — In Gegenden mit ausgedehntem Weidegelände treten häufig Störungen dadurch auf, daß sich Kühe an den Telegraphenstangen scheuern und durch die heftigen Schwankungen der Stangen Drahtverschlingungen verursachen. Um dies zu verhüten, umgibt man die Stangen mit 4 bis 5 sog. Scheuerpfählen, die aus alten Stangenabschnitten bestehen und mit etwa 150 cm freier Länge rings um die Stange eingegraben werden. — Blitzschutzdrähte haben den Zweck, im Gebirge oder anderen gewitterreichen Gegenden, in denen die Telegraphenstangen häufig durch Blitzschläge zersplittert werden, die Linien hiervor zu schützen. Sie bestehen aus einem 4 mm starken Eisendrahte, der mit einem Ende zu einem Ringe aufgewickelt möglichst in das feuchte Erdreich einzugraben ist. Das andere Ende wird an der Stange emporgeführt und so lang bemessen, daß es noch 10 cm über den Zopf der Stange hinausragt.

Versenkte Leitungen.

(1300) Grundlagen der Konstruktion. Sollen Schwachstromleitungen in die Erde oder in Gewässer versenkt werden, so wird jede einzelne Leitung mit einer Isolierhülle umgeben. In der Regel werden die zu gleicher Zeit in derselben

Linie zu verlegenden Leitungen miteinander verseilt. Besteht die Isolierhülle aus Guttapercha oder einem ähnlichen im Wasser beständigen Baustoff, so erhält das durch Verseilen gebildete Kabel keine Bleihülle. Bei Isolierhüllen, die Wasser aufnehmen und dann ihre Isolierfähigkeit einbüßen (Papier und Faserstoffe) muß das Kabel mit einem zusammenhängenden Bleimantel umpreßt werden. Zur Aufnahme der beim Verlegen auftretenden Zugspannungen und zum Schutze gegen mechanische Beschädigungen werden die Kabel, soweit erforderlich, mit einer Armatur aus Eisendrähten oder Eisenbändern umgeben (Abb. 778). Die Landkabel werden entwerder frei in die Erde gelegt und zum Schutze gegen mechanische Beschädigungen mit Ziegelsteinen, Zementplatten, Dachpappe, imprägnierten Holzbrettern u. dgl. bedeckt (Erdkabel) oder sie werden, um bei neuen Auslegungen die Erdarbeiten zu ersparen, in Kanäle gezogen (Röhrenkabel). Fluß- und Seekabel werden auf den Grund des Wassers versenkt und, soweit dies möglich ist, eingebaggert oder eingegraben.

(1301) Die **Kabelkanäle** bestehen entweder aus einem weiteren Rohr (Vollrohr), in das mehrere Kabel nebeneinander eingezogen werden können, oder aus engeren Einzelrohren, in die in der Regel nur je ein dickeres Kabel eingezogen werden kann. Die Kanäle werden aus Zement, Eisenbeton, Gußeisen, Mannesmannrohren, glasiertem Ton oder Holz hergestellt. Die Kanäle mit Einzelrohren werden aus einzelnen Rohren oder aus Platten mit einer Reihe von nebeneinanderliegenden Öffnungen oder aus Blöcken mit mehreren Reihen über- und nebeneinanderliegender Öffnungen zusammengefügt (vgl. Stille: Telegraphen- und Fernsprechkabelanlagen; Byng, E. S.: Telephone Line Work in the United States; Institution of Electrical Engineers 1921; Higgins, P. Kerr: Planning Cable Plants, Telephone Engineer 1925, Heft 2).

(1302) Die **Leiter** der Kabel werden in der Regel aus möglichst reinem Kupfer hergestellt. Aluminiumleiter sind versuchsweise verwendet worden. Der Leiter besteht entweder aus einem einzigen Draht oder, besonders bei stärkeren Leitern, zur Erzielung einer größeren Gleichmäßigkeit und Biegsamkeit aus einer Litze, die aus mehreren Einzeldrähten zusammengedreht ist. Diese Einzeldrähte sind entweder rund, oder um einen runden Mitteldraht legen sich Drähte mit trapezförmigem Querschnitt so herum, daß sie mit dem Mitteldraht den Querschnitt des Leiters fast vollkommen ausfüllen. Wo der Leiter gegen den chemischen Einfluß der Isolierhülle geschützt werden muß (Gummikabel), wird er verzinkt. Zur Erhöhung der Induktivität (1393) wird der Leiter unter Umständen mit einer oder mehreren Lagen feinen Eisendrahts bewickelt oder sonstwie mit einer Hülle aus Eisen oder einer Eisenlegierung umgeben.

(1303) **Isolation.** Der Leiter wird mit Guttapercha, Faserstoff, Papier oder Gummi isoliert. Die Guttapercha gewährt die beste Isolation. Sie wird daher für lange Seekabel fast ausschließlich verwendet. Wegen ihrer Kostspieligkeit und Empfindlichkeit gegen Wärme, Luft und gewisse chemische Einflüsse sieht man bei Landkabeln von ihrer Verwendung ab. Die Guttapercha wird um den durch Chatterton compound gezogenen Leiter in mehreren durch Chatterton verbundenen Lagen gepreßt.

Die Faserstoffisolierung ist bei Schwachstromkabeln nicht mehr gebräuchlich. Als Faserstoff wird meist Jute benutzt, die so dicht um den Leiter mit möglichst kurzem Drall gesponnen wird, daß zwischen den einzelnen Fäden

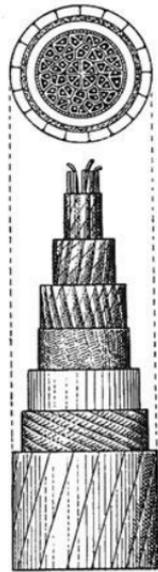


Abb. 778. Aufbau eines 28 paarigen Fernsprechröhrenkabels mit geschlossener Bewehrung.

keine Lücken entstehen. Da die Jute sehr aufnahmefähig für Wasser ist, wird sie nach dem Aufbringen mit einer Masse, die aus Harz, Wachs und Öl zusammengesetzt ist, getränkt.

Die Papierisolierung ist bei Landkabeln, Flußkabeln und kurzen Seekabeln die gebräuchlichste. Das Papier wird entweder in schmalen Streifen fest um den Leiter gewickelt und wie der Faserstoff getränkt oder unter Bildung eines möglichst großen Hohlraums um den Leiter gelegt und getrocknet (Luft-raumkabel). Die zuletzt genannte Isolierung ist wegen der geringen Kapazität der so erzielten Ader für die Außenkabel die gebräuchlichste. Der Papierstreifen wird entweder spiralförmig und mit einer größeren oder geringeren Überlappung lose um den Leiter gelegt oder er wird in der Längsrichtung um den Leiter gefaltet und mit einem in Spiralen herumgelegten Baumwollfaden gehalten. Im ersteren Fall wird häufig noch ein zweiter Papierstreifen in entgegengesetztem Drall um den Leiter herumgelegt. Um den durch die lose Umwicklung erstrebten Hohlraum um den Leiter möglichst gleichmäßig zu machen und um ihn auch beim Zusammendrücken der Kabelseele zu erhalten, wird unter Umständen unter der Papierbewicklung eine Papierkordel in weiten Spiralen um den Leiter gewickelt.

(1304) Verseilung. Die so erhaltene Kabelader wird bei den doppeladrig betriebenen Leitungen entweder zu einer Doppelader oder zu einem Sternvierer verseilt. Letzterer enthält zwei Doppeladern, bei denen die zusammengehörigen Einzeladern sich gegenüberstehen. Bei Kabeln für Fernleitungen werden gewöhnlich noch zwei Doppeladern miteinander zu einem Vierer verseilt (Dieselhorst-Martin-Verseilung). Die Steighöhe des Dralls ist dann zur Vermeidung gegenseitiger Induktion noch verschieden. Die Einzeladern, Doppeladern, Sternvierer oder Dieselhorst-Martin-Vierer werden miteinander zur Kabelseele verseilt. Der Kern der Kabelseele besteht aus 1—5 Adern, Doppeladern oder Vierern, die miteinander verseilt sind. Um den Kern werden die weiteren Adern in konzentrischen Lagen, und zwar jede folgende Lage in entgegengesetzter Richtung der vorhergehenden gewickelt. Die Steighöhe des Dralls steigt dabei von den inneren Lagen nach den äußeren hin, wodurch es erreicht wird, daß alle Adern annähernd gleiche Länge haben. Die Kabelseele und unter Umständen auch die einzelnen Lagen werden mit Papier oder Baumwollbändern umwickelt. Etwaige Lücken werden mit Jutetrensen oder Papierkordel ausgefüllt.

Die Kabelseele wird dann im Vakuum getrocknet. Faserstoffkabel werden unmittelbar nach dem Trocknen in Imprägnierkesseln getränkt.

Zur Unterscheidung der *a*- und *b*-Adern in doppeladrigen Kabeln werden die Adern mit verschiedenfarbigem Papier oder Kennfaden umwickelt (z. B. weiß und blau oder weiß und rot). In jeder Lage wird außerdem eine Ader mit Papierumwicklung von einer dritten Farbe als Zählader gekennzeichnet. In England bezeichnet man die verschiedenen Aderpaare in wechselnder Folge durch verschiedenfarbige Baumwollfäden oder Papierisolierung, in Amerika werden die Aderpaare gruppenweise mit andersfarbigem Papier bewickelt, z. B. 100: rot-weiß, 1 rot-oranger, 101 blauweiß usw. Bei Viererverseilung erhalten die 4 Adern eines Vierers verschiedene Farben und ein Vierer jeder Lage ist als Zählvierer gekennzeichnet.

(1305) Äußerer Schutz. Um das getrocknete und unter Umständen getränkte Kabel wird ein Bleimantel gepreßt. Der Bleimantel besteht aus reinem Blei oder aus Bleilegierungen (1 bis 3 vH Zinn oder 0,5 bis 1 vH Antimon).

Röhrenkabel erhalten in der Regel keinen weiteren Schutz. Nur wenn sie in größerer Zahl in weite Rohre eingezogen werden sollen, sowie bei Erdkabeln wird das Bleikabel noch mit in Compound getränkter Jute oder Papierband umgeben und darauf die Bewehrung gebracht, die aus Eisenbändern, Rund-, Flach- oder Fassondrähten besteht. Über der Bewehrung wird bei Erdkabeln noch eine Jutebewicklung aufgebracht, die durch Compoundmasse gezogen wird.

(1306) Telegraphenkabel. Die Telegraphenkabel wurden früher mit Einzeladern und Faserstoff- oder fester Papierumspinnung hergestellt. Zum Schutze

gegen Induktion aus Nachbaradern wurden sie zuweilen mit Metallschutzbändern oder geerdeten blanken Drähten versehen. Neuerdings verwendet man bei der Reichspost für Telegraphenzwecke nur noch doppeladrigere Fernsprechkabel mit Papierlufttraumisolierung, da man die Zahl der Kabeltypen verringern will und bei der zunehmenden Elektrisierung der Bahnen mit der Einführung des Doppelleitungsbetriebes rechnen muß.

(1307) Die **Übersee-Telegraphenkabel** werden bei größeren Entfernungen meist einzeladrig mit Guttaperchaisolation hergestellt. Der Durchmesser der Kupferader, das Gewichtsverhältnis von Kupfer und Guttapercha, sowie etwaige Belegung des Kupferleiters mit Eisen-Nickellegierung wird nach Maßgabe der erwünschten Telegraphiergeschwindigkeit und der wirtschaftlich tragbaren Kosten ermittelt (1421). Für die gebräuchlichen englischen Gewichte von Kupfer und Guttapercha sind in (1308) die Gewichte in kg/km, Durchmesser und Widerstand und Kapazität des Kabels in deutschen Maßen errechnet. Von großer Wichtigkeit ist die Bewehrung, die einen doppelten Zweck zu erfüllen hat, nämlich das Kabel gegen Beschädigungen zu schützen und ihm beim Aufnehmen aus großen Tiefen genügende Festigkeit zu verleihen. Je nachdem der erste oder zweite Zweck vorwiegt, muß man das Kabel möglichst schwer oder möglichst leicht machen. Die Küstenkabel erhalten daher meist zwei Bewehrungen übereinander, die aus möglichst vielen und dicken Eisenadrähten hergestellt sind, um dem Kabel auch im Ebbe- und Flutstrom eine feste Lage zu geben, daß es sich am Felsboden nicht scheuert, und um es beim Fassen durch Anker möglichst widerstandsfähig zu machen. Die Tiefseekabel hingegen erhalten nur eine Bewehrung, möglichst aus Stahldrähten, um das Kabel so leicht wie möglich zu halten, ihm aber trotzdem eine genügende Festigkeit zu verleihen, daß es beim Aufnehmen aus großen Tiefen (4000 m und mehr) nicht nur das Gewicht des am Anker hängenden Kabels, sondern auch den Zug durch die vermehrte Spannung, der oft das Mehrfache des Zuges durch das Gewicht beträgt, aushält. In manchen Gegenden muß das Kabel auch gegen die Angriffe der Bohrmuschel (Teredo) durch Kupferbänder über der Guttaperchaisolation geschützt werden (vgl. Wilkinson, H. D.: Submarine Cable Laying and Repairing).

(1308) Die **Eigenschaften von Seekabeln**, bezogen auf die englische Bezeichnungsart. Wenn von einem Kabel gegeben ist: Gewicht des Kupfers und der Guttapercha in englischen Pfund für die Seemeile, so können aus der folgenden Tabelle die Gewichte in kg/km, die Durchmesser und die elektrischen Größen R und C entnommen werden.

lbs/Seemeilen	kg/km	Kupfer			Guttapercha						
		Ω /km	Durchmesser		die erste Zahl (0,2 . .) ist Mikrofarad/km, die zweite D in mm						
			Litze	voller Draht	K	$G = 400$		350		300	
700	171	0,92	5,58	4,93	700	0,247	12,6	0,264	12,0	0,285	11,3
600	147	1,07	5,16	4,56	600	0,229	12,5	,245	11,8	0,264	11,1
500	122	1,28	4,71	4,17							
400	97,8	1,60	4,22	3,73							
350	85,6	1,83	3,94	3,48							
300	73,4	2,14	3,65	3,27	500	0,224	11,6	0,241	10,9	0,264	10,1
250	61,1	2,56	3,33	2,94	400	0,203	11,4	0,217	10,7	0,235	9,9
200	48,9	3,20	2,98	2,64	300	0,180	11,3	0,192	10,5	0,206	9,7
150	36,7	4,27	2,58	2,28							
100	24,5	6,41	2,11	1,87							
					200	0,192	8,6	0,217	7,6	0,263	6,4
					150	0,170	8,4	0,192	7,4	0,229	6,2
					100	0,147	8,3	0,163	7,2	0,192	6,0

Es wird angenommen: spez. Gew. des Kupfers 8,94; für die Litzenleiter ist an Stelle des spez. Gewichts 7,00 zu setzen, da das Kupfer den umschließenden Kreis nicht ganz ausfüllt (vgl. Breisig, Theoret. Telegr., S. 52), spez. Gew. der Guttapercha 0,97; spez. Widerstand des Kupfers bei 15° C 0,0175. Gute Kupfersorten haben noch geringeren Widerstand; man kann bis zu 3 vH niedrigere Werte erzielen, als hier berechnet.

Bedeutet K das Kupfergewicht, G das Guttaperchagewicht in lbs/See-meile, d den Durchmesser des Kupferleiters, bei der Litze den Durchmesser des umgeschriebenen Kreises, D den äußeren Durchmesser der Guttaperchahülle, alles in Millimeter, R den Widerstand des Kupferdrahtes, so ist:

$$d = 0,1866 \sqrt{K} \text{ für vollen Kupferdraht, } 0,2109 \sqrt{K} \text{ für Litze,}$$

$$D^2 = 0,321 G + 0,0444 K,$$

$$R = \frac{640}{K} \Omega/\text{km}, \quad C = \frac{0,175}{\log \text{ vulg} \left(1 + 7,22 \frac{G}{K} \right)} \mu\text{F}/\text{km}$$

1 Kupferdraht, von dem 1 statute mile K lbs wiegt, hat einen Durchmesser von $0,200 \sqrt{K}$ mm, einen Querschnitt von $0,0315 K$ mm² und einen Widerstand von $555/K \Omega/\text{km}$. Kupferdrähte von 2–3–4–5 mm Stärke wiegen 100–225–400–625 lbs/statute mile.

(1309) Fernsprechkabel für Anschlußleitungen. Die Fernsprechkabel für Anschlußleitungen haben bei der Reichspost einen Leiterdurchmesser von 0,8 mm. Innerhalb einer Entfernung von 2 km von den Vermittlungsanstalten können auch 0,6 mm starke Leiter verwendet werden. In den Vereinigten Staaten von Amerika verwendet man in Anschlußkabeln Leiter mit einem Kupfergewicht von 10, 7,5 und 6,5 #/ für eine (englische) Meile, das entspricht einem Durchmesser von 0,643 mm, 0,558 mm 0,510 mm. Die Leiterstärke muß sich nach der räumlichen Ausdehnung der Ortsnetze und den Anforderungen an die Dämpfung im Fernverkehr richten. Die Wirtschaftlichkeit (Zusammenfassen möglichst vieler Leitungen in einem gegebenen Höchstquerschnitt) drängt auf Verminderung des Leitungsdurchmessers.

Die Zahl der Doppeladern ist in der Regel durch 5 teilbar. In Deutschland sind noch Kabel mit durch 7 teilbarer Aderzahl im Betriebe. Die Höchstzahl der Doppeladern richtet sich nach der Aufnahmefähigkeit des Querschnitts eines Röhrenkabels, das sich noch in die vorhandenen Kanalöffnungen einziehen läßt. In Deutschland benutzt man jetzt Kabel mit einer Höchstzahl von 1000 Doppeladern. In Amerika erlaubt der geringere Querschnitt des Kupferleiters die Zusammenfassung von 1200 Aderpaaren.

(1310) Fernsprechkabel für Fernleitungen werden gebraucht:

1. zur Verkabelung oberirdischer Fernleitungen auf einzelnen Strecken,
2. für den Bezirks- und Schnellverkehr,
3. für den Weitverkehr.

Für die Kabel zu 1. und 2. kommt in der Regel der Verstärkerbetrieb nicht in Frage. Ihre Leiterstärke richtet sich daher nach der zulässigen Dämpfung bei der gegebenen Länge. In Deutschland sind Leiterstärken von 0,9, 1,2, 1,5 und 2 mm gebräuchlich. Die 1,2 mm starken Kabel werden mit Krarupumspinnung versehen und dienen zur Verkabelung oberirdischer Leitungen auf verhältnismäßig kurzen Strecken (bis 3,5 km). Kabel für den Weitverkehr erhalten Leiterstärken von 0,9 und 1,4 mm. Alle Kabel haben Viererverseilung. Die Zahl der Adern richtet sich bei Kabeln zu 1. und 2. nach den örtlichen Bedürfnissen. Die Kabel zu 3. erhalten in Deutschland im Innern einen Messvierer in einer besonderen Bleihülle. Die Hauptkabelformen der deutschen Normalfern-kabel haben 40 Doppeladern mit 1,4 mm starken Leitern und 58 oder 126 Doppeladern mit 0,9 mm starken Leitern (1389).

(1311) Wetterbeständige Abschlußkabel. Die Faserstoffkabel und die mit Papier isolierten Kabel bedürfen beim Übergang auf Freileitungen eines Abschlusses, der sie gegen Feuchtigkeit schützt. Ihre Adern können daher nicht unmittelbar mit den Freileitungen verbunden werden. Hierzu sind vielmehr Kabel mit einer gegen Feuchtigkeit unempfindlichen Isolation erforderlich. Man verwendet für diesen Zweck gummiisolierte Kabel. Der Leiter besteht aus 0,8 mm starkem Kupferdraht, der feuerverzinkt und mit mehreren Lagen Gummi konzentrisch umpreßt wird. Die Gummiader wird mit gummiertem Band bewickelt und dann vulkanisiert. Über der Gummibandumwicklung wird eine dichte Beflechtung mit Hanf hergestellt. Die zu einem Kabel verseilten Adern werden mit Isclierband umwickelt und entweder mit einem Bleimantel umpreßt oder mit einer dichten Beflechtung aus Baumwollgarn versehen, die getränkt wird. Man kann die Gummiader einzeln mit Bleimantel versehen (Bleirohrkabel) oder sie zu vieladrigen Kabeln verseilen. Die einadrigen Bleirohrkabel haben den Vorteil, daß die Gummiisolierung bis zur Porzellanabspannlocke der Freileitung gegen die Einflüsse des Witterungswechsels besser geschützt ist.

(1312) Abschlußkabel für Ämter. Bei den Vermittlungsämtern lassen sich die luftisolierten Kabel wegen ihres Gewichts und ihrer geringen Biegsamkeit meist nicht bis in die Nähe des Hauptverteilers führen. Sie müssen daher abgeschlossen und die in ihnen enthaltenen Leitungen müssen in dünnen Kabeln weitergeführt werden. Um die Kabel möglichst dünn zu machen, ist der Leiter mit dicht anliegender Isolierhülle umgeben. Die dadurch bedingte höhere Kapazität kann bei der verhältnismäßig geringen Länge der Kabel in den Kauf genommen werden. Bei der deutschen Reichspost werden als Abschlußkabel in Ämtern jetzt nur noch Lackpapierkabel mit Bleimantel gebraucht. Bei diesen Kabeln ist der Kupferleiter von 0,6 oder 1 mm Stärke mit Lack überzogen, der in einem Ofen eingebrannt wird. Der lackisolierte Leiter wird sodann mit drei, bei hochspannungssicheren mit fünf Lagen Papier spiralfest umwickelt. Die Adern werden zu Paaren und die Paare in konzentrischen Lagen zum Kabel verseilt (Farbenkennzeichnung wie bei den Fernsprechkabeln). Die Kabelseele wird mit zwei, bei hochspannungssicheren mit drei Lagen Papier umwickelt und erhält einen Bleimantel.

(1313) Kabel für Einführungszwecke. In ganz unterirdisch geführten Ortsfernsprechnetzen teilt man die lufttraumisolierten Kabel nicht soweit auf, daß sie als ein- oder wenigpaarige Kabel bis in die Räume der Teilnehmer hineingeführt werden können, sondern man schließt die 10- und 5paarigen Kabel in sogenannten Endverzweigern ab. Wenn diese Endverzweiger an der Außenseite der Häuser angebracht sind, so werden zur Einführung in die Teilnehmerstellen wettर्सichere Kabel benutzt. Diese Kabel bestehen aus 0,6 mm starken verzinkten Kupferleitern, die mit einer Lage Papier und zwei Lagen Baumwollgarn umspinnen und dann zu Paaren verseilt sind. Sie werden 1-, 2- und 4paarig hergestellt. Die Kabelseele wird mit Jutehanf und Papier umspinnen, mit Isoliermasse getränkt und mit einem Bleimantel versehen.

(1314) Kabelfabriken. Telegraphen- und Fernsprechkabel und auch Kabel besonderer Bauart, z. B. Grubenkabel, werden in Deutschland von folgenden Kabelfabriken hergestellt:

1. Siemens & Halske, A.-G., Wernerwerk Siemensstadt bei Berlin;
2. Felten & Guilleaume Carlswerk, A.-G., Köln-Mülheim;
3. Land- und Seekabelwerke, A.-G., Köln-Nippes;
4. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, A.-G., Berlin NW 40;
5. Kabelwerk Wilhelminenhof, A.-G., Berlin W 9;
6. Kabelwerk Rheydt, A.-G., Rheydt;
7. Deutsche Kabelwerke, A.-G., Berlin O 112;
8. Hedderheimer Kupferwerk und Süddeutsche Kabelwerke A.-G., Mannheim;
9. Kabelwerk Duisburg, A.-G., Duisburg;

10. Dr. Cassirer & Co., A.-G., Charlottenburg;
11. Vereinigte Zünder- und Kabelwerke, A.-G., Meißen;
12. Bergmann-Elektrizitätswerke, A.-G., Berlin N 65;
13. Deutsche Telephonwerke und Kabelindustrie, A.-G., Berlin-Niederschöneweide;
14. Hackethal-Draht- und Kabel-Werke, A.-G., Hannover;
15. Kabelwerk Vogel, A.-G., Cöpenick;
16. Norddeutsche Kabelwerke, A.-G., Neukölln;
17. Süddeutsche Telephon-Apparate, -Kabel- und Drahtwerke, A.-G., Nürnberg 2;
18. Bayrisches Kabelwerk, Riffelbacher & Engelhardt, A.-G., Roth bei Nürnberg;
19. Neumeier, Kabel- und Metallwerke, A.-G., Nürnberg 30.

Herstellung versenkter Linien.

(1315) Rechtliche Verhältnisse, Auskundung. Die von sehr vielen Staaten erlassenen Gesetze oder Verordnungen über die Benutzung öffentlicher Wege für die Herstellung von Telegraphen- und Fernsprechnlinien berücksichtigen in gleicher Weise wie den Freileitungsbau (1282) auch die Herstellung versenkter Linien. Bei der Auskundung solcher Linien werden daher die öffentlichen Wege und die staatlichen Eisenbahnen schon aus dem Grunde bevorzugt, weil der Bestand der Linien auf Grund des öffentlichen Rechtes dort am besten gesichert ist. Bei der Festlegung des Kabelwegs ist außerdem zu berücksichtigen, daß das Kabel zum Fernhalten mechanischer und sonstiger Beschädigungen möglichst entfernt von Telegraphenstangen, Starkstrommasten und von anderen unterirdischen Anlagen (Gas-, Wasser- und Kanalisationsanlagen) zu verlegen ist, wobei besonders auf die Eigenart des Kabels zu achten ist, z. B. leiden Guttaperchakabel durch Berührung mit Zement und durch Leuchtgas, Bleikabel durch salpetersaure Salze (Abortanlagen) oder durch kohlen-saures Wasser, das Kalk aufgelöst hat. Von vorhandenen Starkstromkabeln muß das Kabel einen gewissen Mindestabstand bei Parallelführung und bei Kreuzungen innehalten; unter Umständen ist das Kabel durch Eisenmuffen gegen mechanische Beschädigungen und, falls es unterhalb von Starkstromkabeln liegen wird, durch Zementhalb-muffen gegen flüssiges Metall bei Starkstromkabelfehlern zu schützen. Bei Annäherungen an elektrische Bahnen ist das Kabel besonders gegen Korrosion zu sichern (z. B. durch doppelten Bleimantel).

(1316) Verteilungsmethoden. In unterirdischen Ortsfern-sprechnetzen müssen bei dem Auslegen der Kabel sogleich Vorratsleitungen für künftige Erweiterungen vorgesehen werden, damit das Kabel eine Reihe von Jahren ausreicht. Wenn man die in der Nähe der Teilnehmerstellen notwendigen Vorratsleitungen sämtlich bis zur Vermittlungsanstalt durchführte, so würde ihre Zahl in der Nähe der Vermittlungsanstalt sehr groß werden. Hierdurch würden große Anlagewerte unnütz festgelegt und auch die Unterbringung der vielen Leitungen würde auf Schwierigkeiten stoßen. Hierzu kommt, daß Nebenstellenleitungen, die zwei Teilnehmerstellen unmittelbar verbinden, häufig über die Vermittlungsanstalt auf großen Umwegen geführt werden müßten. Um die Zahl der Leitungen in der Nähe der Vermittlungsanstalten herabzumindern, hat man verschiedene Methoden angewandt. In Deutschland schaltet man in die Kabelinien Verzweiger ein, in welche die von den Teilnehmern oder Endverzweigern (1326), kommenden Kabel (Verteilungskabel) eingeführt werden. Von den Verzweigern zu den Vermittlungsanstalten führen dann nur soviel Kabeladern, als die wirklich besetzten Adern einschließlich eines kleinen Vorrats erfordern. Die Verzweiger sind außerdem untereinander zur Führung von Nebenanschlußleitungen und zur vorübergehenden gegenseitigen Aushilfe bei Erschöpfung der Vorratsadern zum Amt durch Querkabel verbunden. Alle Kabeladern sind im Verzweiger an Lötstifte oder Klemmen geführt. Die Löt-

stifte oder Klemmen der verschiedenen Kabel werden nach Bedarf durch Scheldraht miteinander verbunden (Abb. 779). Daneben besteht ein System, bei welchem die Kabelverzweiger zunächst durch Ringkabel von bestimmter Ader-

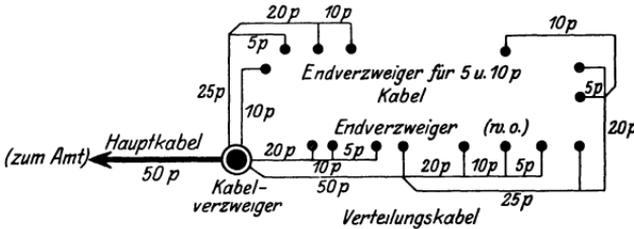


Abb. 779. Offene Verteilung unterirdischer Anschlußleitungen.

zahl miteinander verbunden sind. Die Ringkabel sind über Vielfachdosen geführt, in denen die Adern getrennt und mit Zuführungen zu den Endverzweigern

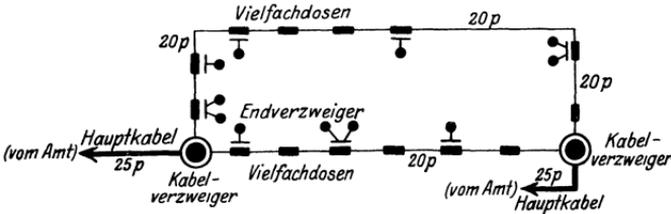


Abb. 780. Geschlossene Verteilung unterirdischer Anschlußleitungen.

verbunden werden können (Abb. 780). In der Regel ist dieses System mit dem ersten gemischt, so daß man die Vorteile beider Systeme ausnutzen kann. Da die Verzweiger leicht die Quelle von Störungen werden können, legt man neben dem Kabelnetz, dessen Kabel über die Kabelverzweiger gehen, ein Netz aus, dessen Kabel unter Umgehung der Verzweiger unmittelbar zu den Endverzweigern gehen, und beschaltet dieses den Störungen durch Schaltungen entzogene Netz stets voll mit Leitungen. Den laufenden Zuwachs an Leitungen und die Nebenstellenleitungen nimmt dann das Verzweignetz auf, das von Zeit zu Zeit durch Auslegen neuer unmittelbarer Kabel entlastet wird. In Amerika spart man an Vorratsleitungen, indem man von denselben Kabeladern an verschiedenen Stellen Abzweigungen herstellt und die Kabeladern nach Bedarf an der ersten oder zweiten Stelle beschaltet (Abb. 781). Reichen die Adern nicht mehr aus, so vermehrt man sie leicht durch ein neues Hauptkabel, das die zweiten Abzweigungen derselben Kabeladern aufnimmt.

(1317) Legen von Erdkabeln. Der Kabelgraben wird für Guttaperchakabel, die gegen höhere Temperatur geschützt werden müssen, 1 m, für andere Kabel 0,60—0,75 m tief, oben 60 cm breit, an der Sohle 20...30 cm breit hergestellt. Alle schärferen Biegungen sind zu vermeiden. In Amerika hat man zum Herstellen des Kabelgrabens auch Grabenbagger benutzt. In Deutschland haben diese aber nicht wirtschaftlich gearbeitet. Die Kabel werden auf Haspeln angeliefert. Die Baulänge richtet sich nach der Schwere des Kabels und schwankt bei Kabeln mit Bleimantel zwischen 100 und 1000 m. Zum Auslegen wird der Haspel, wo die örtlichen Verhältnisse es gestatten, auf einem geeigneten Wagen, auf dem er um eine wagerechte Achse drehbar gelagert ist, den Graben entlang gefahren, in den das abgerollte Kabel hinabgelassen wird. Wenn der Kabel-

graben von Gasröhren oder sonstigen Anlagen in einer solchen Höhe gekreuzt wird, daß das Kabel unter den Anlagen hindurchgeführt werden muß, so muß der Kabelhaspel am Ende solcher Strecken drehbar aufgestellt und das Kabel abgewickelt und in dem Graben fortgetragen werden. Dabei ist darauf zu achten, daß das Kabel nicht auf der Erde oder über vorhandene Anlagen hinweggeschleift und dabei beschädigt wird. Beim Zuschütten des Grabens ist das Kabel zunächst mit einer 3...4 cm starken steinfreien Erd- oder Sandschicht zu bedecken und eintretendenfalls zum Schutze bei Aufgrabungen mit Ziegelsteinen oder mit Zementplatten mit eingelegtem Drahtgitter oder mit dachförmigen Halbmuffen

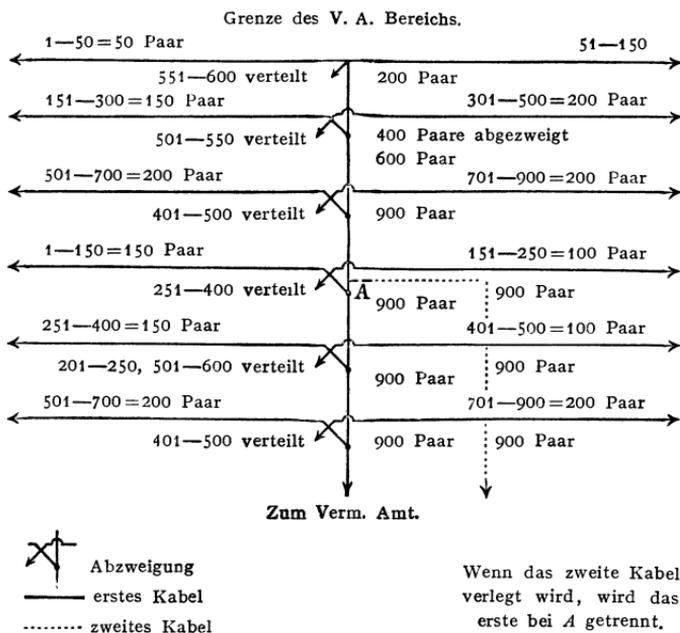


Abb. 781. Amerikanische Verteilung unterirdischer Anschlußleitungen.

aus Ton oder Zement zu belegen. Wenn das Kabel über anderen Anlagen liegt, wird es durch Rohre gezogen oder, wenn sich die Rohre schwer über das Kabel hinwegziehen lassen, durch Schutzmuffen gesichert, die aus zwei Halbrohren mit Flanschen bestehen, die durch geschlitzte Stifte und Keile zusammengehalten werden. In Amerika schützt man vielfach das unbewehrte Kabel, indem man es in eine asphaltähnliche Masse einlegt, die heiß auf Dachpappe gegossen und mit der Dachpappe um das Kabel gewickelt wird.

(1318) Auslegen von Flußkabeln. Flußkabel sind bei strömenden Gewässern unterhalb von Brücken oder festen Bauwerken auszulegen, damit sie nicht gegen die Bauwerke getrieben werden. Bei Wehren sind sie oberhalb des Wehres zu verlegen, da sie dort besser versanden. Bei nicht zu breiten und langsam fließenden Gewässern kann man das Kabel von dem am Ufer drehbar aufgestellten Haspel abrollen und mit einem Seil über das Wasser ziehen, unter Umständen mit Unterstützung durch ausgelegte Boote. Bei breiteren Flüssen und Seen ist das Kabel auf ein festes Fahrzeug zu laden und auszufahren. Wenn es nicht zu lang ist, kann es auf einem Haspel drehbar aufgestellt werden. Der Ablauf wird dann durch Bremsen des Haspels mit Hebebäumen geregelt. Längere Kabel

werden im Innern des Schiffes aufgeschossen und laufen über Führungsrollen oder durch Augen nach dem Heck des Schiffes, wo sie ins Wasser gelassen werden. Hierbei wird der Ablauf durch Bremsen geregelt, die die Reibung des Kabels durch Drücken oder Pressen verstärken. Das Legeschiff muß in verhältnismäßig schneller Fahrt mit einem Dampfer oder Motorfahrzeug über den Fluß geschleppt werden. Der Kurs wird durch Steuern des Legeschiffes gehalten, der Abtrieb muß beim Schleppen ausgeglichen werden. Das Kabel darf nicht schneller ablaufen, als das Schiff fährt. Wo das Kabel zum Schutze gegen Beschädigungen durch Anker oder beim Reinigen und Vertiefen des Flußlaufes eingebaggert werden muß, stellt man durch Hand- oder Maschinenbagger eine Rinne her und läßt das Kabel in der Rinne von selbst versanden oder verschlammen. An besonders gefährlichen Stellen und in Felsboden muß man das Kabel in der Rinne unter Umständen mit Hilfe eines Tauchers mit Kies oder Schuttsteinen bedecken. Um eine feste Lage des Kabels zu erzielen, baggert man es in der Nähe des Ufers besonders tief ein und gräbt es am Lande in festem Boden auf etwa 10..15 m ein. Wo dies nicht möglich ist oder die Ufer nicht fest genug sind, legt man das Kabel an den Ufern an Kabelhaltern fest. Diese bestehen aus zwei mit Schraubenbolzen zusammengepreßten und mit einer Quernut versehenen Holzschwellen, zwischen denen das Kabelende festgeklemmt wird. Die Halter legt man hinter kräftige

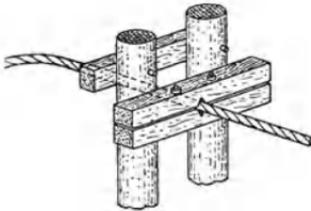


Abb. 782. Kabelhalter.

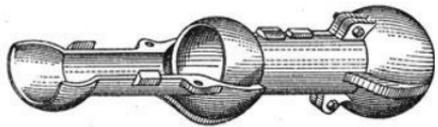


Abb. 783. Flußkabelmuffen.

Widerlager (eingerammte Holzpfähle) (Abb. 782). Im Allgemeinen gibt die doppelte Bewehrung oder die Γ förmige Fassondrahtbewehrung dem Kabel eine genügende Festigkeit gegen Zerreißen. Wo jedoch das Kabel durch Ankerwerfen großer Schiffe oder starke Grundströmung mit Grundeisverschiebung besonders gefährdet ist oder wo aus wirtschaftlichen Gründen eine leichtere Bewehrung gewählt ist, kann man das Kabel streckenweise mit Flußkabelmuffen versehen, das sind Schutzmuffen aus Gußeisen mit Kugelgelenken, die aus je zwei zusammenschraubbaren Halbmuffen bestehen (Abb. 783). Diese Muffen werden entweder bei der Legung aufgebracht oder, wo dies wegen der zum Einhalten des Kurses erforderlichen Geschwindigkeit nicht möglich ist, nachträglich, indem das Kabel nach und nach mit Booten unterfahren und streckenweise gehoben wird.

(1319) Zum Auslegen von Seekabeln benutzt man Dampfer, die mit Behältern ausgerüstet sind, in denen die Kabel aufgeschossen und unter Wasser gehalten werden können. Die großen Kabeldampfer können 2000 und mehr Seemeilen Tiefseekabel fassen. Am Bug und Heck haben die Dampfer Rollen, über die die Kabel ausgelegt (am Heck) oder aufgenommen werden können (am Bug). Die Kabel werden durch einen Führungsring über der Mitte des Kabelbehälters, die von einem abgestumpften Kegel eingenommen wird, und weiter durch Augen, eine Auslegemaschine und ein Dynamometer aus den Behältern herausgeleitet und dann über Bord gelassen. Die Auslegemaschine hat eine auf horizontaler Achse drehbare Trommel *KT* (Abb. 784) von etwa 1,5 m Durchmesser, auf die das Kabel 3- bis 4 mal gewickelt wird, so daß die Reibung es auch bei stärkstem Zug am Gleiten verhindert. Die Trommel wird durch eiserne Bänder, die als Bremsen Klötze aus Hartholz, die auf die Trommel schleifen, tragen, und die

mittels eines Hebels angezogen oder nachgelassen werden, gebremst. Der Hebel wird mit Gewichten belastet und auf einen bestimmten Zug des Kabels eingestellt (Abb. 784). Zur Dämpfung der Bewegung dient eine Ölpumpe. Ändert sich die Tiefe des Meeres und damit das Gewicht des am Schiff noch hängenden Kabels, so kann durch die Gewichte die Bremswirkung geändert werden. Außerdem läßt sich die Bremse mit der Hand durch eine Übertragung vom Dynamometer aus regeln, was beim plötzlichen Auftreten oder Nachlassen von Spannungen not-

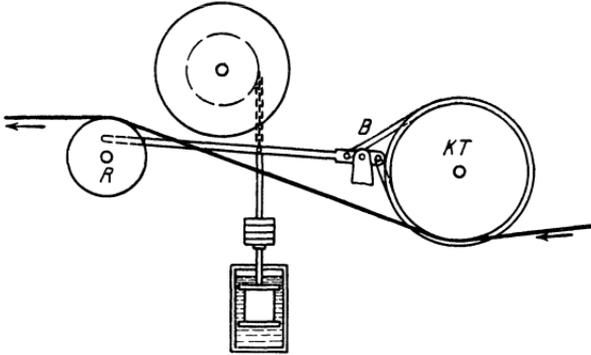


Abb. 784. Schema einer Auslegemaschine.

wendig wird. Die Bremse muß mit Wasser gut gekühlt werden, da sich durch die Reibung starke Hitze entwickelt. Zum Einholen des Kabels kann dieselbe Maschine oder eine ähnliche benutzt werden. Die Trommel wird dann mittels eines Triebwerks durch Dampf angetrieben und zieht das Kabel in das Schiff hinein. Zum Einholen des Kabels wird meist die Maschine auf dem Vorderdeck

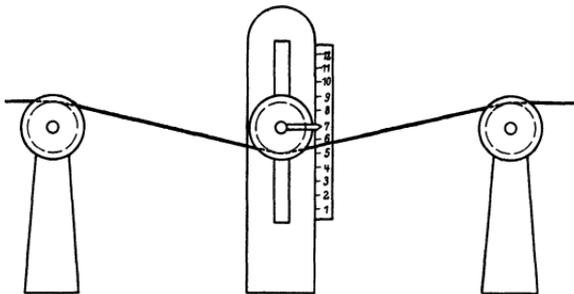


Abb. 785. Dynamometer.

benutzt, da das Schiff beim Aufnehmen des Kabels über den Bug sich besser steuern läßt. Das Dynamometer besteht aus einer beweglichen Rolle, die auf das Kabel aufgesetzt ist und es zwischen zwei festen Rollen, über die das Kabel geführt ist, belastet (Abb. 785). Nach dem Grade der Durchbiegung des Kabels durch die Last der Rolle wird die Spannung des Kabels gemessen. Die Küstenkabel werden vom Schiff auf Leichter geladen und zwischen Schiff und Ufer ausgefahren. Unter Umständen wird das Kabel an Fässer oder andere Gefäße gebunden, die mit Luft gefüllt sind und das Kabel schwimmend erhalten, und sodann durch Trossen an das Land gezogen. Wenn das Kabel in mehreren Teilen

verlegt wird, wird das Kabelende des zuerst verlegten Kabelstücks einstweilen ins Wasser gelassen, nachdem es mit einer Boje verbunden ist entweder so, daß das Kabel ganz auf dem Meeresgrund liegt und die Boje mit einem Pilzanker neben dem Kabel verankert ist, oder so, daß das Kabelende durch die Boje schwimmend gehalten wird. Beim Anfertigen von Lötstellen werden die ausliegenden Kabelenden durch Stopper, das sind um das Kabel in weiten Windungen herumgeschlungene und an ihm festgebundene Seile oder Ketten, gehalten. Die fertige Lötstelle wird dann an den mit den Stoppern verbundenen Seilen langsam über Bord gelassen, so daß die Lötstelle unverletzt ins Wasser kommt.

Während der Auslegung wird das Kabel dauernd elektrisch beobachtet, damit etwaige Fehlerstellen sogleich wieder aufgenommen und beseitigt werden können. Damit das Kabel sich dem Boden gut anschmiegt und zum Zweck der Fehlerbeseitigung, ohne es zu schneiden, aufgenommen und unterfahren werden kann, muß es beim Auslegen einen gewissen Überschuß an Länge erhalten. Dieser Überschuß wird dadurch festgestellt, daß die Länge des ausgegebenen Kabels durch die Umdrehungen der Trommel der Auslegemaschine gemessen und die vom Schiff zurückgelegte Fahrt durch Loggen festgestellt wird. Da jedoch die Fahrt des Schiffes durch Meeresströmungen, die beim Loggen nicht festgestellt werden können, beeinflußt wird, so müssen außerdem möglichst oft die Schiffsorte durch Aufnehmen der Länge und Breite oder durch Anschneiden fester Punkte (Leuchttürme, Baken) festgestellt und die zurückgelegten Schiffswege danach berechnet werden. Man kann auch einen dünnen Klavierdraht unter starker Spannung zugleich mit dem Kabel auslegen, die Länge des ausgelegten Drahtes ebenfalls durch Zählen der Umdrehungen einer Trommel messen und aus dem Unterschied der Länge des ausgelegten Kabels und des Drahtes den Überschuß des Kabels an Länge feststellen (vgl. Wilkinson, H. D.: Submarine Cable Laying and Repairing).

(1320) Kanäle für Kabel. Der Graben für Kabelkanäle muß dem Umfange der Kanäle entsprechend breiter und tiefer als der für Erdkabel angelegt werden. Krümmungen sind überhaupt zu vermeiden. Bei Richtungswechseln müssen Kabelbrunnen, d. h. zugängliche unterirdische Räume, angelegt werden. Zwischen den Brunnen muß der Kanal geradlinig verlegt werden. Ebenso muß die Sohle des Grabens gerade und eben sein und eine geringe Neigung haben, damit etwa eindringendes Wasser zu den Brunnen abfließen kann. Die in Deutschland am meisten verwendeten Zementplatten mit mehreren Öffnungen werden in der Regel ohne besondere Unterbettung auf die Sohle des Grabens gelegt. Nur an den Stoßstellen liegen sie auf einer 2 cm dicken, etwa 20 cm breiten Lage von Zementmörtel (1 : 6). Die Platten werden im Mauerverband aufeinander gelegt unter Zwischenfügen einer 1 cm starken Zementmörtelschicht (Abb. 786). Die Stoßstellen werden durch eiserne Dorne,

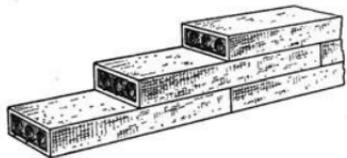


Abb. 786. Kabelkanal aus Zementplatten.

der Formstücke eingepaßt werden, verbunden und greifen außerdem mit Nut und Fuge ineinander. Außerdem wird die Stoßstelle sorgfältig mit flüssigem Zementmörtel gedichtet. Der Aufbau der Kanäle aus Blöcken ist ähnlich. Nur gibt man den Kanälen einen festeren Halt durch eine Betonsohle und sogar durch seitliche Betonfassungen, oder man bringt Führungsschienen aus Eisen an, die mehrere Blöcke in gegenseitiger Lage festhalten. Wo nicht genug Platz in dem Verkehrsweg vorhanden ist, um den Zementkanälen eine genügende Bodenbedeckung (60 cm) zu geben, verwendet man besonders in Fahrstraßen eiserne Einzelmuffenrohre, die an den Stoßstellen mit Gummiringen gedichtet werden und deren Muffenende außen sternförmige Ausbuchtungen hat, die den Wan-

dungen des Rohres angepaßt sind und sich in die des Nachbarrohres hineinlegen, so daß man mit diesen Rohren einen Kanal mit beliebig vielen Einzelrohren zusammensetzen kann, dessen Einzelrohre eine gleichmäßige und unverrückbare Lage gegeneinander haben. Weite Muffenrohre, die in einer Öffnung eine größere Zahl von Kabeln aufnehmen, werden nur noch selten verwendet. Neuerdings hat man in der Schweiz diese Bauweise wieder aufgenommen, da bei diesen Röhren mit Weißstrick und Blei am leichtesten und sichersten eine gute Dichtung gegen Wasser erzielt werden kann. Die oben erwähnten Kabelbrunnen werden auch in gerader Linie in Entfernungen von 100...200 m in den Kanal eingebaut, um die Lötstellen zwischen den einzelnen Kabellängen aufzunehmen. Die Brunnen werden aus Ziegelsteinmauerwerk oder Beton in Wandstärken von

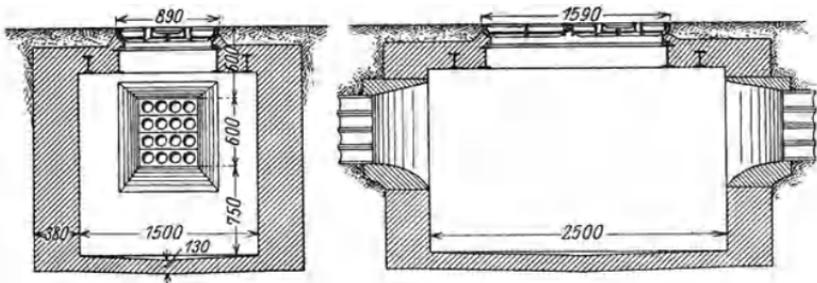


Abb. 787. Quer- und Längsschnitt eines Kabelbrunnens.

38 cm bis 15 cm hergestellt (Abb. 787). Neuerdings fügt man sie auch aus eisenarmierten Betondielen zusammen, die nach einheitlichem Typ hergestellt werden. An den Mündungen der Kanäle werden Werkstücke zwischen Mauerwerk und Kanal eingefügt, die als abgerundete Erweiterungen des Kanals anzusehen sind und verhüten, daß die Kabel über scharfe Kanten gezogen werden. Die Brunnen werden oben mit eisernen Trägern abgedeckt, auf denen ein eiserner Rahmen für die Deckel ruht, die den Zugang zum Brunnen verschließen. Rahmen und Deckel sind bisher meist aus Gußeisen hergestellt worden oder bestehen aus einer Eisenzarge mit Granitdeckel. Der starken Beanspruchung der Straßen durch den Kraftwagenverkehr wegen nimmt man neuerdings auch schmiedeeiserne Abdeckungen.

Da es schwer ist, die Zementkanäle an den Stoßfugen sicher gegen eindringendes Wasser zu dichten, versieht man die passend gelegenen und besonders stark unter Wasserandrang leidenden Brunnen mit Entwässerungen. Die Entwässerung erfolgt durch Anschluß an eine Kanalisationsanlage, in dem möglichst ein Rückstauventil das Eindringen des Inhalts der Abwasseranlage in den Kabelkanal verhindert, oder durch ein Entwässerungsrohr nach einem tiefer gelegenen Wassergraben oder durch Sickerrohre.

Wenn sich bei Gasrohrbrüchen das Erdreich mit Leuchtgas sättigt, werden die Kabelkanäle leicht mit einem schlagwetterartigen Gemisch von Gas und Luft erfüllt. Um dies zu verhindern, bringt man an den Brunnen Entlüftungsvorrichtungen an. Die einfachsten und am sichersten wirkenden Vorrichtungen sind Lüftungsschlitze in den Deckeln, unter denen zum Auffangen eindringenden Straßenwassers Gefäße aufgehängt werden. Wo die Schlitze von den Straßenverwaltungen nicht geduldet werden, hat man Lüftungsrohre nach der nächsten Hauswand geführt und dort mit siebartigen oder jalousieartigen Öffnungen endigen lassen. Diese Vorrichtungen wirken aber nicht so sicher wie die Schlitze.

Zur Unterbringung der Lötstellen und Lagerung der Kabel an den Seitenwänden werden eiserne Kabelhalter angebracht.

In die kleinen, meist nur aus 1—2 Zügen bestehenden Verteilungskanäle werden für die Abzweigungen nach den Häusern Abzweigkästen eingeschaltet, die aus Beton fabrikmäßig hergestellt werden und einen Granitdeckel oder mit Eisenband eingefassten Betondeckel haben, der in einem Rahmen aus Eisenband liegt (Abb. 788).

(Näheres siehe Telegraphenbauordnung Abschnitt III, S. 33—70.)

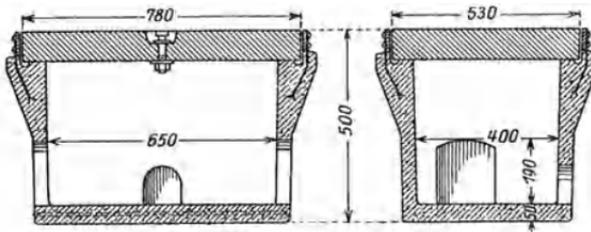


Abb. 788. Längs- und Querschnitt eines Abzweigkastens

(1321) Einziehen und Herausziehen von Röhrenkabeln. Um die Kabel in die Einzelröhren der Kanäle einzubringen, muß zunächst ein dünnes Zugseilchen hineingezogen werden. Zu diesem Zweck schiebt man Holz- oder Bambusstäbe durch die Öffnung, die durch Kugelgelenke oder Federn miteinander verkuppelt werden und an deren Ende man das Zugseilchen befestigt, das dann beim Herausziehen der Gestänge am nächsten Brunnen in die Öffnung hineingezogen wird. Mit dem Zugseilchen zieht man dann das Stahldrahtseil ein, welches das Kabel hindurchziehen soll. Bei den Verteilungskanälen, deren Öffnungen mit mehreren dünnen Kabeln besetzt werden, benutzt man biegsame 7 mm starke Stahldrähte mit Muffenverschraubung. Bei den Vollrohren mit mehreren starken Kabeln in einer Öffnung zieht man beim Verlegen einen Stahldraht hindurch. An diesem befestigt man einen Führungsschlitten, der den Raum für ein neues Kabel frei macht und beim Einziehen des Zugseils zugleich einen neuen Stahldraht mit einzieht. Am Ende des Zugseils ist ein Schäckel drehbar befestigt. Mit diesem Schäckel wird ein zweiter verbunden, der in die Schlaufe der Ziehvorrichtung eingreift. Die Ziehvorrichtung ist ein aus Stahldrahtlitzten lose geflochtener

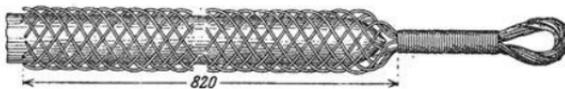


Abb. 789. Zielschlauch.

(geklöppelter) Schlauch (Abb. 789), der über das Kabelende gezogen und mit einem leichten Drahtbund befestigt wird. Beim Anziehen des Seils pressen sich die Stahllitzen des Geflechts fest um den Bleimantel des Kabels und nehmen das Kabel mit. Das Zugseil wird mit einer Kabelwinde gezogen. Diese Kabelwinde ist für Handantrieb oder Kraftantrieb eingerichtet. Im letzteren Fall wird sie als Anhänger für Kraftwagen zum Fortbewegen gebaut. Der Antrieb der Kraftwinden erfolgt meist durch Benzin- oder Rohölmotoren. Bei den Handwinden wird der Zug auf das Zugseil meist von der Seiltrommel selbst ausgeübt. Bei den Kraftwinden wird vielfach der Zug durch ein Spill auf das Zugseil übertragen und das Zugseil nach dem Durchgehen durch das Spill auf eine Trommel gleichmäßig aufgewickelt. Die Zugkraft der Winden geht bis zu 3000... 5000 kg. Die Einziehggeschwindigkeit ist bei Kraftwinden größer als bei Handwinden.

Das Kabel wird mit dem Haspel auf einer Bockwinde drehbar gelagert und so in die Richtung nach der Winde zu vor der Brunnenöffnung aufgestellt, daß es in einem weiten Bogen, ohne den Brunnenrand zu berühren, in den Brunnen hineingeht. An der Mündung der Öffnung wird eine Tülle aus Stahlblech angebracht, die abgerundete Kanten hat und verhütet, daß das Kabel sich an scharfen Kanten scheuert. Das Kabel wird vor dem Eintritt in die Öffnung mit Schmiermitteln bestrichen, die ein leichteres Gleiten des Kabels ermöglichen sollen. In Brunnen, in denen der Kanal seine Richtung ändert oder die Kanalzüge in verschiedener Höhe liegen, werden Rollen eingebaut, die das Scheuern des Kabels an den Kanten der Öffnungen verhüten.

Beim Herausziehen der Kabel aus den Öffnungen muß die Winde soweit vom Brunnen aufgestellt werden, daß die ganze Kabellänge zwischen Brunnen und Winde Platz hat. Hierbei ist das Kabel besonders am oberen Rande des Kanalrohrs und an der Kante der Brunnenöffnung durch Packrollen oder zwischengesteckte Kissen aus alten Tüchern oder Putzwolle gegen Beschädigungen zu schützen.

(1322) Verbindungs- und Verteilungsmuffen. An der Verbindungsstelle zweier Kabellängen ist der laufende Schutz des Kabels, nämlich bei Papier- und Faserstoffkabeln die Bleihülle und unter Umständen die Bewehrung, bei den Guttaperchakabeln die Bewehrung zwecks Verbindung der im Innern liegenden Adern unterbrochen. Nach Herstellung der Verbindung wird die Hülle durch eine Muffe ersetzt. Diese Muffe besteht bei den gegen Feuchtigkeit empfindlichen Papier- und Faserstoffkabeln jetzt meist aus Blei. Die früher gebräuchlichen Muffen aus Gußeisen finden wegen der schwierigen Dichtung in Deutschland nur noch Verwendung als äußerer Schutz der Bleimuffen bei besonders wichtigen Kabeln (für den Weitverkehr). Bei gewöhnlichen Erdkabeln wird die Bleimuffe durch Umgießen mit Asphalt mechanisch geschützt. Bei Guttaperchardkabeln ist nur Schutz gegen mechanische Angriffe der Lötstelle erforderlich. Diesem Zweck genügt eine Muffe aus Eisenblech (Halbrohre mit rechtwinklig abgebogenen Rändern, die durch Stifte und Keile miteinander verbunden werden). Bei Fluß- und Seekabeln muß die Muffe so gebaut sein, daß sie beim Aufnehmen

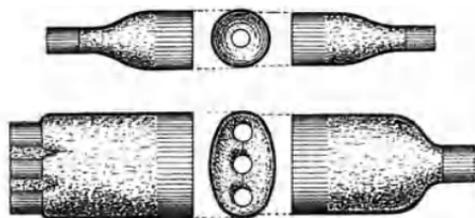


Abb. 790. Bleimuffen.

des Kabels die Zugbeanspruchung der Bewehrungsdrähte aufnimmt. Bleikabel müssen daher über der Bleimuffe stets noch eine eiserne Muffe von entsprechender Festigkeit erhalten. Bei den Bleimuffen unterscheidet man Verbindungsmuffen (zwischen Kabelstücken gleicher Aderzahl), Verteilungsmuffen (zum Aufteilen eines Kabels in 2...4 geringerer Aderzahl) und Aufteilungsmuffen (zum Aufteilen vielpaariger Straßenkabel in Lackpapierkabel bei den Vermittlungsanstalten). Die Bleimuffen bestehen entweder aus zwei hülsenartigen Teilen (Abb. 790), die vor der Vereinigung der Kabelenden auf diese geschoben, nachher ineinandergesteckt und untereinander und mit dem Bleimantel des Kabels verlötet werden, oder aus einer länglichen Röhre, die weiter als der Kabelmantel ist und über die ganze Lötstelle reicht, so daß sie nur an den Enden mit dem Bleimantel verlötet werden muß. Für dünnere Kabel verwendet man auch Muffen, die der Länge nach aufgeschlitzt sind. Die Aufteilungsmuffen (Abb. 791 u. 792) sind runde oder rechteckige Töpfe oder Tröge aus Blei, in die unten das vielpaarige Kabel eintritt und die oben mit einem Deckel aus Eichenholz verschlossen werden, durch dessen Löcher die dünnen Lackpapierkabel treten.

(1323) Die **Spleißung** der Schwachstromkabel setzt sich zusammen aus der metallischen Verbindung der Leiter, der Isolierung der Verbindungsstelle und dem Abschluß der ganzen Lötstelle. Die metallische Verbindung der Leiter kann durch Verlöten, durch Zusammenpressen in prismatischen Kupferröhrchen oder durch Verwürgen hergestellt werden. Besonders sorgfältig müssen die Adern der Guttapercha-Fluß- oder Seekabel verbunden werden. Die Litzendrähte werden miteinander verlötet. Die beiden Enden werden mit einer Feile abgeschragt, so daß sie sich mit einer großen Fläche berühren und miteinander verlötet. Um die Lötstelle wird in eng aneinander liegenden Wicklungen 0,25 mm starker Kupferdraht gewickelt und verlötet. Darüber folgt eine zweite Lage gleichen Drahtes, die an beiden Enden über die erste hinweggreift und nur an den Enden verlötet wird. Die Verbindungsstelle wird mit Chatterton compound bestrichen, darauf wird die Guttaperchaisolierung aufgeknetet. Bei den Kabeln für Fernsprechverbindungsleitungen werden die Leiterenden in eine geschlitzte Kupferhülse gesteckt, so daß sie stumpf gegeneinanderstoßen, und sodann verlötet. Die Papierisolierung wird an beiden Enden vorher abgebunden. Über die

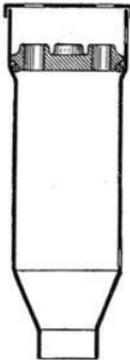


Abb. 791. Aufteilungsmuffe für 200 paarige Kabel.

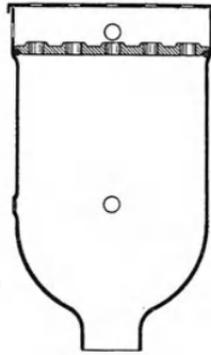
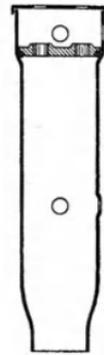


Abb. 792. Aufteilungsmuffe für 500 paarige Kabel.



Verbindungsstelle wird eine vorher aufgestreifte Papierröhre oder Baumwollhülse (Amerika) geschoben. Bei der Preßverbindung werden die Leiter in eine prismatische Kupferhülse gesteckt, so daß sie nebeneinander liegen. Sodann wird die Hülse mit einer Zwickzange zusammengepreßt und so eine innige metallische Verbindung zwischen den Adern hergestellt. Isoliert wird auch diese Stelle durch aufgeschobene Papierröhrchen. Zwecks Verwurgung werden die beiden Adern mitsamt der Papierisolierung auf einen Gang zusammengedreht, das Papier von den Adern, soweit sie nicht zusammengedreht sind, abgestreift, die blanken Adern sodann auf etwa 4 Umdrehungen lose und schließlich fest miteinander verwürgt. Die Würigestelle wird an die Adern angedrückt und mit einer Papierhülse isoliert. Die Guttaperchalötstellen werden mit Jute umwickelt und bei Erdkabeln in die im vorigen Abschnitt beschriebene Eisenblechmuffe gelegt, in deren Enden Eisenstücke eingelötet sind, gegen die sich die über einen Drahtbund umgebogenen und kurz abgeschnittenen Bewehrungsdrähte legen. Bei Flußkabeln schneidet man die Bewehrungsdrähte nicht ab, sondern legt sie doppelt über die Lötstelle, indem man jede Lage mit 4 mm starkem Eisendraht dicht bewickelt. Bei Papierkabeln wird die Lötstelle mit Nesselband in weiten Windungen umwickelt. Wenn die Lötstelle mit Isoliermasse ausgegossen werden und luftdurchlässig bleiben soll, wird sie nach dem Austrocknen zwischen

zwei dichten Nesselbandbewicklungen mit Anthygronband bewickelt. Die Papierlötstellen werden alsdann mit einem Kohlenfeuer langsam und sorgfältig getrocknet. Sodann werden die Bleimuffenhälften (1322) über die Lötstelle geschoben und mit den Bleimanteln der Kabel sowie miteinander verlötet. Wenn die Lötstelle mit Isoliermasse ausgegossen werden soll, so schneidet man die Muffe winkelförmig an zwei Stellen ein, biegt den Lappen des Winkels auf und gießt die heiße Isoliermasse durch die eine Öffnung ein, während die Luft durch die andere entweicht.

(1324) Der Abschluß der Kabel an den Gebrauchs- und Verteilungsstellen soll in erster Linie den Zutritt feuchter Luft in das Kabelinnere verhüten. Bei Kabeln, die regelmäßig durch Druckluft auf Dichtigkeit des Bleimantels geprüft werden, muß der Abschluß der Kabel auch das Entweichen der Druckluft aus dem Kabel verhindern. Nebenher dient der Abschluß auch häufig zur übersichtlichen Ordnung der vielen Kabeladern. In einfachster Weise werden die Kabel abgeschlossen, indem man sie mit Gummikabeln oder mit Lackpapierkabeln verspleißt und die Spleißstellen mit Isoliermasse ausgießt. Die Gummikabel sind wetterbeständig und bedürfen keines Abschlusses. Die Lackpapierkabel läßt man in trockenen Räumen endigen, ordnet die Enden in einer übersichtlichen Kabelform, taucht die Form in ein heißes Gemisch von reinem Bienenwachs und Zeresin und umwickelt sie mit Wachsleinwand. Beim Abschluß des Kabels im Freien oder in nicht hinreichend trockenen Räumen benutzt man Endverschlüsse, die im Freien in Gehäusen untergebracht werden. Die Endverschlüsse bestehen aus einer Kammer, in welche durch einen mit dem Bleimantel des Kabels verlöteten Stutzen das Kabel eingeführt und in dem seine Adern übersichtlich geordnet und abgebunden werden. Die Kammer wird durch eine Platte aus Isolierstoff (Porzellan, Bakelit) abgeschlossen. Durch die Platte gehen Metallstifte, die an beiden Enden Lötösen oder Klemmen tragen und zur Erhöhung des Isolationswiderstandes gegeneinander vom

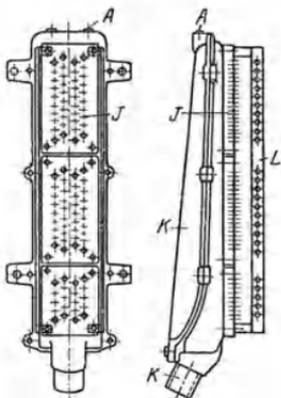


Abb. 793. Schematische Darstellung eines Kabelendverschlusses. A Ausgüßöffnungen, J Isolierplatte, K gußeiserner Kammer, L Führungseiste für die weiterführenden Drähte oder Kabel.

Isolierstoff der Platte bis zu einer gewissen Höhe hülsenförmig umgeben sind. Die Leitungsadern des Kabels werden mit diesen Stiften durch Anlöten oder Anschrauben verbunden. Von den aus der Kammer herausragenden Stiften kann man die Adern nach Belieben durch Schaltdraht, Zimmerleitungsdraht oder wettersichere Kabel weiterführen (Abb. 793).

(1325) Verzweigereinrichtungen. Wie in (1316) auseinandergesetzt wird, soll durch die Verzweiger an Vorratsleitungen gespart werden. Die Verzweiger sollen also in erster Linie ein leichtes Umschalten der Leitungen ermöglichen. Dies wird dadurch erreicht, daß die Kabelleitungen in Endverschlüssen an übersichtlich angeordnete Klemmen oder Lötstifte geführt sind, die nach Bedarf miteinander durch Schaltdrähte verbunden werden können. Da diese Schaltverbindungen oft umgelegt werden müssen, so ist es notwendig, die übersichtlich und geordnet zu führen. Das erfordert aber Platz, während anderseits die Verzweiger häufig auf Straßen und Plätzen unterzubringen sind, deren Verkehr sie nicht stören sollen, also der Platz für sie beengt ist. Dazu kommt, daß durch Temperaturunterschiede sich in den Verzweigern leicht Niederschläge bilden, die die Oberflächen mit leitender Feuchtigkeit überziehen und Nebenschließungen verursachen. Diesem Übelstand kann man entweder durch einen doppelten Mantel begegnen, der die Temperaturunterschiede im Inneren sich

langsamer ausgleichen läßt, und durch Entlüftungsvorrichtungen, die die feuchte Luft schnell abführen, oder dadurch, daß man den Innenraum so eng wie möglich bemißt und die Gehäuse gut abdichtet, so daß die geringe Menge Luft auch nur entsprechend wenig Feuchtigkeit abgeben kann. Die erstere Methode beansprucht mehr Platz, die letztere erschwert die übersichtliche Schaldrahtführung.

Bei der Deutschen Reichspost unterscheidet man Endverzweiger, Kabelverzweiger und Linienverzweiger.

(1326) **Endverzweiger** schließen die Verteilungskabel (10- und 5paarig) ab und ermöglichen deren Verbindung mit den Einführungskabeln zu den Sprech-

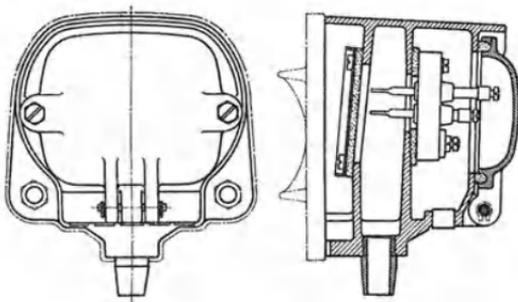


Abb. 794. Wettersicherer Endverzweiger.

stellen. Sie werden wettersicher oder für Innenräume hergestellt. Erstere bestehen aus einem gußeisernen Gehäuse (Abb. 794) mit zwei Kammern. Zwischen den Kammern ist eine Öffnung, die durch eine Platte aus Isolierstoff abgeschlossen wird. In die innere Kammer, die mit Isoliermasse ausgegossen wird, ragen durch die Isolierplatte Lötstifte, an die die Kabeladern angeschlossen werden. Die Lötstifte endigen in der Außenkammer an Klemmen. Die Außenkammer hat unten Öffnungen, durch die nach Bedarf die Zuführungskabel eingeführt werden. Sie wird in ihrem unteren Teil zum besseren Abschluß mit Mastix ausgegossen. Die Anschlußklemmen sind durch eine verschraubbare, mit Gummi gedichtete Tür zugänglich.

Die Endverzweiger für Innenräume (Abb. 795 a) werden aus Blech gestanzt. Die untere Hälfte dient als Endverschluß für das Außenkabel und wird durch eine Isolierplatte mit Löt- und Klemmstiften abgeschlossen. Die obere Hälfte hat einen abnehmbaren Deckel. Das Innenkabel tritt von oben hinein.

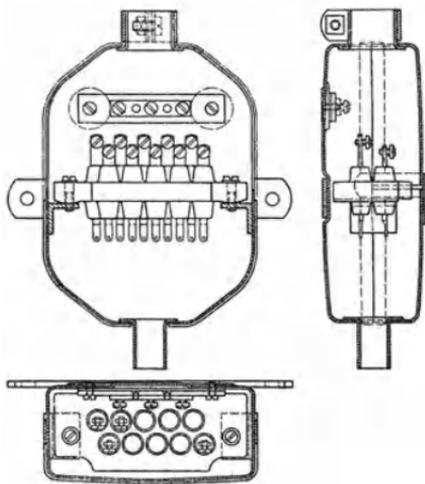


Abb. 795 a. Endverzweiger für Innenräume.

Die Kabel- und Linienverzweiger dienen zur Verbindung der Verteilungskabel mit den Netzkabeln und der Netzkabel mit den Amtskabeln. Sie unterscheiden sich nur durch ihre Aufnahmefähigkeit und bestehen aus einem Gerüst

mit den unter (1324) beschriebenen Endverschlüssen und Führungsringen für die Schaltdrähte. Die Gerüste werden in abgeschlossenen Kellerräumen frei aufgestellt, in anderen Räumen und im Freien mit einem verschließbaren Gehäuse mit einfachem oder doppeltem Mantel aus Eisenblech umgeben (Abb. 795 b). Das Gehäuse erhält Entlüftungsvorrichtungen. Die Verbindungen zwischen den Lötstiften erfolgt durch isolierte umklöppelte Drähte, die zu zweien verseilt und durch Schaltringe geführt sind. In Bayern werden die Verzweiger meist in Kabelbrunnen untergebracht. Die Endverschlüsse sind daher besonders enganeinandergerückt, um Raum zu sparen. Außerdem sind die Verzweiger sehr gut gegen Feuchtigkeit durch den nach Art einer Taucherglocke über die Schaltplatten (Eisenplatten mit durch Ebonit isolierten Lötstiften) gestülpten gußeisernen Deckel geschützt. Die Verbindungen zwischen den Lötstiften erfolgen durch freitragende isolierte Drähte (Abb. 796).

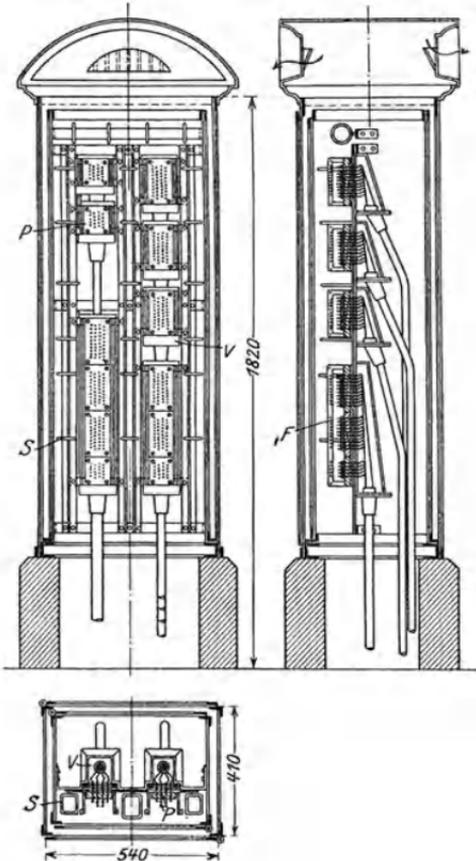


Abb. 795 b. Kabelverzweiger für Straßen.

dem Übertritt in die unterirdischen zur Erde ableiten. Da bei Luftkabeln Bleimantel und Tragseile geerdet werden, sind diese den unterirdischen Kabeln gleich zu achten und werden ohne weiteres mit den Erdkabeln durch Muffen verbunden. Ein Schutz der Kabel gegen Starkströme, die aus oberirdischen Leitungen übertreten und deren Spannung nicht so hoch ist, daß die Spannungssicherungen ansprechen, ist nicht so unbedingt erforderlich, wenn Grobsicherungen auf dem Amt den Strom unterbrechen. Immerhin schützt man in einigen Ländern die Kabel auch durch Schmelzsicherungen an der Überführungsstelle gegen Starkstrom. In Deutschland hat man die Grobschmelzsicherungen an den Überführungsstellen vorzüglich zu Schaltzwecken in Störfällen und aus wirtschaftlichen Gründen (Platzfrage) beibehalten, auch begnügt man sich bei Anschlußleitungen mit einem Grobspannungsschutz, der an der

(1327) Verbindung von Kabeln mit oberirdischen Leitungen.

Der Umstand, daß oberirdische Leitungen der Blitzgefahr stärker ausgesetzt sind als unterirdische und daß Hochspannung, die in das Kabel gelangt, leicht die Isolation durchschlägt und das Kabel zerstört, läßt es zweckmäßig erscheinen, an der Verbindungsstelle der oberirdischen mit den unterirdischen Leitungen Spannungssicherungen einzuschalten, die von den oberirdischen Leitungen aufgefangene Spannungen vor

Schmelzsicherung angebracht ist, weil Kohlenblitzableiter an den Übertührungsstellen nicht genügend gegen Feuchtigkeit geschützt werden können und Luftleerblitzableiter zu teuer sind und zuviel Platz beanspruchen. Die Spannungs- und Schmelzsicherungen werden zusammen mit den Endverschlüssen für die Kabel in eisernen Kästen untergebracht, die in Deutschland zum Schutz gegen Witterungseinflüsse mit doppelten Wänden versehen sind und zur Verhütung von Feuchtigkeitniederschlägen bei Temperaturänderungen Lüftungsvorrichtungen erhalten, d. h. oben und unten sind im äußeren und inneren Mantel des Gehäuses gegeneinander versetzte Luftlöcher angebracht, die im Kasten einen

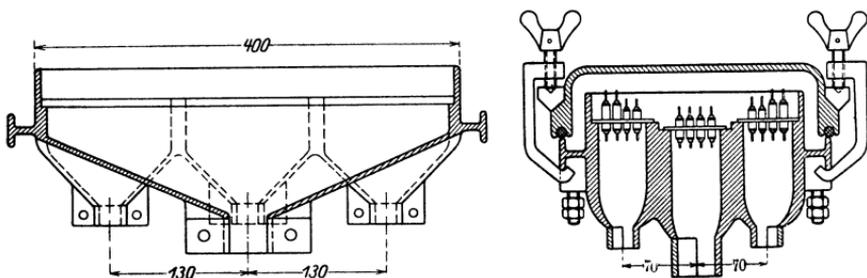


Abb. 796. Kabelverzweiger für Kabelbrunnen.

dauernden Luftstrom herbeiführen. In der Schweiz verwendet man gußeiserner Gehäuse mit luftdichtem Abschluß der Türen und möglichst kleinem Innenraum, um denselben Zweck zu erreichen. Um an Raum zu sparen und zur Vereinfachung der Schaltungen hat man (z. B. in Deutschland und in der Schweiz) die Sicherungen unmittelbar auf die Endverschlüsse gesetzt, so daß die Kabeladern an die in den Endverschluß hineinragenden Klemmen oder Lötösen dieser Apparate selbst herangeführt werden können. Die Verbindung mit den oberirdischen Leitungen erfolgt durch vieladriges Gummikabel oder einadriges Bleirohrkabel mit Gummiisolierung, die an die außerhalb des Endverschlusses liegenden Klemmen oder Lötösen der Sicherungen angelegt sind und am Querträger entlang bis zur Abspann-Porzellandoppelglocke geführt werden, wo sie in derselben Weise wie bei Leitungseinführungen

in Gebäude mit der oberirdischen Leitung verbunden werden. Abb. 797 veranschaulicht einen derartigen Kabelüberführungskasten für 10 Anschlußdoppelleitungen, wie er in Deutschland benutzt wird. Die Kabelüberführungskasten für Fernsprechverbindungsleitungen enthalten außer den Schmelzsicherungen auch Luftleerblitzableiter, die zur Vermeidung der Gefahr des Verstaubens mit ihrer Längsachse senkrecht, nicht wie die Schmelzsicherungen bei Anschlußleitungen wagerecht, gestellt sind.

Bei den vielfach noch in den Linien vorhandenen alten Überführungssäulen mit Vorbau sind als Spannungssicherungen Plattenblitzableiter angebracht, zur Einführung in die Säulen dienen besondere Einführungsisolatoren. Bei den einfachen Überführungssäulen sind die Spannungssicherungen als Stangenblitzableiter an der Abspannstange angebracht und die Leitungen durch kleine Ebonitrohre mit Glocke in die Säule eingeführt.

(1328) Zusammenstellung einiger Arten isolierter Drähte für Zimmerleitungen, Haustelegraphen und -fernprechanlagen, Apparaturverbindungen und Freileitungen.

1. Zimmerleitungs- Schalt- und Verteilerdrähte.
 a) Baumwollwachsdraht (BW) (in trockenen Räumen über Putz fest zu verlegen, bei der RP nicht verwendet). Leiter Kupferdraht von 0,8 oder 1,0 mm Durchmesser, doppelt mit Baumwolle in entgegengesetzter Richtung besponnen, Bespinnung getränkt. Drähte können auch mehrfach verseilt werden.

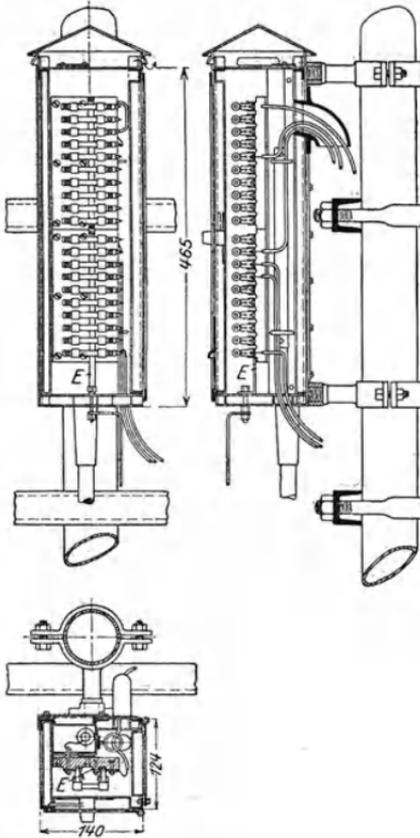


Abb. 797. Kabelüberführungskasten.

b) Lackpapierdraht (LP) (in trockenen Räumen über Putz oder in Rohr unter Putz fest, innerhalb und außerhalb der Gestelle, Vielfachumschalter usw. frei zu verlegen, bei der RP nur für letzteren Zweck verwendet). Leiter Kupferdraht von 0,6; 0,8; 1,0; 1,5 oder 1,8 mm Durchmesser, mit Lackschicht nach DIN, VDE 6435 überzogen, mit zwei Lagen Papierband und einer Lage Baumwolle besponnen und mit Baumwolle beflechtet, Beflechtung getränkt. Drähte können auch mehrfach verseilt werden. 5 m lange zusammengedrehte Stücke in trockenem Zustand müssen 10 min lang 800 V Wechselspannung bei 50 Per/s widerstehen.

c) Gummidraht (G) (über Putz oder in Rohr unter Putz fest zu verlegen, sowie für Innen- und Außenbau). Leiter feuerverzinnter Kupferdraht von 0,8; 1,0; 1,5 oder 1,8 mm Durchmesser, Gummihülle mindestens $33\frac{1}{3}$ vH Kautschuk, der nicht mehr als 6 vH Harz enthält; Zusatzstoffe, zu denen auch der Schwefel rechnet, dürfen an organischen Stoffen nur festes Paraffin bis 5 vH enthalten, spez. Gewicht mindestens 1,5; Wanddicke bei 0,8 und 1,0 mm Leiter mindestens 0,6 mm, bei 1,5 mm mindestens 0,8 mm, bei 1,8 mm mindestens 1,0 mm. Über Gummi Beflechtung aus Baumwolle, Beflechtung getränkt. Bei Wanddicke 0,6 mm Trockenprüfung: 5 m lange

zusammengedrehte Stücke müssen 30 min lang 1000 V Wechselspannung bei 50 Per/s widerstehen; bei größerer Wanddicke müssen Drähte nach 24-stündigem Liegen unter Wasser (unter 25°C) 30 min lang 2000 V Wechselspannung bei 50 Per/s oder 2800 V Gleichspannung (aus Stromquelle von mindestens 2 kW) widerstehen.

d) Seidenbaumwolldraht (SB) (innerhalb der Apparate und Gestelle frei zu verlegen). Leiter feuerverzinnter Kupferdraht von 0,6 mm Durchmesser, mit zwei Lagen Naturseide und einer Lage Baumwolle besponnen, Bespinnung getränkt. Drähte können auch mehrfach verseilt werden. 5 m lange zusammengedrehte Stücke in trockenem Zustand müssen 10 min lang 800 V Wechselspannung bei 50 Per/s widerstehen.

2. Innenkabel ohne Bleimantel (über Putz fest sowie innerhalb und außerhalb der Gestelle, Vielfachumschalter usw. zu verlegen). Leiter von 0,6;

0,8 und 1,0 mm Durchmesser, bei a) Lackpapierkabeln (LPK) lackiert nach DIN 6435 und mit mindestens 3 Lagen Papier besponnen, bei b) Gummikabeln (GK) feuerverzinkt, mindestens 0,6 mm dick mit Gummi umpreßt, mit Baumwolle besponnen oder mit gummiertem Baumwollband bewickelt, auf Wunsch auch noch mit Baumwolle beflochten, bei c) Seidenbaumwollkabeln (SBK) feuerverzinkt mit 2 Lagen Naturseide und 1 Lage Baumwolle besponnen. Adern werden zum Kern verseilt, Kern mit Papier- oder Baumwollband oder mit beiden in einer oder mehreren Lagen, bei Gummikabeln mit getränktem Baumwollband bewickelt, Lackpapier- und Seidenbaumwollkabel erhalten innerhalb Bewicklung geschlossene Lage Metallfolie. Äußerer Schutz: Baumwollbeflechtung, getränkt. Isolationswiderstand mindestens 100 M Ω für 1 km bei 20° C. Spannungsprüfung der Adern wie bei 1. b, c, d.

3) Innenkabel mit Bleimantel (über oder unter Putz fest sowie innerhalb und außerhalb der Gestelle, Vielfachumschalter usw. zu verlegen). Leiter von 0,6; 0,8; 1,0; 1,5 und 1,8 mm Durchmesser. Adern, Kabelkern und Seele bei a) Lackpapierkabeln mit Bleimantel (LPM), b) Gummikabeln mit Bleimantel (IGM), c) Seidenbaumwollkabeln mit Bleimantel (SBM) wie unter 2., jedoch ohne Metallfolie, bei einadrigen und zweiadrigen flachen Gummikabeln wird Bleimantel auch unmittelbar auf Adern gepreßt. Bei d) Papierbaumwollkabeln mit Bleimantel (IPBM) blanker oder feuerverzinnter Leiter mit 2 Lagen Papier und 1 Lage Baumwolle oder mit 1 Lage Papier und 2 Lagen Baumwolle besponnen, Kern mit Jutefasern oder 2 Lagen Papier besponnen, Kabelseele und Papierbänder getränkt und ungetränkt. Bei e) Lackbaumwollkabel mit Bleimantel (LBM) Leiter lackiert nach DIN 6435 mit 1 oder 2 Lagen Baumwolle besponnen, sonst wie vor.

Auf Kabelseele wird Bleimantel gepreßt.

Isolationswiderstand und Spannungsprüfung wie bei 2. und 1. b, c, d.

(Vgl. VDE, Vorschriften für isolierte Leitungen in Fernmeldeanlagen.)

4. Freileitungsdrähte (an Starkstromkreuzungen zu verwenden).

a) Gummiisolierte Drähte mit Isoliermasse getränkt. Bronze- oder Hartkupferdraht 1,5, 2,0 und 3,0 mm stark, mit Gummihülle von 0,8 und 2,5 mm Stärke umpreßt, mehrmals mit Baumwolle oder gut wetterbeständigen Stoffen besponnen und umflochten bis auf 0,9 bis 1,4 mm Dicke, mit Isoliermasse getränkt.

b) Gummiisolierte Drähte mit Leinöl und Mennige getränkt. Bronze oder Hartkupferdraht 1,5 bis 2,0 und 3,0 mm stark, mit Gummihülle von 0,8 und 2,5 mm Stärke umpreßt, mit 2 bis 3 Lagen Papier umwickelt, mit Baumwolle oder gut wetterbeständigen Stoffen mehrmals besponnen und umflochten bis auf 0,9 bis 1,4 mm Dicke, mit Leinöl und Mennige getränkt.

c) Baumwollisolierte Drähte, getränkt, Bronze- oder Hartkupferdraht 1,5 bis 3 mm stark, mit Baumwolle oder Jute umflochten, mit Isoliermasse oder mit Leinöl und Mennige getränkt.

d) Papierbaumwollisolierte Drähte, getränkt, Bronze- oder Hartkupferdraht 1,5 bis 3 mm stark, mit 2 Lagen getränktem Papier umwickelt und mit Baumwolle besponnen, mit Isoliermasse oder Leinöl mit Mennige getränkt, mit Baumwolle beflochten, Beflechtung nochmals getränkt.

Beeinflussung der Fernmeldeleitungen durch Starkstrom- und Hochspannungsanlagen.

(1329) **Überblick**¹⁾. Beeinflussung tritt beim Vorhandensein einer Kopplung auf. Diese kann galvanischer, elektrischer und magnetischer Art sein; sie führt zu Stromübergang, Influenz und Induktion. Man spricht von einer Gefährdung, wenn eine Schädigung von Personen oder eine Zerstörung des Stoffes, von Störung, wenn Beeinträchtigung des Betriebes zu befürchten ist.

¹⁾ Im Nachfolgenden bedeuten: FM Fernmeldeleitung, St Starkstromleitung, H Hochspannungsleitung, RP Reichspost.

Da die Energie, mit der die FM arbeiten, winzig ist im Vergleich zu derjenigen der St und H (1 mW und weniger bei Fernsprechleitungen, einige Watt bei Telegraphenleitungen im Vergleich zu Tausenden von kW bei St und H), so erhellt, daß schon bei ganz losen Kopplungen beider Anlagen Energiebeträge von St und H auf FM übergehen müssen, die geeignet sind, den Betrieb in diesen empfindlich zu stören bzw. völlig zu unterbinden und sogar die Benutzer zu gefährden. In letzterer Hinsicht ist die große elektrische Empfindlichkeit des Menschen nachteilig. Vermag doch eine Energie von 0,01 Ws im Fernhörer ein zu Schädigungen des Nervensystems führendes Knallgeräusch hervorzurufen und scheint doch unter ungünstigen Umständen eine Energie von wenigen Wattsekunden, die den menschlichen Körper durchdringt, auszureichen, den Tod herbeizuführen.

Stromübergang.

Stromübergang (galvanische Kopplung) erfolgt:

- a) unmittelbar: bei metallischer Berührung von Leitungen,
- b) mittelbar: durch die Erde, bei deren gemeinsamer Benutzung für mehrere benachbarte Leiter.

(1330) **Unmittelbarer Stromübergang** ist im allgemeinen nur bei blanken Freileitungen möglich. Wo an Kreuzungstellen die Schutzmaßnahme allein in isolierter Führung der St besteht (Niederspannungsanlagen), muß daher der gute Zustand der Isolierhülle dauernd überwacht werden. Gleiche Aufmerksamkeit ist dem Zustand der Schutznetze und Schutzleisten (Straßenbahnen) zu widmen. Einzelheiten enthalten die „Allgemeinen Vorschriften für die Ausführung und den Betrieb neuer elektrischer Starkstromanlagen (ausschl. Bahnen) bei Kreuzungen und Näherungen von Telegraphen- und Fernsprechleitungen“ (s. Vorschriftenbuch des VDE, 14. Aufl., Nr. 80 u. 81) und „Allgemeine Vorschriften zum Schutze vorhandener Reichs-Telegraphen- und Fernsprechanlagen gegen neue elektrische Bahnen“ (o. O. Nr. 82). Wegen besonderer Schutzmaßnahmen bei Kreuzungen mit Hochspannungs-Freileitungen s. (1348) bis (1383) und die „Vorschriften für die bruchsicere Führung von Hochspannungsleitungen über Postleitungen“ (o. O. Nr. 83).

Unmittelbarer Stromübergang kann zu schweren Beschädigungen der technischen Einrichtungen, der Gebäude (Brändel) und der mit den Leitungen Befassung habenden Personen führen. Um Eindringen von Starkstrom infolge Berührung in die technischen Einrichtungen der FM zu verhüten, werden die FM durch Strom- und Spannungsicherungen geschützt, und zwar sowohl auf den Vermittlungsämtern als auch bei den Teilnehmern.

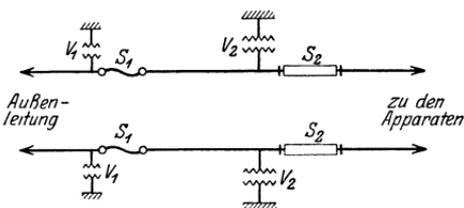


Abb. 798. Sicherungssystem der Reichspost.

einander (s. Abb. 798): Spannungsgrabsicherung V_1 gegen Erde (Schneidenblitzableiter 2500 V), Stromgrabsicherung S_1 für 8 A, die selbst noch bei 600 V — Straßenbahnspannung — lichtbogensicher abschmilzt, Spannungsfeinsicherung V_2 gegen Erde (Luftleer- oder Kohlenblitzableiter 300 V), Stromfeinsicherung S_2 für rund 0,3 A. Bei Spannungen über 300 V wird der Luftleerblitzableiter ansprechen, wodurch die Außenleitung Erde erhält, so daß die Abschmelzstromstärke von S_1 im allgemeinen erreicht wird. Bei Kabelleitungen werden an Stelle von Stromgrabsicherungen zu 8 A solche für 2 A genommen; für Freileitungen sind diese wegen atmosphärischer Entladungen viel zu empfindlich. Bei Telegraphenleitungen fällt die Stromfeinsicherung fort. Näheres über Sicherungsschaltungen s. Telegraphen-Bauordnung der RP, Abschn. I, Abt. 1, VIII.

Bei Fernsprehdoppelleitungen wird jeder Leitungszweig in dieser Weise geschützt. Da die Luftleerblitzableiter beider Zweige niemals durchaus gleichzeitig ansprechen, können Knallgeräusche entstehen, indem die Ladung eines Zweiges nicht über die eigene Spannungssicherung, sondern über den Fernhörer und die empfindlichere Spannungssicherung des anderen Zweiges abfließt. Diese Knallgeräusche sind für das die Fernleitungen bedienende Personal recht lästig, unter Umständen gesundheitschädlich. Kugelfritter mit Uhrwerk nach Brauns und umlaufende Scheibenfritter mit Kontaktfedern unter Öl nach Steidle (Steidlesicherung) sollen diese Knallgeräusche dadurch verhüten, daß sie — in Parallelschaltung zum Amtsfernörer — den Fremdströmen einen widerstandslosen Nebenweg bieten. Diese Geräte sind recht empfindlich, sie sprechen schon bei wenigen Volt an. Trotz mancher Verbesserung sind sie aber noch nicht so betriebsicher, daß sie — besonders auch im Hinblick auf Knallgeräusche durch H (s. S. 423 u. 426) — als unbedingt zuverlässiger Schutz gelten können.

Mittelbarer Stromübergang durch die Erde kann schädliche Wirkungen auslösen:

(1331) Durch **Erzeugung von Erdpotentialen**, wenn dadurch die benachbarte Erde einer Einzelleitung (Telegraphenleitung, Fernsprechleitung von geringer Bedeutung, Einzelleitungsschaltung für Signalgebung in doppeldräftigen Fernsprechkreisen) eine solche Potentialdifferenz gegenüber der fernen Erde erhält, daß in der Leitung ein Strom von störender Stärke entsteht. Aus diesem Grunde dürfen bei Dreileiteranlagen die Mittelleiter, falls blank in die Erde verlegt oder sonst mit Erde verbunden, keine Verbindung mit Gas- oder Wasserleitungsnetzen haben, wenn FM an diese angeschlossen sind. Erdpotentiale werden auch in der Nähe elektrischer Bahnen mit Schienenrückleitung beobachtet. Es hilft Verlegung der Erde aus dem Stromlinienbereich der St. Dieses Mittel ist im allgemeinen aber nur für einzelne Leitungen anwendbar. Bei gemeinsamen Erden (V.Ä.) besteht Gefahr, daß deren Widerstand zu groß wird und dadurch andere Betriebsschwierigkeiten erwachsen (Mitsprechen).

(1332) Durch **elektrolytische Zerstörung von Kabelmänteln** (Korrosionen, Freßschäden). Diese Erscheinung tritt besonders im Rückstrombereich elektrischer Gleichstrombahnen auf, jedoch auch bei Dreileiteranlagen mit geerdetem Mittelleiter. Wechselstrombahnen mit Schienenrückleitung scheinen praktisch keine Korrosionen zu verursachen. Je schlechter die Schienenrückleitung ist, desto mehr Irrströme entweichen in das benachbarte Erdreich und werden dort von Rohrsträngen wie Kabelmänteln, Gas- und Wasserleitungen aufgenommen. An den Stellen, wo der positive Strom den Kabelmantel verläßt, gehen Blei und bei bewehrten Kabeln Eisen nach dem Faradayschen Gesetz in Lösung über. Da die Straßenbahnen den Fahrdraht fast

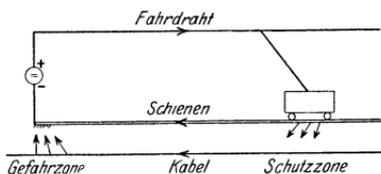


Abb. 799. Verlauf der Irrströme von Straßenbahnen bei positiver Speisung des Fahrdrahts.

durchweg positiv speisen (s. Abb. 799), so liegen die Stromaustrittsstellen — Gefahrzonen — nahe den Zentralen, Unterwerken und Schienenseispunkten. Bei negativer Speisung würde zwar der Gesamtumfang der Freßschäden der gleiche bleiben, diese sich aber mehr über das Kabelnetz verteilen, weil die Austrittsstelle des positiven Stromes mit der Stellung des Stromverbrauchers (Wagens) wandert, während die obigen Gefahrzonen zu Schutz zonen werden. Häufiges Wechseln der Stromrichtung ist günstig; nach Untersuchungen von Larsen (ETZ 1902, S. 868) vermindert sich der Freßschaden auf $\frac{1}{4}$, wenn täglich umgepolt wird. Auch können einzelne Bezirke positiv, andere negativ gespeist werden (räumlich verteiltes Dreileiternetz, z. B. Dresden), wodurch ein gewisser Ausgleich des Rückstroms in den Schienen erzielt wird.

Die Korrosionsgefahr ist um so geringer, je besser die Schienen durch geeignete Bettung vom Erdboden isoliert sind und je geringer der Schienenwiderstand ist: daher gutleitende Längsverbinder an jedem Schienenstoß zweckmäßig. Der Widerstand der Schienen darf durch die Stöße höchstens um 20 vH erhöht werden. Ferner sind an jedem 10. Stoß zwischen den Schienen desselben Gleises sowie zwischen benachbarten Gleisen Querverbinder anzubringen. Die Widerstände der Schienenstöße sollen jährlich auf zulässige Werte geprüft werden. Der Spannungsabfall im gesamten inneren verzweigten Schienennetz darf bei mittlerer fahrplanmäßiger Belastung zwischen zwei beliebigen Schienenpunkten 2,5 V, in den auslaufenden Strecken 1 V je Kilometer nicht überschreiten. Mit einer Gefährdung eiserner Rohranlagen ist zu rechnen, wenn die Dichte des korrodierenden Stromes 0,75 mA/dcm² erreicht. Dem entspricht für Blei etwa ein Drittel dieses Wertes. Feststellung mit Erdamperemeter oder besser mit Bleielektrode (s. Meßmer: Tel.- u. Fernspr.-Techn. 1921, S. 118). Einzelheiten s. „Vorschriften zum Schutz der Gas- und Wasserrohren gegen schädliche Einwirkungen der Ströme elektrischer Gleichstrombahnen, die die Schienen als Leiter benutzen“ (ETZ 1911, S. 511). Kalkhaltiger Boden begünstigt die Korrosionen (s. Hähnel: Fernmeldetechnik 1923, S. 35 ff.), während im Sandboden wenig Freßschäden auftreten. Bei Röhrenkabeln sind die Brunnen trocken zu halten; an Stellen mit starkem Wasserzufluß empfiehlt sich die Anlage einfacher Drainage. Denn Freßschäden, einerlei ob elektrolytischer oder chemischer Art, können nur in Gegenwart von Wasser entstehen. Nähe der Schienen und Kreuzungen mit diesen sind möglichst zu vermeiden. An besonders gefährdeten Stellen kommt die Verwendung von Kabeln mit doppeltem Bleimantel und elastischer isolierender Zwischenschicht in Betracht, die bei geeigneter Beschaffenheit selbst nach erfolgter Zerstörung des äußeren Mantels noch jahrelang die Feuchtigkeit vom inneren Mantel fernzuhalten vermag. In Kabelbrunnen mit mehreren Kabeln sind diese durch Bleistreifen gut leitend miteinander zu verbinden, um Stromübergang zwischen den einzelnen Kabeln in rein metallische Bahnen zu lenken. Erdkabel scheinen weniger als Röhrenkabel gefährdet zu sein, weil das Wasser bei ersteren besser abläuft als bei Röhrenkabeln, wo Zementkanäle infolge unvermeidlicher Undichtigkeit der Stoßfugen bisweilen als Drainagesystem wirken. Ob Zinkplatten in Verbindung mit dem Bleimantel ausreichenden und wirtschaftlichen Schutz bilden, ist zweifelhaft. Die Versuche schweben noch. Zink und Blei als Elektroden stellen mit der feuchten Erde als Elektrolyten ein Element dar, dessen positiver Strom vom Elektrolyten in das Blei eintritt, also den austretenden Strom kompensieren soll (vgl. Meßmer: Tel.- u. Fernspr.-Techn. 1921. S. 143).

Zur Feststellung der Kabelgefahrzonen und von Kabelbeschädigungen hat RP besondere Anleitung für die Dienststellen herausgegeben. Ausführliche Darstellung der Ursachen und Wirkungen von Irrströmen s. Michalke: Die vagabundierenden Ströme elektrischer Bahnen; Verlag Vieweg & Sohn, Braunschweig.

Influenz.

I. Einphasenanlagen (Wechselstrombahnen).

(1333) **Elektrische Kopplung: Gegenkapazität, Ladespannung und Ladestrom.** Nach Abb. 800 sind Leiter 1 der H und Leiter 2 der FM elektrisch durch die Gegenkapazität C_{12} gekoppelt. Die elektrischen Feldlinien gehen radial von 1 aus und münden senkrecht auf 2. C_{12} läßt sich berechnen (Breisig: Theoretische Telegraphie, 2. Aufl., S. 62, 66, 301). Eine für die Regelfälle ausreichende Näherungsformel von Lienemann lautet:

$$C_{12} = 1,5 \frac{bc}{a^2 + b^2 + c^2} 10^{-9} \text{F/km.}$$

Leiter 1 steht unter Betriebsspannung (Fahrdrachtspannung) E , die den isolierten

Leiter 2 mit der kilometrischen Erdkapazität C_{20} auf das Potential U auflädt. Aus dem Ansatz:

$$\frac{E}{\omega C_{12} + \frac{1}{\omega C_{20}}} = \frac{U}{\frac{1}{\omega C_{20}}} \text{ folgt } U = E \frac{C_{12}}{C_{12} + C_{20}}.$$

C_{12} im Nenner ist gegenüber C_{20} ($\sim 6 \times 10^{-9}$ F/km) eine praktisch zu vernachlässigende Größe, mithin

$$U = E \frac{C_{12}}{C_{20}}.$$

Die Ladesspannung ist also unabhängig von der Frequenz und der Länge des Gleichverlaufs. Man kann aus U allein noch nicht auf die Größe der Beeinflussung schließen; dazu muß man noch den übertretenden Ladestrom kennen. Da aber die oberirdischen Fernspreitleitungen mit Spannungssicherungen (Luftleerblitzableiter) ausgerüstet sind, die bei rund 300 V ansprechen, so gibt die Kenntnis von U einen Anhalt dafür, ob ein Ausgleich der Ladungen über diese Sicherungen und damit das Auftreten von Knallgeräuschen zu befürchten ist.

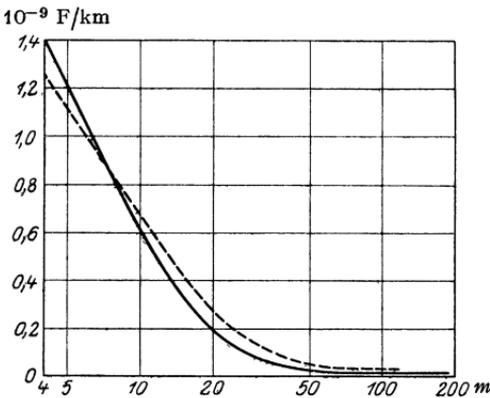
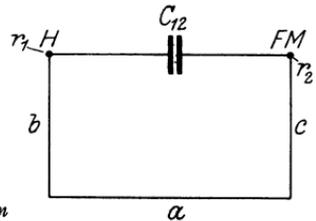


Abb. 800. Gegenkapazität zwischen Fahranlage von Wechselstrombahnen und Fernmeldeleitung.



Bei Fahranlagen von Wechselstrombahnen wird die Gegenkapazität durch die Aufhängedrähte erhöht. Abb. 800 stellt den Verlauf von C_{12} in Abhängigkeit vom Abstand in m unter Berücksichtigung der Aufhängung dar. Mit dieser genau berechneten Kurve stimmt die aus einer Näherungsformel

$$C_{12} = 3 \frac{bc}{a^2 + b^2 + c^2} 10^{-9} \text{ F/km}$$

ermittelte praktisch hinreichend überein (s. gestrichelte Kurve). Man erkennt, daß C_{12} schnell mit wachsendem Abstände abnimmt. Für $a = 10$ m erhält man $C_{12} = 6 \cdot 10^{-10}$ F/km, so daß $U = E/10$ ist; d. h. bei 16 000 V Fahrdrachtspannung tritt in FM eine Ladesspannung von 1600 V auf.

Der Ladestrom

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{d(CE)}{dt}$$

bleibt praktisch ungeändert, einerlei ob Leiter 2 isoliert oder geerdet ist, weil der bestimmende Widerstand $\frac{1}{\omega C_{12}}$ einen viel größeren Wert als $\frac{1}{\omega C_{20}}$ besitzt.

Daher

$$I = IC_{12} \frac{dE}{dt}$$

oder in Effektivwerten: $I = E\omega C_{12}$. I ist also von der Frequenz und von der Länge des Gleichverlaufs abhängig. Bei 10 m Abstand erhält man für einen

Bahnwechselstrom von $16 \frac{2}{3}$ Per/s ($\omega = 105$) einen Ladestrom von $(16\ 000 \cdot 105 \cdot 6 \cdot 10^{-10} =)$ 1 mA je Kilometer.

Bei einer eindrängigen FM fließt dieser Ladestrom im umgekehrten Verhältnis der Widerstände bei den Endanstalten zur Erde ab. Messungen haben ergeben, daß man im Telegraphenbetriebe je nach Betriebsweise 10 bis höchstens 20 vH des Betriebstromes als Störstrom zulassen kann.

Da in dem Ausdruck für I die Größe ω eingeht, so werden alle Unreinheiten (Harmonische) der Spannungskurve E im Verhältnis der Frequenz stärker als die Grundwelle auf die FM übertragen und stören unter Umständen den Fernsprechbetrieb. Solcher Harmonischen gibt es im Bahnbetriebe zahlreiche, so anfangs herrührend von den Generatoren, weil sie noch mit offenen, geraden Nuten gebaut waren. Heutzutage lassen nach Verbesserung der Generatoren vielfach noch die Motoren auf den Lokomotiven zu wünschen übrig, bei denen die bekannten Mittel der Unterdrückung von Oberschwingungen nicht immer erfolgreich angewandt sind. Die Motorharmonischen wirken auf das Netz zurück und beeinflussen so den Stromverlauf.

(1334) Schutzmaßnahmen. Den FM oder der H benachbarte Gegenstände, die mehr oder minder gut geerdet sind, üben auf das elektrische Feld eine abschirmende Wirkung aus, die auf 25 bis 30 vH zu veranschlagen ist. Solche Gegenstände sind z. B. geschlossene Baumreihen und geerdete Leitungen im Linienzuge, auch Erdseile an der H. Um die Wirkungen des elektrischen Feldes der Fahrleitung auf die FM möglichst aufzuheben, hat man verschiedene Schutzvorkehrungen erprobt:

1. Abrücken der FM vom Bahnkörper. Dieses Verfahren ist das bei RP übliche. Sie geht — von kurzen Näherungen abgesehen — vom Bahnkörper fort: ein Abstand von mehr als 60 m wird in kapazitiver Hinsicht als ausreichend angesehen. Bei Kreuzungen werden die FM gekabelt, sofern es sich nicht um hochfrequent betriebene Leitungen handelt.

2. Neben dem Fahrdrabt wird ein Gegenspannungsdraht verlegt, dessen Spannung annähernd gleichgroß wie diejenige des Fahrdrabts, aber um 180° in der Phase verschoben ist. Zur allgemeinen Verwendung ist diese Anordnung wegen der mit ihr verbundenen Verwicklung der Fahrdrabtanlage wenig geeignet. Auch ist der Schutz nur von bedingter Sicherheit, weil eine plötzliche Unterbrechung des Gegenspannungsdrahtes den gesamten Betrieb in den FM unterbindet und den wichtigen Signaldienst auf der Bahn brach legt.

3. Die FM werden mit einem geerdeten Schutzkasten umgeben, der z. B. an dem Linienzuge einer Versuchsbahnstrecke gemäß Abb. 801 unter Benutzung der dem Fahrdrabt zugewendeten Leitungen hergestellt worden ist. In den dadurch geschützten inneren Leitungen wurde der Ladestrom auf etwa ein Drittel gesenkt, also in unzureichendem Maße.

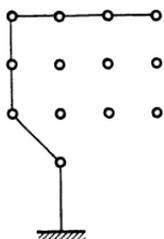


Abb. 801. Geerdeter Schutzkasten für FM.

4. Erdungsspulen (Jäger: Tel.- u. Fernspr.-Techn. 1920, S. 159) sollen die Ladungen zur Erde abführen und so von den Betriebsgeräten fernhalten. Bei eindrängigen Telegraphenleitungen sind sie zur Resonanzableitung für die Grundwelle ausgestaltet, wobei der Kondensator gleichzeitig den Weg für den Telegraphier-Gleichstrom sperrt. Bei doppeldrängigen Fernsprechleitungen genügt, sofern sie nicht gleichzeitig zum Telegraphieren benutzt werden, eine zwischen beide Zweige geschaltete, in der Mitte geerdete Drossel, welche die mittelfrequenten Fernsprechströme nicht durchläßt, dem Ladestrom aber, der die Wicklungen im entgegengesetzten Sinne durchfließt, nur den geringen Ohmchen Widerstand bietet (Entladespulen).

Diese Anordnungen führen zwar die Ladeströme von den FM zur Erde ab, beeinträchtigen aber den Betrieb, weil die Kapazität der Resonanzableitung den

Telegraphierstrom verzerrt, so daß Schnellverkehr praktisch kaum möglich ist, und die mittwegs geerdete Drossel stets Unsymmetrien in die Doppelleitung hineinbringt, so daß im Fernsprechverkehr wegen der unvermeidlichen Oberschwingungen störende Geräusche auftreten. Viererbildung hierbei ausgeschlossen.

5. Kabeln der FM ist der vollkommenste elektrostatische Schutz, da die elektrischen Feldlinien völlig von den Adern abgeschirmt werden. Zu diesem Mittel greift die Reichsbahn an den mit Wechselstrom elektrisierten Strecken und erzielt damit zugleich den Vorteil erhöhter Betriebsicherheit.

6. Soweit es bei Annäherungen von Fernsprechfreileitungen an die Bahn notwendig wird, Maßnahmen gegen Geräusche zu treffen, sind die Leitungen im Rahmen des normalen Induktionsschutzplanes der RP zu kreuzen und auch sonst völlig symmetrisch zu erhalten (Ableitungen unterwegs und in den Anstalten, hier vielfach durch Spannungssicherungen!).

II. Drehstromanlagen.

(1335) Regelbetrieb der Überlandnetze. Die drei Phasendrähte der H sind im allgemeinen in dreieckiger oder ebener Form angeordnet und besitzen daher verschiedene Gegenkapazitäten mit Bezug auf die FM (s. Abb. 26, S. 54). Die Phasenspannungen U_1 , U_2 , U_3 sind in allen drei Leitern gleich groß, aber um 120° verschoben. Die Ladespannung und der Ladestrom sind auf S. 54 angegeben.

Der Ladestrom hat hinsichtlich der Grundwelle keine Bedeutung; er kann aber mit Bezug auf die Oberschwingungen zu erheblichen Störungen des Fernsprechbetriebes führen und muß dann nach folgender Überlegung verringert werden.

Der auf Leitung 4 (FM) übertretende Ladestrom berechnet sich auf Grund ähnlicher Betrachtung wie bei Einphasenanlagen (s. S. 423) zu

$$I = \omega l (U_1 C_{14} + U_2 C_{24} + U_3 C_{34}).$$

Der Klammerausdruck und damit I werden Null, wenn $C_{14} = C_{24} = C_{34}$ und $U_1 = U_2 = U_3$ sind. Die erste Bedingung kann durch planmäßiges Verdrillen der H gegenüber der FM erfüllt werden. Der zweiten soll beim Regelbetrieb durch gleichmäßige Belastung aller Phasen an sich Genüge getan sein, sofern es sich nicht um ausgedehnte H handelt, bei denen allein durch Verschiedenheit der Erdkapazitäten der Phasenleiter wesentliche Unterschiede in den Spannungen gegen Erde auftreten können. In solchem Falle muß die H nicht nur auf der Näherungstrecke, sondern im ganzen Netz verdrillt werden.

Die gegen das Auftreten von Störungen zu stellenden Bedingungen und erforderlichen Maßnahmen sind in den „Leitsätzen zum Schutze von Fernsprech-Doppelleitungen gegen die Beeinflussung durch Drehstromleitungen“ (ETZ 1920, S. 597, neue Fassung ETZ 1925, S. 1126 u. 1527) veröffentlicht worden. Wegen der physikalischen und theoretischen Grundlagen der Leitsätze s. O. Brauns, Tel. u. Fernspr.-Techn., 8. Jahrg., S. 61ff. und Liene mann, Tel. u. Fernspr.-Techn., 8. Jahrg., S. 173ff. Erläuterungen zu den Leitsätzen 1925 s. die Einführung zu diesen (ETZ 1925, S. 1761) und Jäger, Der Einfluß von Starkstromleitungen auf alle Arten von Fernmeldeleitungen (ETZ 1926, S. 605 und TFT 1926, S. 65).

Gleich der Grundwelle sind auch die Harmonischen um 120° in der Phase gegeneinander verschoben. Dies gilt jedoch nicht für die dritten Harmonischen; diese sind stets in Phase. Gegen diese hilft also kein Verdrillen der H, sondern nur Kreuzen der FM. Letztere Maßnahme ist aber kein unbedingt sicher wirkendes Hilfsmittel, weil Freileitungen, die vielfach an Landstraßen mit Baum-anpflanzungen geführt sind, kaum symmetrisch erhalten werden können. Wegen fehlender Ausgleichswirkung dreizahliger Harmonischen sind bei Erdung des Nullpunktes besondere Vorkehrungen gegen Störungen durch Ströme und Spannungen dieser Harmonischen zu treffen, z. B. Anordnen einer Tertiärwicklung in Dreieckschaltung.

(1336) Erdschluß. Beim Erdschluß einer Phase der H bricht die Spannung an der Fehlerstelle im allgemeinen im Scheitel der Spannungskurve plötzlich zusammen. Den Verlauf kann man sich als elektrischen Ausgleichsvorgang so vorstellen, daß sich der Scheitelspannung eine jäh ansteigende Spannungswelle gleicher Höhe, aber entgegengesetzten Vorzeichens überlagert, die nun als Sprungwelle mit steiler Front über den Phasenleiter hinläuft und unter Umständen reflektiert mit doppelter Höhe zurückkehrt. Diese gewissermaßen in einem Einphasensystem auftretende Wanderwelle erzeugt in benachbarten oberirdischen FM eine hohe Ladespannung (s. S. 423). Werden dabei 300 V erreicht, so sprechen die Spannungssicherungen der FM an; leider aber fast nie gleichzeitig in jedem Zweige. Schon 0,01 Ws erzeugen im Fernhörer ein gefährliches Knallgeräusch. Als Ursachen kommen außer den Erdschlüssen häufig auch die zum Eingrenzen dieser Fehler vorgenommenen Schaltvorgänge in der H in Betracht. Dabei spielen sich ähnliche Erscheinungen in den einzelnen Phasendrähten ab, wie beim Einsetzen des Erdschlusses in der kranken Phase selbst. Ungünstig wirkt zudem noch der Umstand, daß infolge des vorhandenen Erdschlusses die anderen Phasen die verkettete Spannung gegen Erde führen. Edulgassicherungen (s. Schröter: ETZ 1923, S. 1016) haben die auf sie gesetzten Erwartungen als Quersicherungen nicht erfüllt; sie genügen namentlich dann nicht, wenn es sich um die durch Induktion erzeugten Knallgeräusche handelt. Fritter- und Steidlesicherung bleiben zurzeit noch die relativ wirksamsten Schutzmaßnahmen. Kleinfernhörer von Siemens & Halske (Gehörgangfernöhörer) haben im Vergleich zu Normalfernöhörern hinsichtlich Knallgeräusche dämpfende Wirkung, ohne die Sprechverständigung zu vermindern. Ob und wie weit man durch Kopplung der beiden Luftleerblitzableiter einer Doppelleitung — z. B. induktiv vermittels einer in der Mitte geerdeten Drossel — das praktisch gleichzeitige Ansprechen der Luftleerblitzableiter erreichen kann, unterliegt gegenwärtig noch der Untersuchung.

Bei neuen H wird die Forderung gestellt, daß der Abstand zwischen H und FM so groß ist, daß keine zu Knallgeräuschen führende Energie auf FM übertreten kann (s. auch oben angegebene Leitsätze). Erdschlußspulen (Petersenspule, Löschttransformator, Dissonanzspule) sind kein Mittel gegen Gefährdung durch Knallgeräusche. Über das Verhalten des Fernöhörers beim Entstehen von Knallgeräuschen s. Jäger und Klewe: ETZ 1924, S. 364.

Induktion.

I. Einphasenanlagen.

(1337) Magnetische Kopplung. Gegeninduktivität. Die induzierende und die induzierte Leitung sind durch magnetische Kraftlinien (Gegeninduktivität M) gekoppelt (Abb. 802); ändert sich der Strom I in der induzierenden Leitung, so wird in der anderen eine EMK induziert:

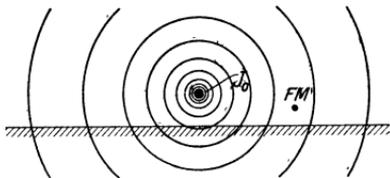


Abb. 802. Magnetische Kopplung zwischen Fahrdrabt und Fernmeldeleitung.

$$E = -M \cdot dI/dt$$

Bei sinusförmigem Verlauf des Stromes [Effektivwert I , vgl. (129)] wird der Effektivwert der EMK

$$E = 2\pi f M I$$

Die bisher zur Berechnung von M benutzte Formel (Breisig, Theoret. Telegraphie, 2. Aufl., S. 174):

$$M = 2 \left(\ln \frac{2l}{d} - 1 \right) \cdot 10^{-4} \text{ H/km}$$

(l = Länge des Gleichlaufs, d gegenseitiger Abstand im gleichen Maßstab) zeigte erhebliche Abweichungen von den gemessenen Werten. Breisig und mehrere

andere Autoren¹⁾ haben die Frage neuerdings eingehend untersucht; die RP hat zahlreiche Messungen ausgeführt, aus denen sich u. a. als Wert der Bodenleitfähigkeit im allgemeinen $5 \cdot 10^{-14}$ CGS ergab. Rechnet man mit diesem Wert nach den Rüdberg'schen Formeln, so erhält man für zwei geerdete Einzelleitungen die in Abb. 803a wiedergegebenen Werte von M ; die gestrichelte Linie

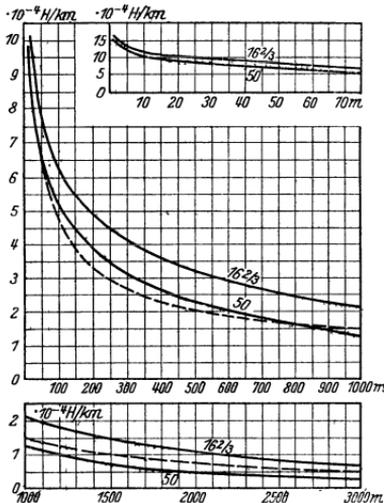


Abb. 803a. Gegeninduktivität zweier Einzelleitungen mit Erde als Rückleitung für $f = 16\frac{2}{3}$ und 50. Mittl. Leitfähigkeit des Erdbodens $5 \cdot 10^{-14}$ CGS.

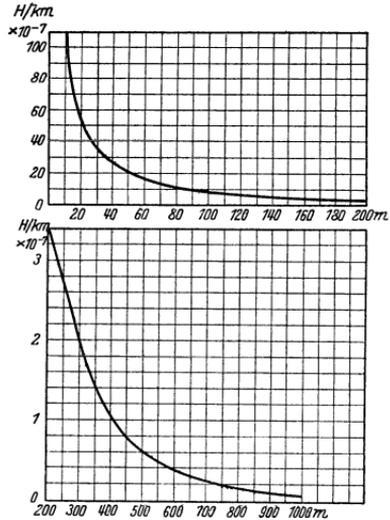


Abb. 803b. Gegeninduktivität zwischen einer geerdeten Einzelleitung und einer Doppelleitung (Breisig). — Schleifenbreite 50 cm; mittl. Leitfähigkeit des Erdbodens $5 \cdot 10^{-14}$ CGS. 800 Hertz.

zeigt das Ergebnis zahlreicher Messungen der RP bei 15... 50 Hertz. Diese Kurven werden bis auf weiteres verwendet, wenn es sich darum handelt, bei Induktionsvorgängen die durch den Betriebsstrom oder Kurzschlußstrom der Einphasenanlagen in FM induzierten Spannungen der Grundwelle im Hinblick auf die Gefährdung des Personals zu ermitteln. Näheres siehe „Leitsätze für Maßnahmen an Fernmeldeanlagen des öffentlichen Verkehrs und an Bahnanlagen mit einphasigem Wechselstrombetrieb im Hinblick auf gegenseitige Näherungen“ vom Februar 1926.

Abb. 803b gibt den Wert von M zwischen einer Doppelleitung (Schleifenbreite 50 cm) und einer geerdeten Einfachleitung bei der oben angegebenen Bodenleitfähigkeit und für $f = 800$ Hz.

Für die höheren Frequenzen (Harmonische) eines Wechselstroms nimmt die Gegeninduktivität mit wachsendem Abstand wesentlich schneller als für niedrige ab. Nach den Kurven von Breisig z. B. (Abb. 803c) verhalten sich die Gegeninduktivitäten zweier Einzelleitungen bei den Frequenzen 1100 und

¹⁾ Breisig, F.: Über die Berechnung der magnetischen Induktion aus Wechselstromleitungen mit Erdrückleitung TFT 1925, S. 93. — Rüdberg, R.: Die Ausbreitung der Erdströme in der Umgebung von Wechselstromleitungen. Z. angew. Math. u. Mech., 1925, Bd. 5, S. 361. — Pollaczek, F.: Über das Feld einer unendlich langen wechselstromdurchflossenen Einfachleitung, ENT 1926, S. 339. — Mayr, O.: Die Erde als Wechselstromleiter, ETZ 1925, S. 1352, 1436. — Zastrow, A.: Über die Größe der Gegeninduktivität zwischen Leitungen mit Erdrückleitung. El. Bahnen, 1926, S. 368. — Carson, I. R.: Wave propagation in overhead wires with ground return, The Bell System Techn. Journ. Bd. 5, S. 539.

$16^{2/3}$ für 20 m Abstand wie 1 : 2, bei 500 m dagegen wie 1 : 20 (Leitfähigkeit des Erdbodens $5 \cdot 10^{-14}$ CGS). Auf dem gleichen Bilde ist auch die Größe der Gegeninduktivität zwischen einer geerdeten Einzelleitung und einer Doppelleitung dargestellt.

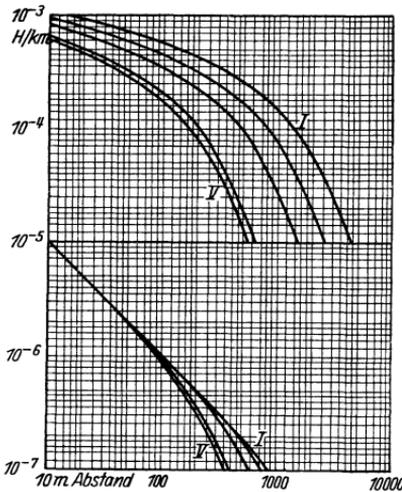


Abb. 803c. Oben: Gegeninduktivität zwischen zwei geerdeten Einzelleitungen — Unten: Gegeninduktivität zw. einer geerdeten Einzelleitung und einer Doppelleitung, Schleifenbreite 50 cm — Für beide Kurvenscharen: $f = 16^{2/3}$ (I) — 50 — 150 — 800 — 1100 (V), mittl. Leitfähigkeit des Erdbodens $5 \cdot 10^{-14}$ CGS (logarithm. Netzteilung)

den Schienen induzierte Spannung groß wird. Diese ist je Kilometer $E_s = i\omega m I_o$, wo m die Gegeninduktivität zwischen Fahrdrabt und Schiene bedeutet. Geben r den Ohmschen Widerstand und L die Eigeninduktivität der Schiene je Kilometer an, so ist:

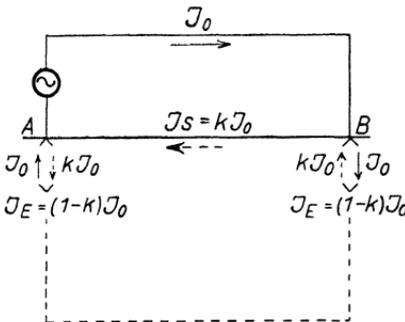


Abb. 804. Fahrstrom der Wechselstrombahnen und seine Komponenten.

Gegeninduktivität von 1mH/km für einen Abstand von 10 m beträgt die induzierte Spannung also rund 10 V je 100 Akm; d. h. für 30 km und 200 A 600 V. Kompensierende Einflüsse sind hierbei nicht berücksichtigt (s. 1339 u. 1340).

Die Kurve für die Frequenz 800 findet sich wieder auf Abb. 803b; mit ihrer Hilfe wird nach den oben erwähnten Leitsätzen festgestellt, ob die in einer Fernsprechleitung induzierte Stör-EMK (Geräuschspannung) den zulässigen Wert von 10 mV für deutsche und 5 mV für zwischenstaatliche Leitungen überschreitet.

(1338) Fahrstrom und seine Komponenten. Auch in den Schienen wird Spannung induziert, die gemäß den Widerstandsverhältnissen den Schienenstrom erzeugt. Dessen Stromkreis ist gleichfalls über Erde geschlossen. Nach Abb. 804 teilt sich der Fahrstrom I_o an den Punkten A und B (Speise- und Belastungspunkt) in zwei Komponentenströme

$$I_s = k I_o \quad \text{und} \quad I_E = (1 - k) I_o.$$

In der großen Schleife über Erde fließt der Strom I_E und wirkt stark induzierend; in der Schleife Fahrdrabt—Schiene fließt I_s . Je größer I_s wird, desto mehr nähert man sich den Verhältnissen in reiner Doppelleitung und desto geringer wird die in FM induzierte EMK. I_s wird groß, wenn die in den Schienen induzierte Spannung groß wird. Diese ist je Kilometer $E_s = i\omega m I_o$, wo m die Gegeninduktivität zwischen Fahrdrabt und Schiene bedeutet. Geben r den Ohmschen Widerstand und L die Eigeninduktivität der Schiene je Kilometer an, so ist:

$$I_s = \frac{i\omega m I_o}{r + i\omega L} = k I_o.$$

Man muß also m groß (Saugtransformatoren) und r klein (Schieneverbinder) machen, um für k und I_s möglichst hohe Werte zu erhalten.

Der Fahrstrom ist bei Hauptstrecken mit stärkerer Belastung auf einen Höchstwert von etwa 200 A zu veranschlagen. Die speisenden Unterwerke liegen in der Mitte ihres Speiseabschnitts von 50 bis 60 km Länge, so daß man im allgemeinen mit freispeisenden Strecken von 30 km zu rechnen hat. Bei einer

In Adern eines am Bahnkörper verlegten Kabels werden praktisch dieselben Spannungen wie in Freileitungen gemessen. Dieses ist erklärlich, denn bei ein-drährigen Leitungen ist die Rückleitung sehr tief in der Erde zu suchen und es macht daher sehr wenig aus, ob die induzierte Schleife statt z. B. 10 km noch 6 bis 7 m breiter ist, entsprechend dem Höhenunterschied zwischen Freileitung und Kabel. Da der Telegraphenbetrieb nur 10 bis 15 vH der Betriebsspannung als Störspannung verträgt und ferner im Hinblick auf die Gefährdung von Menschen höchstens 100 V effektive Wechselspannung als Berührungsspannung zugelassen werden können, so werden im folgenden Mittel angegeben, um sich den störenden Einflüssen zu entziehen bzw. sie möglichst zu kompensieren.

Die Verlegung der Leitungen ganz aus dem Einflußbereich heraus ist nicht durchführbar, da alsdann Abstände von mehreren Kilometern von H innezuhalten wären. Zudem sind die FM der Reichsbahn an den Bahnkörper gebunden. Im folgenden werden daher andere Schutzmaßnahmen erörtert.

(1339) Der Schienenstrom und seine Schutzwirkung. Man benutzt den in benachbarten Leitern — z. B. in den Schienen und im Kabelmantel — induzierten Strom, um die in den FM erzeugte Stör-EMK mehr oder minder aufzuheben. Je stärker der induzierte Strom und je vorteilhafter seine Phase ist — möglichst 180° zum Fahrstrom —, desto günstiger ist die kompensierende Wirkung. Nach Messungen der RP schwankt der Schienenstrom ohne Längsverbinder in weiten Grenzen (0 bis 30 vH von I_0 mit einer Phase von 120 bis 150° je nach Wetter, Schienenart, Abnutzung und Zahl der Gleise). Die Kompensation findet gemäß Diagramm Abb. 805 statt. Bei einem Schienenstrom von z. B. 7 vH der ungünstigen Phase von 120° werden nur 3 vH des Fahrstromes hinsichtlich der Induktionswirkung kompensiert.

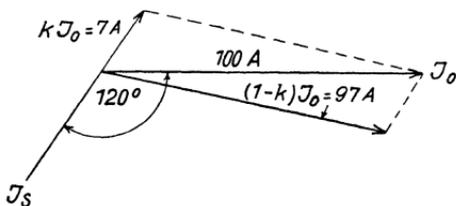


Abb. 805. Schutzwirkung des Schienenstroms.

Die Phase $\frac{\omega L}{R}$ wird um so größer, je kleiner R ist. Bei fehlenden Schienenverbindern und betriebsmäßiger Belastung liegt der größere Teil des Widerstandes in den Schienenstößen selbst. Jedoch wird bei Kurzschlüssen (1000 A) der Widerstand fast so gering, wie bei Schienen mit Bindern. Aus diesem Grunde mit versucht Reichsbahn an Wechselstrombahnen ohne Binder auszukommen.

Mit solchen erhält man starke Schienenströme bis 47 vH von I_0 mit einer Phase von 166° . Dadurch erfuh Stör-EMK in einer Freileitung einer eingleisigen Strecke eine Senkung von z. B. 10,2 V auf 6,3 V je 100 Akm, also um 38 vH; in einer Kabelader bei elektrisch offenem Mantel von 11 V auf 5,6 V (49 vH). Diese FM lagen am Bahnkörper. Kompensation in Kabelader ist wegen größerer Nähe der Schienen stärker.

(1340) Induzierte Ströme in Kabelmantel und -adern. Ähnliche Wirkungen erhält man durch den im Mantel eines Kabels fließenden Induktionsstrom gemäß Abb. 806. Die im Mantel und in der Ader von $(1 - k) I_0$ induzierte Spannung E_{ma} steht senkrecht diesem Vektor. Mantelstrom I_m cilt dieser Spannung um einen gewissen Winkel nach, der um so größer ist, je größer Induktivität und je kleiner Widerstand des Mantels ($\varphi = \frac{\omega L}{R}$). Großer Winkel günstig, daher R durch gutes Verbinden des Mantels und der Bewehrung an den Lötstellen möglichst klein machen. Auch ist Mantel gut zu erden, weil Stromkreis des induzierten Stromes über Erde geschlossen ist wie bei Schienen. I_m erzeugt seinerseits in der Kabelader ebenfalls eine Spannung E_a senkrecht I_m . Je mehr sich

Phasenverschiebung von E_a gegen E_{ma} 180° nähert, desto besser bei entsprechenden Beträgen der Vektoren die Kompensation (s. gestrichelte Vektoren). In einem gewöhnlichen, schon vorhandenen Kabel erhielt man auf diese Weise 29 vH Senkung der induzierten EMK. Bei Verbesserung der Bedingungen — Verringerung des Widerstandes vom Kabelmantel — wird Kompensation günstiger, namentlich auch für Oberschwingungen. In dieser Hinsicht hat Siemens & Halske mit Sonderkabel günstige Ergebnisse erzielt; s. auch Krause und Zastrow: Über die Schutzwirkung des Kabelmantels bei Induktionsbeeinflussungen usw., Wiss. Veröff. d. Siemens-Konzerns, 2. Bd., 1922.

Durch Ausnutzung aller dieser Möglichkeiten hat man bei Verwendung eines gewöhnlichen Kabels eine Gesamtsenkung von 63 vH erzielt. Ähnliche Ausgleichswirkungen sind auch

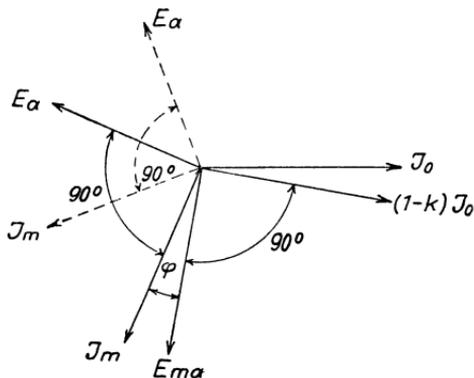


Abb. 806. Schutzwirkung des Kabelmantelstroms.

dadurch erreichbar, daß man freie Adern in einem Kabel an beiden Enden erdet, wenn sie für Betrieb dauernd entbehrlich sind. Messungen ergaben Vergrößerung der Senkung von 27 auf 44 vH beim Parallelschalten von 12,4 mm² Kupfer zum Mantel. Diese Maßnahme bedeutete hinsichtlich benutzten Kabels Vergrößerung der Bleimantelstärke von 1,7 auf 3,4 mm. Sie kann unter Umständen dort in Betracht kommen, wo es sich nur um einen kurzen Nebeneinanderverlauf mit Wechselstrombahn handelt. Diese Kompensations-

wirkung kann man auch steigern, wenn man die b -Adern eines Paares mit der zum Betriebe benutzten a -Ader durch kleinen Transformator (Fernsprechübertrager) koppelt.

(1341) Schutzschaltungen an Fernmeldeleitungen.

1. Schutzschaltungen im engeren Sinne. Diese Schaltungen an einzeldräftigen FM lassen sich in drei Gruppen einteilen, nämlich:

1. Ausgleichschaltungen,
2. Wahlschaltungen,
3. Blockschaltungen.

Die erste Gruppe umfaßt alle Schaltungen und Betriebsweisen, bei denen die induzierte EMK ausgeglichen (kompensiert) werden soll durch eine Gegen-EMK in der FM, die der Fahrstrom selbst oder ein von ihm hervorgerufener Induktionstrom erzeugt. Hierher gehört die sogenannte Scott-Schaltung. Unter die zweite Gruppe fallen alle Schaltungen, bei denen dem störenden Wechselstrom ein günstigerer Weg als der vom Betriebsstrom durchflossene Telegraphenapparat geboten wird. Hierunter sind alle Resonanzschaltungen begriffen. Die dritte Gruppe betrifft Anordnungen, die das Zustandekommen eines den Empfangsapparat störenden Fremdstroms überhaupt verhindern sollen, z. B. durch Einschalten eines hohen induktiven Widerstandes in die Leitung.

Eine zu Gruppe 3 gehörende einfache Schaltung mit erhöhtem Widerstand kann bisweilen mit Vorteil in Telegraphenleitungen verwendet werden, bei denen die induzierte Spannung wegen größeren Abstandes von Wechselstrombahnen oder wegen eines nur kurzen Gleichverlaufs mit ihr verhältnismäßig gering ist. Man muß dann die Telegraphierspannung innerhalb der zulässigen Grenze soweit erhöhen, daß die Störspannung mit ihren Höchstwerten 10 bis 15 vH der ersteren nicht überschreitet. Die Kurven der Telegraphierzeichen sind dabei

in Freileitungen naturgemäß günstig. Die hohe Arbeitspannung kann von einer Telegraphendynamo geliefert werden.

Allgemein haben diese Schutzschaltungen, so kunstgerecht sie auch erdacht sind, wesentliche Nachteile: sie verteuern die Anlage, verwickeln die Schaltung, bringen neue Fehlerquellen hinein, erschweren oder verhindern die mehrfache Ausnutzung und unterbinden den Schnellbetrieb. So ist bei den Resonanzschaltungen zu beachten, daß die Impulse des Telegraphierstromes in die Resonanzfrequenz fallen können, z. B. im Siemensbetrieb bei der Geschwindigkeit 400 Zeichen/min.

2. Schutzschaltungen im weiteren Sinne. Hierher gehört die Anordnung, bei der die Erdleitung so weit zurückgeführt wird (verlängerte Erdrückleitung), daß innerhalb des Einflußgebietes Hin- und Rückleitung nahe beieinander liegen wie beim reinen Doppelleitungsbetrieb. Gegenüber diesem besteht die Möglichkeit der Verwendung einer gemeinsamen Batterie für dasjenige Amt, dessen Erde nicht verlängert wird. Bei dem anderen Amte dagegen muß im allgemeinen eine besondere Batterie aufgestellt werden. Eine Schwierigkeit kann bei dieser Schaltung unter Umständen durch das Auftreten von Ausgleichströmen entstehen, welche die Unsymmetrie der Anordnung verursacht. Aus diesem Grunde ist sie nicht völlig störungsfrei und der reinen Doppelleitung nicht gleichwertig. Näheres hierüber ist in den Leitsätzen enthalten, die das Verhältnis der FM zu den Wechselstrombahnen regeln.

Die reine Doppelleitung — namentlich im Kabel — ist zweifellos die beste Schutzschaltung, jedoch nur dann, wenn keinerlei Unsymmetrien bestehen. Aus diesem Grunde versagt beim Telegraphenbetrieb z. B. normale Morseruhestromschaltung in Bahnleitungen, weil die Apparate unsymmetrisch nur in *a*- oder *b*-Leitung liegen. Denn in jedem Zweige fließt unter dem Einfluß der induzierten EMK ein über die Erdkapazität geschlossener Strom, der in der Mitte längerer Kabelleitungen viele Milliampere (z. B. für 150 km 80 mA) betragen kann. Liegen die beiden Wicklungen eines Apparates unsymmetrisch nur in einem Zweige, so werden sie gleichsinnig von diesem Fremdstrom durchflossen und erregt. Um Störungen zu vermeiden, müssen daher alle Apparate mit ihren Widerständen symmetrisch auf beide Zweige verteilt werden; ebenso die Batterien. Auch muß die Tastung in *a*- und *b*-Leitung gleichzeitig erfolgen (Abb. 807a, b, c). Es gibt auch brauchbare Schaltungen, bei denen die Apparate parallel zwischen *a* und *b* liegen und die Leitung mit Arbeitstrom betrieben wird.

Fernsprechleitungen leiden besonders unter Unsymmetrien, unter anderem infolge Ableitung. Der Fernhörer liegt gewissermaßen in Brücke, und wenn die Brückenarme nicht gleich sind, so wird die am Fernhörer liegende Diagonalspannungsdifferenz der Harmonischen sich mehr oder minder störend bemerkbar machen. Bei Fernkabeln ist aus demselben Grunde auf beste Ausgeglichenheit beider Zweige hinsichtlich Spulenbelastung und Kapazität zu achten.

Unsymmetrien der Anstalten werden vielfach durch Abschließen der eigentlichen Kabelleitungen mit Übertragern ferngehalten werden können. Ebenso ist es mit diesem Mittel bei langen Gleichverläufen möglich, hohe Berührungsspannungen durch zweckmäßiges Unterteilen der Leitung zu vermindern.

In gut symmetrisch gehaltenen Leitungen ist der Sprechbetrieb durch Oberschwingungen nicht behindert. Dasselbe gilt für die Tonfrequenztelegraphie in Pupinkabeln. Auf Freileitungen hat sich ferner die Hochfrequenztelegraphie als praktisch brauchbares Mittel zur Durchführung einer durch Bahnströme nicht beeinflussten Betriebsweise erwiesen; sie kommt jedoch nur für lange, gut ausgenutzte Leitungen in Betracht.

(1342) Schutzmaßnahmen an der Fahranlage. Sie weisen gegenüber den eben erörterten Schutzschaltungen den Vorteil auf, daß sie nur einmal anzubringen sind und damit alle im Einflußbereich der Bahn liegenden FM schützen, während Schutzschaltungen an letzteren im allgemeinen für jede einzelne besonders vorhanden sein müssen.

1. Schienenlängsverbinder; ihre schützende Eigenschaft beruht darauf, daß sie das Zustandekommen eines starken induzierten Schienenstroms von günstiger Phase ermöglichen (1339). Bei hohen induzierten Spannungen (Kurzschlüssen) werden allerdings die Schienenstöße ohne Binder derart gut gefrített, daß die Wirkung durch Binder nicht mehr wesentlich zu verbessern ist.

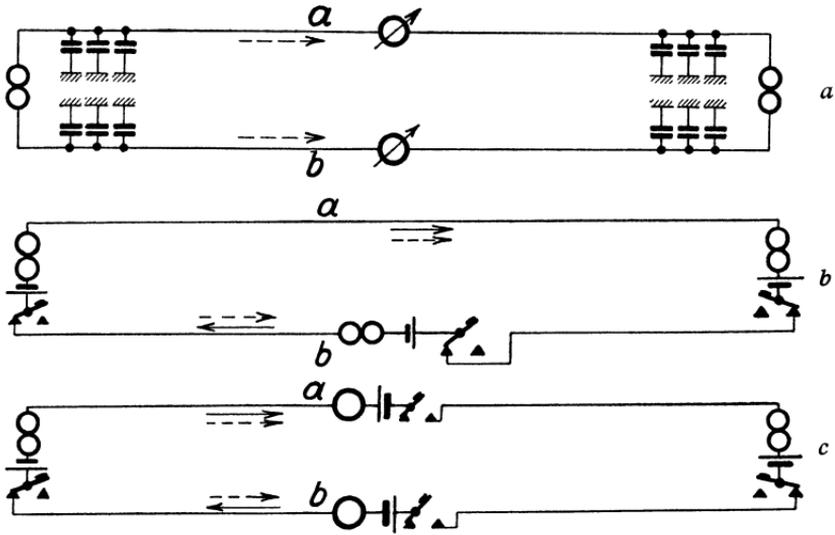


Abb. 807 a, b, c. Beeinflussung unsymmetrischer Schaltungen.
 ———> Betriebsstrom. - - - -> Störstrom.

2. Die zweiseitige Speisung einer Strecke ist nur dann erfolgreich, wenn beide speisenden Unterwerke betriebsmäßig auf gleicher Spannung erhalten werden können. Es gelten die Beziehungen (s. Abb. 808)

$$\begin{aligned}
 1) \quad U_1 &= I_1 r l_1 + (I_1 + I_2) R \\
 2) \quad U_2 &= I_2 r l_2 + (I_1 + I_2) R \\
 U_1 - U_2 &= I_1 r l_1 - I_2 r l_2
 \end{aligned}$$

Ist $U_1 - U_2 = 0$, so gilt $I_1 l_1 = I_2 l_2$; d. h. einerlei wo die Lokomotive steht, ist die Zahl der Amperekilometer nach beiden Seiten gleich. Sofern also die beeinflusste Leitung dem ganzen Speiseabschnitt im gleichen

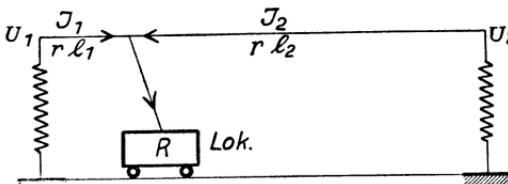


Abb. 808. Zweiseitige Speisung von Wechselstrombahnen.

Abstande parallel läuft, ist die induzierte Spannung praktisch Null. Diese an sich einfache Schaltung wird aber gerade dann unwirksam, wenn es auf sie besonders ankommt. Denn bei Kurzschlüssen schalten nie beide Höchststromschalter gleichzeitig aus, so daß der Kurzschluß eine gewisse Zeitlang noch einseitig weiter gespeist wird, wobei besonders hohe Induktionsspannungen auftreten.

3. Die Gleistrennung beim Unterwerk und am Endpunkt des Speiseabschnittes soll bewirken, daß der Rückstrom eine längere Strecke in den Schienen dieses Abschnittes zusammengehalten wird, und daß dadurch mehr oder minder Verhältnisse wie in einer Anlage mit Rückleitung geschaffen werden. In

Deutschland hat man damit jedoch nur eine Verringerung um etwa 10 vH erreicht.

4. Die Dreileiteranordnung benutzt Gegenspannungsdraht (1334) mit zur Stromführung und bietet dadurch — namentlich beim indirekten Anschluß, s. Abb. 809 — ähnlich günstige Bedingungen wie eine Anlage mit metallischer Rückleitung. Versuche im Auslande ergaben eine induzierte Spannung von rund 0,2 V/100 Akm.

5. Mit Einschaltung von Saugtransformatoren wird eine Vergrößerung des Wertes von $k = i \omega m / (r + i \omega L)$ (1338) bis zum Betrage 1 bezweckt, indem die Gegeninduktivität m zwischen Fahrdrabt und Schiene wesentlich erhöht, r dagegen durch die Saugleitung möglichst verkleinert wird. Man kann auch die

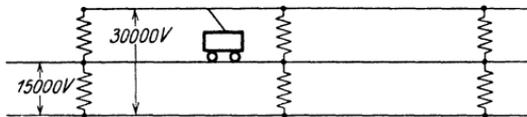


Abb. 809. Dreileiteranordnung von Wechselstrombahnen.

besondere Saugleitung fortlassen und nur die Schienen (mit Bindern) als Rückleitung benutzen, muß dann aber die Transformatoren enger stellen. Für die Oberschwingungen ist das Fehlen der Saugleitung ungünstig, weil erstere bei dem hohen Scheinwiderstand der Schienen nach der Erde abgedrängt werden und so stark induzieren. Versuche mit Saugleitungen haben für die Strecke Dessau—Bitterfeld (vier Saugabschnitte) eine Senkung der gesamten Induktionsspannung auf $1/20$ (0,25 V/100 Akm) ergeben und für die ungünstigste Stellung des Fahrzeuges unmittelbar vor oder hinter einem Transformator eine Verminderung auf $1/5$ (1,1 V/100 Akm statt 5,1 V/100 Akm).

Die Verwendung von Saugtransformatoren kommt bei uns an den Fahranlagen innerhalb der Städte in Betracht und dort, wo es sich um kürzere Gleichverläufe mit starken Linienzügen handelt, deren Verlegung unverhältnismäßig hohe Kosten verursachen würde.

(1343) **Kurzschlüsse in der Fahranlage** sind häufiger als bei Drehstromnetzen die den Kurzschlüssen gleichbedeutenden Doppelerdschlüsse (1346). Die Höhe des Kurzschlußstromes ist in Deutschland bis über 1000 A beobachtet worden. Unter sonst gleichbleibenden Verhältnissen nimmt sie bei wachsender Entfernung des Fehlerortes vom Unterwerk — wenn auch nicht proportional — ab. Gleichwohl wird die induzierte Gesamt-EMK größer, weil die Zahl der Amperekilometer ansteigt. Als Höchstwert der EMK sind im Kabel 1100 V gemessen. Doch muß man bei ungünstigen Umständen (mehrere Generatoren parallel) mit Spannungen von 1500 V und mehr rechnen. Auf 100 Akm bezogen, nähert sich der Wert der EMK dem Zustande bei Betriebsstrom und Schienenverbindern, weil die Schienenstöße bei den hohen Spannungen gut fritten. Auf schnelles Auslösen der Höchststromschalter in den Unterwerken muß größter Wert gelegt werden. Näheres s. Jäger: ETZ 1924, S. 417ff.

(1344) **Oberschwingungen.** Die Harmonischen des Fahrstroms rühren entweder vom Generator, vom Transformator oder von den Motoren her. Die ersten beiden erzeugen frequenzbeständige Oberschwingungen, während die Fahrmotoren Harmonische veränderlicher Schwingungszahl hervorrufen, je nach der Fahrgeschwindigkeit. Die auf den Fahrzeugen außerdem vorhandenen Hilfsmotoren für den Kompressor und das Gebläse sind hinsichtlich ihrer Oberschwingungen ebenfalls frequenzbeständig. Die induktorische Beeinflussung von FM-Doppelleitungen durch Oberschwingungen des Fahrstroms macht sich im Betriebe störend bemerkbar, sobald Unsymmetrien (Ableitung) in der Fernsprechleitung zufällig auftreten oder schalttechnisch vorhanden sind.

II. Drehstromanlagen.

(1345) Regelbetrieb. In den neuen Leitsätzen bleiben zwar die Störwirkungen der Ströme fehlerfreier H-Drehstromleitungen unberücksichtigt, es wird aber dabei vorausgesetzt, daß die umlaufenden Maschinen nicht nur bei Leerlauf, sondern auch bei beliebiger Belastung bis zur Nennlast praktisch sinusförmige Spannungskurven liefern, und daß die Transformatoren in ihrem Eisen nicht zu hoch gesättigt sind. Es sollen also die Oberschwingungen auf ein Mindestmaß begrenzt bleiben. Dies ist um so wichtiger, als die Fernsprechleitungen bei oberirdischer Führung nie vollkommen symmetrisch erhalten werden können. Wegen der Wirkung der dreizahligen Harmonischen (1335).

Um ein Maß für die Stärke des durch die Oberschwingungen in Fernsprechleitungen hervorgerufenen Starkstromgeräusches zu haben, kann man so lange Dämpfungswiderstand in der Leitung hinzuschalten, bis Geräusch verschwunden ist. Nach Feststellungen an verschiedenen Orten und durch verschiedene Personen glaubt man eine Dämpfung von $b = 3,5$ gerade noch zulassen zu können, ohne daß die Verständigung erheblich beeinträchtigt wird. Mit dieser Angabe ist keineswegs gesagt, daß die von einer einzelnen H ausgehende Störung etwa als zulässig anzusehen ist, weil sie z. B. nur mit $b = 2,5$ stört. Denn Fernsprechverbindungen können Hunderte von Kilometern lang sein und sind dann auf ihrer ganzen Strecke der Beeinflussung durch viele H nacheinander ausgesetzt.

Diese Meßmethode ist, da auf Verschwinden eines Tones eingestellt wird, nicht einwandfrei. Besser ist das neuerdings von Küpfmüller angegebene Geräuschspannungsmeßverfahren, bei dem das ungeschwächte Geräusch mit einer äquivalenten Summerspannung bekannter Größe und bestimmter Frequenz verglichen wird. Näheres s. Küpfmüller, Wiss. Veröff. des Siemens-Konzerns, 3. Bd., H. 2, 1924.

Dieses Verfahren ist auch für Messungen an den Maschinen selbst anwendbar. Neben diesem subjektiven Verfahren gibt es noch das objektive mit dem Störfaktormesser (Interferenzfaktormeter). Er enthält eine Siebkette mit derart gewählter Durchlässigkeit, daß aus dem — an einem induktionsfreien Widerstande im Maschinenkreis abgegriffenen — Spannungsabfall die verschiedenen Oberschwingungen in solcher Stärke herausgesiebt werden, wie sie der Tonempfindlichkeit des Ohres entsprechen. Jedoch sind die einzelnen Teilfrequenzen noch mit ω vervielfacht, weil bei Influenz und Induktion stets die Frequenz in die Störwirkung eingeht. Man erhält so hinter der Siebkette einen mit Thermo-element meßbaren Strom, der ein Maß für die Störwirkung bildet. (S. Osborne, Trans. AIEE, 1919, Bd. 38, S. 261. — Jäger, ENT 1926, S. 208).

(1346) Doppelerdschluß. Sobald sich der einfache Erdschluß zu einem Doppelerdschluß ausbildet (d. h. zu einem Erdschluß in zwei verschiedenen Phasen), hat man starke, zu Gefährdungen durch Knallgeräusche führende Induktionswirkungen in benachbarten Fernsprechleitungen zu erwarten. Die Drehstromanlage wird dann zu einem Einphasensystem, das — dem dreifach höheren Betrage der Bahngrundfrequenz entsprechend — im allgemeinen etwa dreimal höhere Induktionsspannungen je 100 Akm in FM hervorruft, als es bei Voraussetzung gleicher Verhältnisse die Wechselstrombahnen tun.

Abgesehen von der dreifachen Frequenz besteht gegenüber diesen Bahnen auch noch der ungünstige Umstand, daß hier mit dem Auftreten von Stoßkurzschlußstromstärken praktisch zu rechnen ist. Denn bis zu den Fehlerstellen liegt verhältnismäßig wenig induktiver Widerstand im Stromkreis, so daß die Einsatzspitze nicht genügend gedämpft ist. Versuche an einem Überlandwerk ergaben bei einem Doppelerdschluß in einer 54 km langen H eine um 100 vH höhere Stoßspitze als dem Dauerzustande des Kurzschlusses (Endwert) entsprach. In einer benachbarten FM mit einer Näherung von 42 km bei einem mittleren Abstand (logarithm. Mittel) von 240 m wurden für 100 A 330 V gemessen; bei dem hier möglichen Stoßkurzschlußstrom von 1800 A werden daher 6000 V zu erwarten

sein. Man erkennt hieraus, wie notwendig die Schaffung verbindlicher Grundsätze für die Beziehungen der H zu den FM mit Bezug auf die Beeinflussung gewesen ist.

Knallgeräusche können nicht entstehen, wenn es möglich ist, die Spannungssicherungen zu entbehren. Vorausgesetzt, daß die Isolierung der Fernsprechverbindung so vollkommen ist, daß nicht an einer schwächeren Stelle ein Überschlag erfolgt. Im Fernkabelnetz wird man daher künftig keinen Spannungsschutz mehr vorsehen. Die Kabel werden für eine Durchschlagsfestigkeit von rd. 2 kV gegen Erde gebaut und unmittelbar an der Einführung durch Übertrager mit gleicher el. Festigkeit abgeschlossen. Auch die Pupinspulen baut man neuerdings für diese Spannung. Da hiernach kein Spannungsdurchbruch nach Erde zu erwarten ist, wären auch Stromsicherungen, etwa zum Schutz der Spulen, entbehrlich.

III. Gleichrichterbahnen.

(1347) Welligkeit. Für Straßenbahnzwecke wird unter anderem dreiphasiger und sechsphasiger Gleichrichterstrom verwendet. Dieser weist eine nicht unerhebliche Welligkeit auf (= Verhältnis der Gesamtschwankung zum arithmetischen Gleichstrommittel). Im ersten Fall ist ihm eine Schwingung $f = 150$ bei einer Welligkeit bis 45 vH, im zweiten Falle eine Schwingung $f = 300$ bei verringerter Welligkeit (8...10 vH) überlagert. Vom Standpunkt der FM hat man es also mit Einphasen-Wechselstrombahnen zu tun, deren Frequenz aber 10- bis 20mal höher als die der üblichen Vollbahnen ist. Es treten daher Induktionsspannungen mittlerer Frequenzen auf, die beim Vorhandensein von Unsymmetrien in den FM zu störenden Geräuschen Anlaß geben können.

In den von diesen Bahnen benutzten Straßen sind ober- oder unterirdische Teilnehmerleitungen geführt, deren Schaltungen wegen der Vielgestaltigkeit der Vorgänge, die sich in ihnen abspielen, niemals völlig symmetrisch für die Störfrequenz eingerichtet werden können. Denn in erster Linie müssen solche Schaltungen für die Sprechfrequenz selbst ($\omega = 5000$ im Mittel) symmetrisch sein, was eine gleichzeitige Symmetrie für $f = 150$ und 300 entsprechend $\omega = 950$ und 1900 ausschließt. Auch läßt es sich aus schalttechnischen Gründen kaum vermeiden, daß gewisse Hilfsstromkreise einzeldrätig sind, z. B. die Speisung des Mikrophons bei einer Hauptstelle mit Nebenstelle aus der Zentralbatterie des Amtes. Bei der Hauptstelle liegt der Fernhörer in Brücke, die auf die störende Gleichrichterfrequenz nicht abgestimmt ist. Wirtschaftliche Maßnahmen zur Behebung der Störerscheinungen werden noch gesucht.

Technische Maßnahmen zum Schutze der Fernmeldeleitungen gegen Starkstromanlagen.

(1348) Art der Störungen; gesetzliche Bestimmungen. Fernmeldeleitungen müssen gegen Stromübergänge aus Starkstromanlagen, die infolge Berührung der beiderseitigen Leitungen eintreten können, geschützt werden. Soweit es sich um Fernmeldeleitungen der Deutschen Reichspost (DRP) handelt, sind die erforderlichen Schutzvorkehrungen nach den gesetzlichen Bestimmungen nach Möglichkeit an der späteren Anlage anzubringen (§ 12 des Telegraphengesetzes vom 6. April 1892 und §§ 5 u. 6 des Telegraphenwegegesetzes vom 18. Dezember 1899).

Maßnahmen zum Schutze der Fernmeldeleitungen der DRP gegen Berührung mit Starkstromanlagen.

Maßnahmen an den Außenleitungen.

(1349) Übersicht. Der Schwachstromtechniker soll nicht nur wissen, wie er neue Fernmeldeleitungen gegen vorhandene Starkstromleitungen zu schützen hat, sondern er muß auch eingehend darüber unterrichtet sein, welche Anforde-

rungen an die Ausführung von neuen Starkstromanlagen zu stellen sind, wenn sie vorhandene Fernmeldeleitungen kreuzen oder sich ihnen nähern. Die Betrachtung der an den Außenleitungen gegen die Gefahr einer Berührung vorzuziehenden Maßnahmen soll sich daher erstrecken zunächst auf solche, die bei Herstellung neuer Starkstromanlagen zum Schutze vorhandener Fernmeldeleitungen, und dann auf solche, die bei Herstellung neuer Fernmeldeleitungen zum Schutze gegen vorhandene Starkstromanlagen in Frage kommen. Dabei sollen die demselben Zweck dienenden Schutzvorkehrungen in der Reihenfolge ihrer Wichtigkeit bzw. Häufigkeit ihrer Verwendung aufgeführt werden.

(1350) Einteilung der Starkstromanlagen. Starkstromanlagen mit effektiven Gebrauchsspannungen bis 250 V zwischen beliebigen Leitern sind ohne weiteres als Niederspannungsanlagen zu behandeln; Mehrleiteranlagen mit Spannungen bis 250 V zwischen Nulleiter und einem beliebigen Außenleiter nur dann, wenn der Nulleiter geerdet ist. Die übrigen Starkstromanlagen — mit Ausnahme der elektrischen Bahnen — gelten als Hochspannungsanlagen. Die elektrischen Bahnen bilden hinsichtlich der Schutzmaßnahmen eine Sonderklasse.

(1351) Allgemeine Bestimmungen. Allgemein gilt, daß der Abstand der Bauteile oberirdischer Starkstromanlagen von den Fernmeldeleitungen in waagrechter Richtung nicht weniger als 1,25 m betragen darf; bei Niederspannungsleitungen können jedoch in besonderen Fällen Ermäßigungen zugelassen werden. Der senkrechte Abstand zwischen den Bauteilen oberirdischer Starkstromanlagen und den Fernmeldeleitungen muß bei Kreuzungen mindestens 1 m betragen, wenn zwischen den beiderseitigen Leitungen geerdete Schutzvorrichtungen angebracht, oder wenn bei Niederspannung die Starkstrom- oder Fernmeldeleitungen isoliert sind. In allen anderen Fällen gelten andere senkrechte Mindestabstände, die sich aus den nachstehenden Ausführungen ergeben (vgl. 1354 und 1360).

Ferner kommt allgemein der Grundsatz zur Durchführung, daß Schutzvorkehrungen getroffen werden, die eine Berührung der beiderseitigen Leitungen bei Hochspannung verhindern, bei Niederspannung verhindern oder unschädlich machen.

a) Maßnahmen beim Neubau von Starkstromanlagen.

(1352) Grundlegende Vorschriften. Grundlegend für die Sicherung vorhandener Fernmeldeleitungen der DRP¹⁾ gegen neue Starkstromanlagen sind die „Allgemeinen Vorschriften für die Ausführung und den Betrieb neuer elektrischer Starkstromanlagen (ausschließlich der elektrischen Bahnen) bei Kreuzungen und Näherungen von Telegraphen- und Fernsprechleitungen“ nebst Zusatzbestimmungen des Reichspostministeriums vom 26. Juli 1922 zu Ziffer 3 dieser Vorschriften und die „Allgemeinen Vorschriften zum Schutze vorhandener Reichs-Telegraphen- und Fernsprechanlagen gegen neue elektrische Bahnen“.

(1353) Kreuzungen zwischen oberirdischen Hochspannungsleitungen und oberirdischen Fernmeldeleitungen. An den Kreuzungen sind die Hochspannungsleitungen tunlichst über die Fernmeldeleitungen hinwegzuführen. Als Schutzmaßnahmen kommen in Betracht:

(1354) Bruchsichere Führung der Hochspannungsanlage. Man versteht darunter einen solchen Ausbau der Hochspannungsanlage, bei dem ein Bruch oder ein die Schwachstromleitungen gefährdendes Nachgeben der Starkstromleitungen oder ihrer Gestänge ausgeschlossen sind. Die an die bruchsicheren Überführungen zu stellenden Anforderungen sind enthalten in den vom Reichspostministerium herausgegebenen „Vorschriften für die bruchsichere Führung von Hochspannungsleitungen über Postleitungen“. Die wichtigsten, in diesen Vorschriften gestellten Forderungen sind folgende:

¹⁾ Für die Sicherung der Fernmeldeleitungen der Deutschen Reichsbahn gelten die „Bahnkreuzungsvorschriften für fremde Starkstromanlagen“, die in mancher Hinsicht von den Vorschriften der DRP abweichen.

Die Hochspannungsleitungen sind tunlichst so zu führen, daß an den Kreuzungsmasten keine Leitungswinkel entstehen. Die Spannweiten der Kreuzungsfelder sollen möglichst nicht größer sein als die der Nachbarfelder. Die Möglichkeit, daß die Leitungen des Kreuzungsfeldes durch Bäume oder Schadenfeuer beschädigt werden, darf nicht bestehen. An hölzernen Kreuzungsmasten sind bei Verwendung von Stützenisolatoren die Isolatorträger zu erden. Für die Erdung der Eisenmaste und Eisenbetonmaste sind die „Leitsätze für Schutz-erdungen in Hochspannungsanlagen“ des Verbandes Deutscher Elektrotechniker (VDE) maßgebend. Alle Leitungen im Kreuzungsfeld müssen aus Drahtseil hergestellt sein und aus einem Stück (ohne Verbindungsteile) bestehen. Die Hochspannungsleitungen sind an jedem Stützpunkt derart an zwei Stützenisolatoren oder zwei Isolatorenketten zu befestigen (Abb. 810/12), daß sie nicht

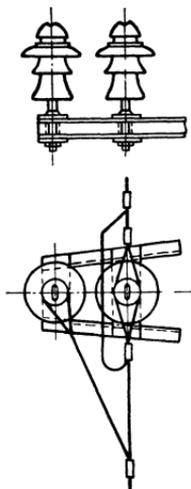


Abb. 810. Stützenisolatoren.

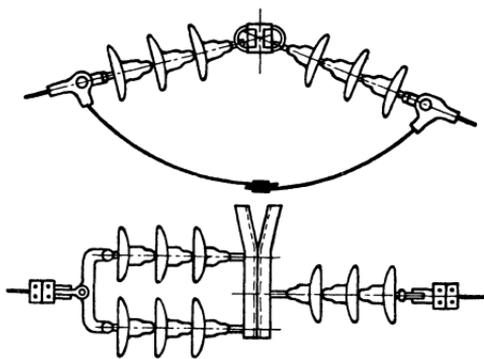


Abb. 811. Doppel-Abspannkette.

Bruchsichere Leitungsaufhängung.

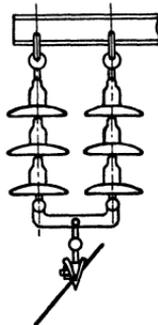


Abb. 812. Senkrecht hängende Doppelkette.

herunterfallen können, wenn der eine Stützenisolator bzw. die eine Isolatorenkette schadhaft wird. Für Niederspannungs- und Betriebsfernsprechleitungen am Hochspannungsgestänge genügt die Abspannung an einem Stützenisolator, dessen Überschlagnspannung mindestens doppelt so groß sein muß wie die der Isolatoren dieser Leitungen auf den anschließenden Strecken. Hinsichtlich ihrer elektrischen Festigkeit müssen die Isolatoren und Isolatorenketten den Vorschriften des VDE entsprechen. Bei der Berechnung des Leitungsdurchhanges ist eine Zusatzlast (Eis oder Wind) von $180\sqrt{d}$ in Gramm für 1 m Leitungslänge anzunehmen, wobei d den Leitungsdurchmesser in mm bedeutet. Mindestabstand zwischen der untersten Leitung am Hochspannungsgestänge und der obersten Fernmeldeleitung in senkrechter Richtung bei unbeschädigtem Zustand der Starkstromleitungen 2 m sowohl bei $+40^\circ\text{C}$ als auch bei -5°C und Zusatzlast; dieser Abstand muß mindestens noch 1,50 m betragen, wenn bei Abspannkette (Abb. 811) eine Kette einer Doppelkette bei -5°C und Zusatzlast schadhaft wird und wenn bei senkrecht hängenden Ketten (Abb. 812) eine Hochspannungsleitung im Nachbarfeld reißt und infolgedessen die Doppelkette des Kreuzungsmastes nach dem Kreuzungsfeld hinüberschwingt. Die Abstände untereinander sollen bei Leitungen aus Kupfer, Bronze, Stahl und Stahlluminium mindestens $0,75\sqrt{f} + \frac{U^2}{20000}$, bei Leitungen aus Aluminium dagegen mindestens $\sqrt{f} + \frac{U^2}{20000}$, jedoch bei Hochspannung von 3000 V aufwärts nicht unter 0,8 m, für Aluminium

nicht unter 1 m betragen. Hierbei ist f = Durchhang der Leitungen bei $+40^{\circ}\text{C}$ in m und U = Spannung in kV. Dieser gegenseitige Abstand darf nicht kleiner werden als 0,01 m für je 1000 V der Betriebsspannung, wenn bei Stützenisolatoren das Hauptseil einer Hochspannungsleitung am Isolator, bei Abspanndoppelketten eine Kette, bei senkrecht hängenden Ketten ein Seil im Nachbarfeld reißt; mindestens muß der gegenseitige Abstand in diesen Fällen noch 0,20 m betragen. Mindestquerschnitt für Aluminiumseile 50 mm², für Kupfer-, Bronze- und Stahlseile bei Spannweiten bis 50 m 16 mm², bei größeren Spannweiten 25 mm². Der Leitungsdurchhang¹⁾ ist so zu bemessen, daß die Seilspannung sowohl bei -20°C ohne Zusatzlast, als auch bei -5°C und Zusatzlast in den Kupferseilen nicht größer als 9,5, in den Aluminiumseilen nicht größer als 4,5 und in den normalen Stahlaluminiumseilen mit einem Querschnittsverhältnis von Stahl zu Aluminium = $\frac{1}{6}$ nicht größer als 5,5 kg/mm² wird; in Bronze- und Stahlseilen soll unter den angegebenen Verhältnissen noch 5fache Sicherheit gegen Bruch vorhanden sein. Bei Verwendung von senkrecht hängenden Isolatoren-

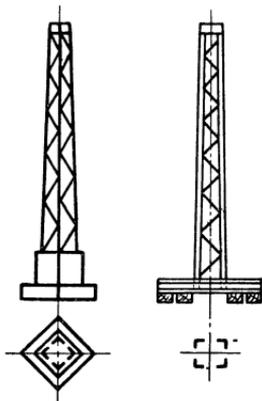


Abb. 813. Eisenmast mit Betonfundament. Plattenfundament.

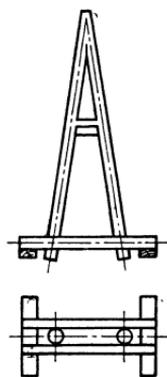


Abb. 814. A = Mast.

ketten (Abb. 812) wird eine größere Seilspannung zugelassen, wenn im Kreuzungsfeld ein größerer Leitungsquerschnitt verwendet wird als in den Nachbarfeldern oder ein Baustoff, dessen Bruchfestigkeit um mindestens 50 vH größer ist als die Bruchfestigkeit des Baustoffs in den Nachbarfeldern. Die Festigkeit der durch Seilverbinder und Seilklemmen hergestellten Verbindungen muß bei Seilen aus Kupfer und Aluminium mindestens das 3,8fache, bei Seilen aus anderen Baustoffen mindestens das 4,5fache des größten Zuges betragen, der nach der gewählten Höchstzugspannung im Leitungseil auftreten kann. Den gleichen Festigkeitsbedingungen muß jede Kette einer Doppelkette genügen. Als Stützpunkte sind zugelassen Eisenmaste mit Beton- oder Plattenfundamenten (Abb. 813), Eisenbetonmaste mit Betonfundamenten, hölzerne A-Maste mit Fundamentplatten (Abb. 814), einfache Holzmaste mit Streben nach der Nach-

¹⁾ Wegen der Durchgangsberechnungen vgl. (1269).

1. Stützenisolatoren: Nikolaus: (ETZ 1907, S. 896 ff.); Weil: (Beanspruchung und Durchhang von Freileitungen. Berlin: Jul. Springer, ETZ 1910, S. 1155); Besser: (ETZ 1910, S. 1214 ff.); Truxa: (E. u. M. 1923, Heft 34).

2. Abspannketten: Kryzanowski: (E. u. M. 1917, S. 489, 505 u. 604); Guerndt (ETZ 1922, S. 137 ff.); Truxa: (E. u. M. 1924, Heft 33); Robitschek: (E. u. M. 1924, Heft 38) u. ETZ 1925, S. 1663.

barfeldseite und mit besonderen Erdfüßen, die dem Einfluß der Bodenfeuchtigkeit und der Fäulnis größeren Widerstand entgegensetzen, sowie feuersichere und genügend standfeste Bauwerke (Transformatorhäuser, Schalzhäuser u. dgl.). Holzmaste müssen in ihrer ganzen Länge gegen Fäulnis geschützt sein und dürfen in Winkelpunkten nicht verwendet werden. A-Maste sind jedoch noch zugelassen bei Leitungswinkeln zwischen 170° und 180° .

Die Maste und Fundamente sollen berechnet werden für den größten Leitungszug und den Winddruck auf Mast und Kopfausrüstung senkrecht zur Richtung der Querträger, wobei der Winddruck mit 125 kg^* auf 1 m^2 senkrecht getroffener Fläche einzusetzen ist. Bei Fachwerk brauchen die im Windschatten liegenden Teile nur mit 50 vH der Vorderfläche berücksichtigt zu werden, bei Holzstangen mit höchstens $0,5 \text{ m}$ mittlerem Durchmesser und bei Leitungen ist die Fläche mit 50 vH der senkrechten Projektion der wirklich getroffenen Fläche anzusetzen. Der größte Leitungszug wird ermittelt einmal unter der Annahme, daß sämtliche Leitungen unbeschädigt sind, das andere Mal unter der Voraussetzung, daß der ganze Leitungszug in einem oder in mehreren vom Kreuzungsmast abgehenden Nachbarfeldern wegfällt. Für senkrecht hängende Ketten gilt als größter Zug der nach dem Bruch der Leitungen im Nachbarfeld auftretende Zug im Kreuzungsfeld. Für solche Nachbarfelder, bei denen die Gefahr der Beschädigung der Leitungen durch Bäume oder Schadenfeuer nicht besteht, braucht jedoch nur mit dem Wegfall von zwei Dritteln des Leitungszuges gerechnet zu werden. Holzmaste sind außerdem für den Winddruck auf den Mast senkrecht zur Leitungsrichtung und auf die Leitungen in der halben Länge der beiden Spannfelder zu berechnen. Fundamente werden nach Fröhlich berechnet¹⁾.

Bei den aus Flußeisen bestehenden Bauteilen (Maste, Querträger und Stützen) darf die Zug-, Druck- und Biegungsspannung im ungünstigsten Falle 1500, die Zugspannung der Schrauben 750, die Scherspannung der Niete 1200, die der Schrauben 900, der Lochleibungsdruck der Niete 3000, der der Schrauben 1800 kg/cm^2 nicht überschreiten. Die auf Druck beanspruchten Glieder müssen eine zweifache Sicherheit gegen Knicken nach der Tetmajerschen Formel haben,

wenn $\lambda = \frac{l}{i} = \frac{\text{Knicklänge in cm}}{\text{Trägheitshalbmesser}} < 105$ ist. Der Sicherheitsgrad wird durch

das Verhältnis $\frac{\text{Knickspannung}}{\text{Normalspannung}}$ bestimmt, worin die Knickspannung = 3100

— $11,41 \cdot \frac{l}{i}$ und $i = \sqrt{\frac{J}{F}}$. Ist $\lambda > 105$, so müssen die auf Druck beanspruchten

Glieder nach der Eulerschen Formel $P = \frac{J \cdot \pi^2 \cdot E}{n \cdot l^2}$ berechnet werden, worin

der Sicherheitsgrad $n=3$ zu setzen ist (21). P bedeutet hierin die zulässige Belastung in kg, F die ungeschwächte Querschnittsfläche des gedrückten Stabes in cm^2 , E das Elastizitätsmaß = 2150000 kg/cm^2 , J in beiden Fällen das kleinste Trägheitsmoment (J_{\min}) des gedrückten Stabes in cm^4 .

Für Holzmaste aus Nadelhölzern betragen die zulässigen Biegungsspannungen je nach der Güte des Schutzes gegen Fäulnis 145 oder 190 kg/cm^2 . Bei hölzernen A-Masten muß das in halber Knicklänge vorhandene Trägheitsmoment mindestens $J = n \cdot 5 \cdot P \cdot l^2$ sein. Darin ist P die Druckkraft in Tonnen, l die Knicklänge in m und n die Knicksicherheit. Für n ist bei Hölzern mit einer zulässigen Biegungsspannung von 145 kg/cm^2 die Zahl 4, bei solchen mit einer zulässigen Biegungsspannung von 190 kg/cm^2 die Zahl 3 einzusetzen. Für Bauteile aus anderen Stoffen, z. B. Maste aus Beton, Isolatorstützen aus Stahl, ist eine Beanspruchung bis zu einem Drittel der vom Lieferer zu gewährleistenden Bruch- und Knicksicherheit zulässig.

¹⁾ Fröhlich: Beitrag zur Berechnung von Mastfundamenten, 2. Auflage. Verlag von Wilh. Ernst u. Sohn, Berlin.

(1355) Geerdete Schutznetze an den Hochspannungsgestängen unter den Hochspannungsleitungen. Solche Netze kommen im allgemeinen nur für Hochspannungsleitungen an Stützenisolatoren

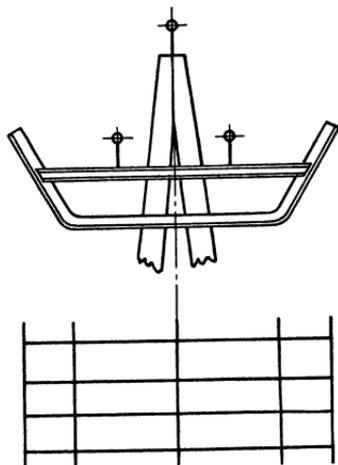


Abb. 815. Schutznetz.

und bei geringen Spannweiten in Betracht. Sie erhalten muldenförmigen Querschnitt (Abb. 815) von solcher Breite, daß die Hochspannungsleitungen beim Reißen und Abtrieb durch Wind noch sicher aufgefangen werden. Bei Aluminiumseilen rechnet man hierbei mit einem Abtriebwinkel von 60° , bei anderen Seilen mit einem solchen von 45° gegen die Senkrechte. Die Netze können aus Hartkupfer-, Bronze- oder verzinkten Stahldrähten oder -seilen hergestellt werden. Durchmesser der Längsdrähte in der Regel 4 mm, derjenige der Querdrähte nicht unter 3 mm (am besten ebenfalls 4 mm). Dauerhafte, gut leitende Verbindung zwischen Längs- und Querdrähten und zuverlässige Erdung des Netzes erforderlich. Der gegenseitige Abstand der Querdrähte, die im übrigen nur im tatsächlichen Gefahrenbereich der Fernmeldeleitungen notwendig sind, soll nicht größer

sein als der senkrechte Abstand der untersten Netzdrähte von den Fernmeldeleitungen. Von diesen Schutznetzen wird nur noch selten Gebrauch gemacht.

(1356) Verkabelung der vorhandenen Fernmeldeleitungen. Sie kommt nur dann in Betracht, wenn weder der Betrieb der Fernmeldeleitungen noch der weitere Ausbau der Fernmeldeanlagen durch die Verkabelung beeinträchtigt wird. Ausführung entweder als Erdkabel oder als Luftpaket, die durch ein isoliert aufgehängtes und über eine besondere Stange geerdetes Seil geschützt werden (1370).

(1357) Geerdete Schutznetze oder Brücken im Zuge der Fernmeldeanlagen. Solche Vorrichtungen werden nur ausnahmsweise zugelassen. Sie sollen die Schwachstromleitungen haubenförmig überdachen und von diesen mit sämtlichen Bauteilen auch unter Belastung durch Eis oder Schnee mindestens 1,5 m entfernt bleiben. Die Hauben müssen seitlich so weit heruntergehen, daß auch die untersten Leitungen geschützt sind, und eine solche Länge erhalten, daß gerissene Hochspannungsleitungen unter Berücksichtigung des seitlichen Abtriebs durch Wind noch sicher aufgefangen werden. Die Schutzhauben sind ohne Mitbenutzung des Schwachstromgestänges an besonderen Tragwerken herzustellen. Sollen Schutznetze verwendet werden, so ist bei Bemessung der Stärke der oberen Längsdrähte außer dem Gewicht und der Fallhöhe der Hochspannungseile auch die zu erwartende Erdschlußstromstärke zu berücksichtigen, die bei ausgedehnten Anlagen unter Umständen dann sehr hohe Werte annehmen kann, wenn nicht besondere Vorrichtungen zur Unterdrückung des Erdschlußstromes (Erdschlußspulen usw.) an der Hochspannungsanlage angebracht sind.

Müssen die Hochspannungsleitungen ausnahmsweise unter den vorhandenen Fernmeldeleitungen hindurchgeführt werden, so kommen

(1358) Geerdete Schutznetze am Hochspannungsgestänge über den Hochspannungsleitungen zur Anwendung. Diese Netze müssen in genügendem Abstand von den Hochspannungsleitungen oberhalb und seitlich von ihnen so angeordnet und so engmaschig sein, daß eine Berührung der beiderseitigen Leitungen beim Reißen von Fernmeldeleitungen oder beim Umbruch ihrer Gestänge nicht eintreten kann.

(1359) Kreuzungen zwischen oberirdischen Niederspannungsleitungen und oberirdischen Fernmeldeleitungen. Auch Niederspannungsleitungen sollen möglichst über vorhandene Schwachstromleitungen hinweggeführt werden. In diesem Falle kommen folgende Schutzmaßnahmen zur Anwendung:

(1360) Ausbau der Niederspannungsanlage, der genügende Sicherheit gegen Bruch oder gegen ein die Schwachstromleitungen gefährdendes Nachgeben der Starkstromleitungen des Kreuzungsfeldes bietet. Diese Bedingung gilt als erfüllt, wenn im wesentlichen die nachstehenden Bestimmungen beachtet sind: Die Spannweite des Kreuzungsfeldes soll im allgemeinen nicht größer als 40 m sein. Die Leitungen sind aus Drahtseil herzustellen mit einem Mindestquerschnitt von 10 mm² bei Kupfer, von 16 mm² bei verzinktem Stahl und von 25 mm² bei Aluminium. Die spannungsführenden Leiter müssen im Kreuzungsfeld aus einem Stück (ohne Verbindungsstellen) bestehen und an den Aufhängepunkten in zuverlässiger Weise (besonders sichere Bindung, erforderlichenfalls mit Hilfsbügel oder Abspannung) befestigt werden. Höchstzulässige Zugspannung für Kupferseile 19, für Aluminiumseile 9, für Stahlseile 16 kg/mm². Senkrechter Mindestabstand zwischen Schwachstromleitungen und Niederspannungsleitungen im allgemeinen 1,5 m. Als Gestänge können Eisenmaste, Eisenbetonmaste, getränkte Holzmaste, Holzmaste (auch ungetränkte) mit besonderen Erdfüßen, sowie Dachgestänge, zuverlässig befestigte Mauerbügel und Isolatorstützen an Bauwerken oder Felsen benutzt werden. Die Gestänge müssen standsicher hergestellt und erhalten werden.

(1361) Schutznetze am Niederspannungsgestänge unter den Niederspannungsleitungen. Solche Schutznetze brauchen nicht geerdet zu werden, wenn sie so gebaut sind, daß sie gerissene Niederspannungsleitungen unter allen Umständen sicher auffangen. Wenn sie eine Erdung erhalten, brauchen sie nur so ausgeführt zu werden, daß eine gerissene Niederspannungsleitung geerdet wird, bevor sie eine Schwachstromleitung berühren kann.

(1362) Isolierter Draht für die Niederspannungsleitungen. Die Isolierhülle muß wetterfest sein und der Betriebsspannung der Starkstromanlage genügen.

(1363) Geerdete Schutzdrähte (auch der geerdete Null- oder Mittelleiter) über den Niederspannungsleitungen oder Isolierung der letzteren kommen in Betracht, wenn die Niederspannungsleitungen unter den Fernmeldeleitungen hindurchgeführt werden müssen; die Schutzdrähte sollen eine herabfallende Fernmeldeleitung erten, bevor sie eine spannungsführende Leitung berühren kann. Die Verwendung isolierter Drähte als Schutzmittel soll möglichst eingeschränkt werden.

(1364) Kreuzungen zwischen den Fahrdrähten elektrischer Bahnen und oberirdischen Fernmeldeleitungen. Bei Bahnen mit Gleichstrombetrieb bis 700 V Spannung kommen als Schutzvorkehrungen in Betracht entweder geerdete blanke Drähte, die in einem Abstand von höchstens 0,75 m über den Fahrdrähten angebracht, oder Isolierleisten, die auf den Fahrdrähten aufgesattelt werden. Bei Gleichstrombetrieb mit höherer Spannung als 700 V und bei Wechselstrombetrieb werden Vorrichtungen verwendet, die größere Sicherheit bieten, z. B. geerdete, flache, seitlich genügend weit ausladende Fangnetze.

(1365) Näherungen zwischen oberirdischen Starkstromleitungen und oberirdischen Fernmeldeleitungen. Unter Näherungen werden solche Stellen verstanden, an denen die Starkstrom- und Fernmeldeanlagen in so geringen Abständen nebeneinander geführt sind, daß beim Umbruch von Gestängen oder beim Reißen von Leitungen in der einen Anlage eine Berührung zwischen Starkstrom- und Fernmeldeleitungen eintreten kann. Dem Umbruch von Gestängen soll durch standsichere Herstellung, nötigenfalls unter Verwendung von Streben und Anker, oder durch Verkürzung der Spannungsfelder vorgebeugt werden. Bei der Berührungsgefahr durch Leitungsbruch ist zu unterscheiden, ob der Bruch einer Starkstromleitung oder einer Fernmeldeleitung einen Stromübergang verursachen kann. Besteht die Gefahr beim Reißen von Hochspan-

nungsleitungen, so genügt, falls die Berührung nicht schon bei einem geringen seitlichen Abtrieb einer gerissenen Leitung eintreten kann, die Anwendung einer höheren Sicherheit bei der Aufhängung der Leitungen (Mindestquerschnitt für Kupfer- und Stahlseile 16, für Aluminiumseile 35 mm², besonders sichere Befestigung der Leitungen an den Isolatoren, Verwendung von Isolatoren mit höherer elektrischer Festigkeit usw.). Muß bereits bei geringem seitlichen Abtrieb gerissener Hochspannungsleitungen mit einer Berührung gerechnet werden, so sind besondere Abwehrmittel (Stangen u. dgl.) oder Schutznetze an der Hochspannungsanlage anzubringen oder die Hochspannungsleitungen müssen wie unter (1354) bruchsicher aufgehängt werden. Kommen Niederspannungsleitungen in Betracht, so genügt ihre besonders sichere Aufhängung nach (1360) oder die Verwendung von isolierten Drähten oder Seilen. Ist damit zu rechnen, daß eine gerissene Fernmeldeleitung die Starkstromleitungen berühren kann, so sind mechanische Abwehrmittel zwischen den beiderseitigen Anlagen oder geerdete Schutznetze an der Starkstromanlage anzubringen. Wenn die Starkstromanlage eine Niederspannungsanlage ist, können ihre Leitungen auch aus isolierten Drähten oder Seilen hergestellt werden (1363).

Bei Näherungen mit elektrischen Bahnen werden Maßnahmen gegen den Bruch der Fahrdrähte und den Umbruch der Bahngestänge nicht gefordert, weil die Bahnanlage als bruchsicher angesehen wird.

(1366) Kreuzungen und Näherungen zwischen Starkstrom- und Schwachstromkabeln. Bei Kurzschlüssen in Starkstromkabeln können durch die Wärmewirkung schmelzender oder verdampfender Metallmassen in der Nähe liegende Schwachstromkabel beschädigt werden. Zur Verhütung solcher Beschädigungen werden die Starkstromkabel an solchen Stellen, wo die beiderseitigen Kabel sich in einem Abstand von weniger als 0,30 m kreuzen oder in einem seitlichen Abstand von weniger als 0,30 m nebeneinander laufen, auf der den Schwachstromkabeln zugekehrten Seite mit Halbmuffen aus Zement oder gleichwertigem feuerbeständigen Material von wenigstens 0,06 m Wandstärke versehen. Handelt es sich um Schwachstromkabel mit Guttaperchaisolierung, so dürfen Halbmuffen aus Zement nicht verwendet werden, dagegen solche aus Ton oder Steinzeug; für letztere genügt eine Wandstärke von 2...3 cm.

Liegen die Schwachstromkabel höher als die Starkstromkabel, so sind erstere zum Schutze gegen Beschädigungen bei Aufgrabungen mit zweiteiligen eisernen Rohren zu umkleiden, sofern sie nicht bereits durch Ziegelsteine oder Zementhüllen abgedeckt sind.

(1367) Kreuzungen und Näherungen innerhalb der Gebäude. Innerhalb der Gebäude sollen die Starkstromleitungen tunlichst entfernt von den Fernmeldeleitungen angeordnet werden. Sind Kreuzungen oder Näherungen bei festverlegten Leitungen an derselben Wand nicht zu vermeiden, so müssen die Starkstromleitungen so angeordnet oder es müssen solche Vorkehrungen getroffen werden, daß eine Berührung der beiderseitigen Leitungen ausgeschlossen ist (Einziehen der Starkstromleitungen in Isolierrohre oder Zwischenschieben isolierender Platten oder Brücken).

(1368) Mittelbare Gefährdung der Fernmeldeleitungen durch Hochspannung. Eine mittelbare Gefährdung liegt dann vor, wenn eine durch eine Hochspannungsanlage gefährdete Fernmeldeleitung oder Niederspannungsleitung usw. (dritte Leitung) an anderer Stelle mit Fernmeldeleitungen zusammentrifft. Zur Sicherung der Fernmeldeleitungen gegen mittelbare Gefährdung sind Schutzvorkehrungen zu treffen, durch die der Übertritt hochgespannter Ströme in die dritte Leitung verhindert oder unschädlich gemacht wird. Um Stromübergänge zu verhindern, können angewendet werden Schutznetze, Schutzdrähte, die bruchsicere Aufhängung der Hochspannungsleitungen gemäß (1354) oder ihre Aufhängung mit erhöhter Sicherheit gemäß (1365). Das Entstehen von Hochspannung in der dritten Leitung wird unschädlich gemacht durch Einschalten zuverlässiger wirkender, den Stromweg erdende oder unterbrechende Sicherungen oder

durch Zwischenschalten von Isoliertransformatoren, welche die abseits geführte Leitungstrecke gegen den Übertritt von Hochspannung schützen.

b) Maßnahmen beim Neubau von Fernmeldeleitungen.

(1369) Kreuzungen zwischen oberirdischen Hochspannungsleitungen und oberirdischen Fernmeldeleitungen. Neue Fernmeldeleitungen sollen tunlichst unter vorhandenen Hochspannungsleitungen hindurchgeführt werden. Sofern an den letzteren nicht bereits Schutzmaßnahmen nach (1354) oder (1355) vorhanden sind, können die Fernmeldeleitungen geschützt werden durch:

(1370) Verkabelung auf der beim Reißen von Hochspannungsleitungen oder beim Umbruch von Hochspannungsgestängen gefährdeten Strecke. Die Kabel werden entweder in die Erde verlegt oder als Luftkabel an Tragsseilen aufgehängt, über denen in einem senkrechten Abstand von 0,75 bis 1 m ein geerdetes Schutzseil nach (1356) angebracht wird; Querträger und Stützen der weiterführenden oberirdischen Leitungen sind dabei ebenfalls zu erden. Die Verkabelung kommt nur dann in Frage, wenn sie der Betrieb der Fernmeldeleitungen zuläßt.

(1371) Geerdete Schutznetze an der Fernmeldelinie, welche die Fernmeldeleitungen haubenförmig überdachen und auch die untersten Leitungen genügend schützen. Die Netzdrähte müssen einen ausreichend großen Abstand von den Fernmeldeleitungen haben, damit sie nicht durch ein niederfallendes Hochspannungsseil bis auf die Fernmeldeleitungen heruntergedrückt und auch nicht durch ein das Netz beim Niederfallen umschlingendes Seilende soweit zusammengeschnürt werden können, daß eine Berührung oder unzulässige Annäherung zwischen Hochspannungs- und Fernmeldeleitungen eintreten kann. Die Stärke der oberen Längsdrähte richtet sich nach dem Gewicht und der Fallhöhe der Hochspannungsleitungen und der zu erwartenden Erdschlußstromstärke (1357).

Müssen die Hochspannungsleitungen von den Fernmeldeleitungen ausnahmsweise überkreuzt werden, so können

(1372) muldenförmige Schutznetze am Fernmeldegestänge unter den Fernmeldeleitungen angebracht werden, die so beschaffen sind, daß eine gerissene Leitung in dem Netz sicher aufgefangen wird. Die Netze sollen an beiden Stützpunkten geerdet und so bruch sicher ausgeführt werden, wie es zur Vermeidung wesentlicher Gefahren für die darunter liegende Hochspannungsanlage erforderlich ist.

(1373) Kreuzungen zwischen oberirdischen Niederspannungsleitungen und oberirdischen Fernmeldeleitungen. Werden die Fernmeldeleitungen über die Niederspannungsleitungen hinweggeführt, so kommen als Schutzmaßnahmen in Betracht:

(1374) Besonders sicherer Ausbau der Fernmeldelinie an der Kreuzungstelle: Standsichere Kreuzungstützpunkte (verstärkte Holzgestänge, Dachgestänge, Mauerbügel usw.), Mindeststärke der im Kreuzungsfeld ohne Verbindungsstellen zu verlegenden Eisen- oder Hartkupferdrähte 3 mm, Spannweite höchstens 60 m, Drahtspannung höchstens ein Fünftel der Bruchfestigkeit, Abspannung der Leitungen an den Kreuzungstützpunkten. Statt der Isoliervorrichtungen II und III ist im Kreuzungsfeld die jeweils höhere Sorte zu verwenden. Bei Sprechstellenzuführungen bis 20 m Länge kann in der Regel von besonderen Schutzmaßnahmen abgesehen werden, vorausgesetzt, daß die Abspannstützen im Mauerwerk möglichst sorgfältig befestigt werden.

(1375) Erdungsbügel an der Fernmeldelinie, wenn der senkrechte Abstand zwischen Fernmelde- und Niederspannungsleitungen so groß ist, daß herabfallende Leitungen sich sicher und unbehindert durch zwischenliegende Leitungen usw. auf die Bügel legen, bevor sie die Niederspannungsleitungen berühren.

(1376) Schutznetze unter den Fernmeldeleitungen am Fernmeldegestänge, die ebenso beschaffen sein müssen wie die Schutznetze unter den Niederspannungsleitungen, wenn sie die Fernmeldeleitungen oberhalb kreuzen (1361).

Werden die Fernmeldeleitungen unter den Niederspannungsleitungen hindurchgeführt, so genügen

(1377) **geerdete Längsdrähte** über den Fernmeldeleitungen am Kopf der Fernmeldeinie, die so anzuordnen sind, daß eine gerissene Niederspannungsleitung nicht auf eine Fernmeldeleitung fallen kann, ohne zugleich einen geerdeten Draht zu berühren.

(1378) **Isolierter Draht** kann sowohl bei Kreuzungen oberhalb als auch bei Kreuzungen unterhalb der Niederspannungsleitungen, wenn eins der vorerwähnten Schutzmittel nicht anwendbar ist, für die Fernmeldeleitungen verwandt werden (1363).

(1379) **Kreuzungen mit den Fahrdrähten elektrischer Bahnen.** Eine Berührung zwischen den Fahrdrähten und den Fernmeldeleitungen wird durch Anbringung eines geerdeten Schutznetzes unter den letzteren verhindert, oder es werden die unter (1364) angegebenen Schutzvorkehrungen an der Bahnanlage getroffen.

(1380) Bei **oberirdischen Näherungen** (1365) kommen im allgemeinen die gleichen Schutzmaßnahmen in Betracht wie im Falle (1365). Der Gefahr einer Berührung beim Reißen von Fernmeldeleitungen kann auch durch Anbringen seitlicher Schutznetze an der Fernmeldeinie oder, wenn es sich um Annäherung an eine Niederspannungsanlage handelt, durch Anwendung der unter (1374, 1375, 1378) angegebenen Maßnahmen vorgebeugt werden.

(1381) **Kreuzungen und Näherungen zwischen Kabeln.** Zum Schutze gegen Wärmewirkungen werden die Vorkehrungen unter (1366) unter den dort angegebenen Voraussetzungen am Schwachstromkabel auf der dem Starkstromkabel zugekehrten Seite angebracht.

(1382) **Kreuzungen und Näherungen innerhalb der Gebäude.** Die Fernmeldeleitungen sind tunlichst so zu führen, daß Kreuzungen und Annäherungen vermieden werden. Wenn dies nicht möglich ist, werden sie in Isolierrohre eingezogen oder bei Kreuzungen in ausgekehlten Holzbügeln über die Starkstromleitungen hinweggeführt.

(1383) **Mittelbare Gefährdung** (1368). Bei Kreuzungen und Näherungen der Fernmeldeleitungen mit dritten Leitungen, die an anderen Stellen mit Hochspannungsleitungen zusammentreffen, werden Schutzmaßnahmen nicht gefordert, sofern die dritten Leitungen im Gefahrenbereich der Hochspannungsleitungen wie unter (1368) angegeben gegen den Übertritt hochgespannter Ströme oder gegen das Entstehen von Hochspannung geschützt sind.

Maßnahmen in den Betriebstellen.

(1384) **Strom- und Spannungsschutz.** Jede vollständig oder teilweise oberirdisch geführte Telegraphenleitung und beide Zweige einer ebensolchen Fernsprech-Doppelleitung werden in den Betriebstellen mit Strom- und Spannungsschutz versehen, der zugleich als Schutz gegen atmosphärische Entladungen dient.

Als Stromschutz dienen bei allen Fernmeldeleitungen Grobsicherungen zu 8 A mit außenseitig angeschlossenem Schneidenblitzableiter (etwa 1500 V), bei Fernsprechleitungen außerdem Feinsicherungen (Hitzdrahtsicherungen mit auslötbarem Stift), die bei 0,25 A die Leitung nach 15 s an Erde legen.

Den Spannungsschutz bildet bei Teilnehmeranschlußleitungen ein Kohlenblitzableiter (600 bis 700 V), bei allen anderen Leitungen ein Luftleerblitzableiter (300 bis 350 V) oder ein Plattenblitzableiter (2000 bis 3000 V). Als Spannungsschutz wirkt ferner der mit den Grobsicherungen vereinigte Schneidenblitzableiter.

Bei oberirdischer Einführung in die Betriebstelle erhält jeder Leitungszweig von der Einführung aus an erster Stelle die Grobsicherung, dahinter bei Teilnehmeranschlußleitungen den Kohlenblitzableiter, bei allen anderen Leitungen den Luftleer- oder Plattenblitzableiter, alle Fernsprechleitungen außerdem zwischen dem Spannungsschutz und den Apparaten die Feinsicherung.

Verlaufen die Leitungen von der Betriebsstelle aus zunächst in einem Kabel und dann oberirdisch, so erhalten sie in der Betriebsstelle im allgemeinen nur Stromschutz, an der Überführungsstelle Spannungsschutz. Abweichend hiervon wird bei Teilnehmeranschlußleitungen in der Betriebsstelle der Spannungsschutz, an der Überführungsstelle der Stromschutz verwendet.

Störung der Fernmeldeleitungen durch andere Fernmeldeleitungen.

(1385) Arten der Störung. Infolge der hohen Empfindlichkeit der Empfangseinrichtungen in den Fernmeldeanlagen machen sich in diesen auch weniger starke, nur aus Fernmeldeleitungen infolge elektromagnetischer und elektrischer Induktion herrührende Einwirkungen störend bemerkbar. In erster Linie leiden hierunter die Fernsprechleitungen und bedürfen daher eines besonderen Schutzes zur Verhütung solcher Störungen.

Die Störungen in den Fernsprechleitungen können herrühren: aus Telegraphen-, Block- oder sonstigen Signalleitungen, aus anderen Fernsprechleitungen (Übersprechen), bei Mehrfachschaltungen aus den gemeinschaftlichen Stromkreisen (Mitsprechen), bei Simultantentelegraphenschaltungen aus dem Telegraphenstromkreis der eigenen Leitung.

(1386) Stärke der Störungen. Bei der gebräuchlichen Anordnung der Fernsprechleitungen auf Querträgern mit geraden und U-förmigen Stützen, wobei

a- und *b*-Draht in einer Ebene liegen, die etwa 40° zur Querträger-ebene geneigt ist, hält sich die Einwirkung der Fernsprechleitungen aufeinander im allgemeinen unterhalb der Störungsgrenze, sofern die Leitungen in Ordnung sind. Isolationsfehler begünstigen das Übersprechen ebenso wie Mängel im elektrischen Gleichgewicht der beiden Einzeldrähte der Doppelleitung. Dagegen besteht bei der gewöhnlichen Leitungsanordnung Mitsprechen zwischen Vierern usw. und Stammleitungen sowie Übersprechen von Vierer auf Vierer im allgemeinen auch bei gutem Leitungszustande in mehr oder weniger störendem Maße. Nach Pinkert (Tel.- u. Fernspr.-Techn., 4. Sonderheft, Mai 1919, S. 112) beeinflussen sich die Vierer eines Doppelgestänges nach Abb. 816. Die Zahlen neben den Vierern geben an, wie stark diese Beeinflussung aller Vierer durch den Vierer 1 in βl -Werten ausgedrückt ist. Die außerhalb des umrahmten Raumes liegenden Vierer können als ausreichend induktionsfrei gegen 1 angesehen werden. Dagegen müssen die im umrahmten Raum liegenden Vierer gegen 1 geschützt werden. Die Koppelung zwischen zwei Stammleitungen und dem aus ihnen gebildeten Vierer entspricht einem βl von 2,9.

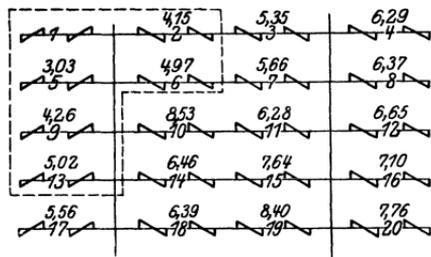


Abb. 816. Beeinflussung der Vierer (2—20) eines Doppelgestänges durch einen Vierer (1).

(1387) Induktionsschutz. 1. Fernsprechleitungen. Zur Beseitigung des störenden Über- und Mitsprechens sind die Fernsprechlinien mit Induktionsschutz zu versehen; dieser hebt auch die Telegraphierstörungen auf, die durch die unsymmetrische Lage der einzelnen Fernsprechrähte gegenüber der Telegraphenleitung hervorgerufen werden. Der Induktionsschutz beruht auf dem Kreuzungsverfahren. Wenn Abb. 817 zwei ungekreuzte Schleifen darstellt, dann verlaufen die in Schleife *B* aus *A* erzeugten Induktionsströme in der Richtung der Pfeile und beeinflussen den Empfangsapparat. Wird die eine Schleife (*A*)

nach Abb. 818 in der Mitte gekreuzt, so heben sich die in *B* aus *A* erzeugten Induktionsströme auf. Voraussetzung ist, daß die induzierten Ströme in beiden Hälften der Schleife *B* gleich sind. Für Fernsprechströme trifft dies in praktisch

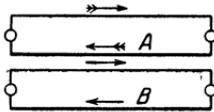


Abb. 817. Gegenseitige Beeinflussung zweier ungeschützter Schleifen.

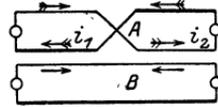


Abb. 818. Wirkung einer gekreuzten Schleife auf eine ungekreuzte Schleife.

ausreichendem Maße zu, wenn die Leitungslänge höchstens gleich einem Viertel der Wellenlänge des induzierenden Stromes ist. Die Wellenlänge der Fernsprechströme von durchschnittlich 800 Perioden beträgt auf den nicht pupinisierten Kupfer-

freileitungen etwa 360 km, auf pupinisierten rund

120 km. Demnach dürfen die durch eine Kreuzung zu

schützenden Strecken nicht mehr als 90 km oder 30 km

betragen. Aus Zweckmäßigkeitsgründen (um den einzelnen

Kreuzungsabschnitten runde Längen zu geben)

sind die Schutzstrecken auf 80 km und 16 km fest-

gesetzt. Um die in Abb. 816 umrahmten Stammleitungen

und Vierer gegen Induktion zu schützen, sind 4

verschiedene Kreuzungsfolgen für Vierer und 8 für

die zugehörigen Stammleitungen, im ganzen 12 Folgen

erforderlich. Sie verteilen sich auf das Gestänge nach

Abb. 819). Die gleichen Schutzfolgen liegen bei dieser

Verteilung so weit auseinander, daß die gegenseitige

Beeinflussung der Vierer unterhalb der Störungsgrenze

bleibt. Die erforderlichen 12 Schutzfolgen werden durch

wiederholte Unterteilung der Gesamtschutzstrecke nach

Abb. 820 gebildet (eine einfache Linie bedeutet eine

Doppelleitung oder ein aus den beiden voranstehenden Doppelleitungen gebildeten Vierer, ein Kreuz eine Kreuzung oder [beim Vierer] einen Platzwechsel). Der einzelne Kreuzungsabschnitt beträgt $\frac{80}{16} = 5$ km oder ein Vielfaches

davon, bei Pulinleitungen $\frac{16}{16} = 1$ km oder ein Vielfaches.

Gehen oberirdische, mit Induktionsschutz versehene Linien in Kabel über, so sind viererverseilte Kabel zu verwenden; sind solche nicht vorhanden, so sind die zu einem Viererstromkreise gehörenden Stammleitungen in benachbarte Doppeladern derselben Aderschicht so zu schalten, daß sie von dem nächsten Viererstromkreise durch zwei Doppeladern getrennt sind. Eindrähtige Fernsprechleitungen lassen sich gegen Störungen aus anderen Fernmeldeleitungen ohne Herabsetzung der Empfangslautstärke nicht schützen.

2. Telegraphenleitungen. Störenden Einwirkungen von Telegraphenleitungen aufeinander ist durch Herabsetzung der Batteriespannungen und Unterteilung der Leitung durch Übertragungen zu begegnen. In Simultanleitungen machen sich die Telegraphierströme um so störender bemerkbar, je stärker die Ströme sind, je steiler ihre Kurve verläuft und je schlechter das elektrische Gleichgewicht zwischen Erde und den beiden Drähten der Doppelleitung ist. Die Batteriestärken in Simultanleitungen sind daher so gering wie möglich zu bemessen; zur Abflachung der Telegraphierströme sind in die Zuführungen vom Telegraphensystem zum Ringübertrager besondere Abflachsätze einzuschalten (Abb. 821 a bis c). Mit Hughes betriebenen Simultankreisen ist außerdem zweckmäßig durch

Einschalten eines induktionsfreien Widerstandes von 500 bis 1000 Ω ein solcher Mindestwiderstand zu geben, daß die Stromstärke beim Abschneiden des Ankers

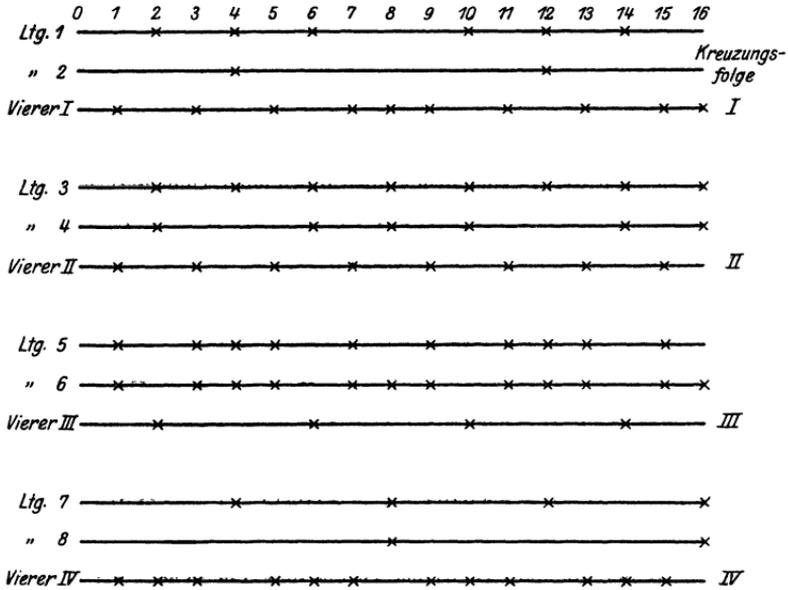


Abb. 820. Verteilung der Kreuzungen und Platzwechsel innerhalb einer Schutzstrecke auf die Doppelleitungen und Vierer.

im empfangenden Amte um nicht mehr als 50 vH ihres ursprünglichen Wertes ansteigen kann.

3. Kabel. Durch die Viererverseilung wird das Mit- und Übersprechen bereits weitgehend verhindert. In den Fernkabeln werden außerdem die noch verbleibenden geringen Ungleichheiten der Teilkapazitäten, durch die ein schwaches Nebensprechen verursacht wird, durch Einbau von Zusatzkondensatoren in der Größenordnung von 1000 cm und weniger ausgeglichen (1391, 1392). Telegraphie ist in den Fernkabeln nur in Doppelleitung mit Tonfrequenz zu betreiben, wobei die verwendeten Wechselströme in der Größenordnung der Fernsprechströme bleiben. In der gewöhnlichen Simultanschaltung ist nur die Vierertelegraphie, d. h. gleichzeitige Stromsendung über die vier Drähte eines Vierers zugelassen, sofern diese Verbindung nur dem Meldeverkehr im Fernsprechbetriebe (Summermeldebetrieb) dient; zur Herabsetzung der Batteriestärken auf höchstens 24 V (Amts-Zentralbatterie) sind in den Simultanstromkreis e. F. Übertragungen einzuschalten (bei den 1,4 mm-Adern alle 600 km, bei den 0,9 mm-Adern alle 300 km).

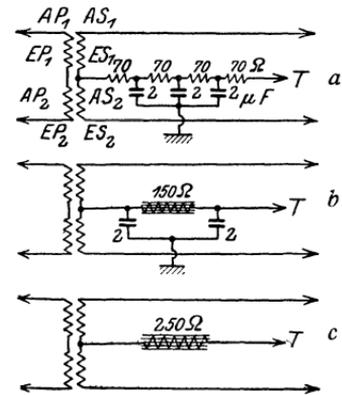


Abb. 821 a, b, c. Schaltungen zur Abflachung der Telegraphierströme in Simultalleitungen.

Belastung von Kabeln mit Selbstinduktivität und ihre Bauausführung.

Zur Erhöhung der Sprechweite in Kabeln dienen:

- a) die Einschaltung von Selbstinduktionsspulen in die Kabeladern (Verfahren nach Pupin),
- b) die Umwicklung der Kupferleiter mit Eisendraht (Verfahren nach Krarup).

(1388) Fernleitungskabel. Sie sind bestimmt zur unterirdischen Führung für oberirdische Fernleitungen, für Einführungs- und Zwischenkabel bei Verkabelungsstrecken. Von 3,5—15 km Länge werden Kabel mit 1,5 mm starken Kupferleitern und schwacher Pupinisierung ($Z = 535 \dots 640$) verwendet. Für Kabelstrecken über 15 km werden 2 mm starke Leiter mit stärkerer Pupinisierung ($Z = 1000$) benutzt. Für die schwache Pupinisierung werden Spulen mit den nachfolgend angegebenen Werten verwendet.

Spulenart	Selbstinduktivität H	Gleichstromwiderstand Ω	Wirkwiderstand Ω
Stammspule I	0,05	1,75	2,85
„ II	0,03	1,2	1,9
Viererspule I	$2 \times 0,02$	$2 \times 0,7$	$2 \times 1,1$
„ II	$2 \times 0,012$	$2 \times 0,45$	$2 \times 0,7$

Die Durchschnittswerte der Dämpfung des Wellenwiderstandes und der Grenzfrequenz der Stammleitungen bei Verwendung von Spulen mit 0,03 und 0,05 H, bei Spulenabständen von $s = 1,9 \dots 3,5$ und $3,5 \dots 5,5$ km ergeben

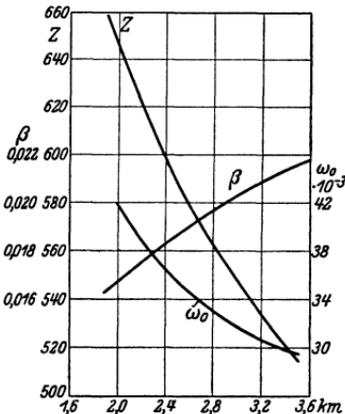


Abb. 822. Elektrische Eigenschaften mit 0,03 H belasteter Stammleitungen.

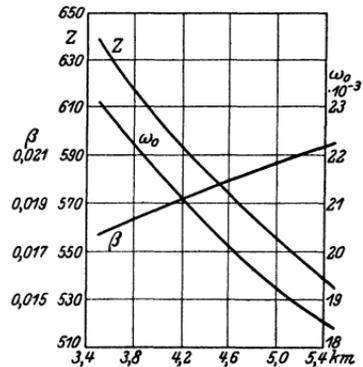


Abb. 823. Elektrische Eigenschaften mit 0,05 H belasteter Stammleitungen.

die Abb. 822 u. 823. Für die Belastung der Vierersprechkreise werden bei schwacher Pupinisierung Spulen von $2 \times 0,02$ H bzw. $2 \times 0,012$ H verwendet, je nachdem die Stammleitungen mit Spulen von 0,05 H oder mit Spulen von 0,03 H belastet sind. Die elektrischen Eigenschaften derartiger mit Induktivität belasteter Viererleitungen in Abhängigkeit von dem Spulenabstand ergeben die Abb. 824 u. 825. (Näheres Feist, Telegraphen- und Fernsprechtechnik 1923, 12. Jahrg. S. 32; derselbe, Telegraphen- und Fernsprechtechnik 1925, 14. Jahrg. S. 205.)

Kabel mit Schnellverkehrsleitungen, die auch als Fernleitungskabel gelten, werden durchweg stark pupinisiert. Die Spulenwerte entsprechen für die 0,9 und 1,4 mm starken Leiter ungefähr denen der Fernkabelspulen. Der Wellen-

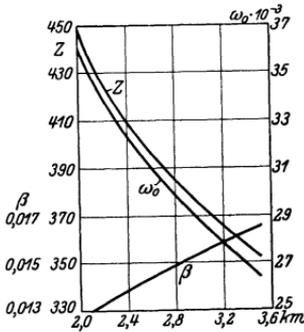


Abb. 824. Elektr. Eigenschaften mit $2 \times 0,012$ H belasteter Viererleitungen.

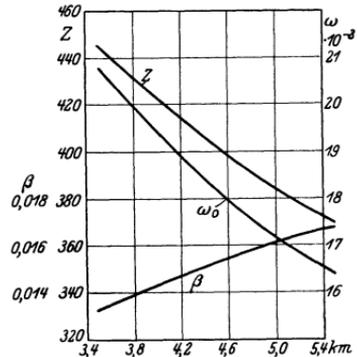


Abb. 825. Elektr. Eigenschaften mit $2 \times 0,02$ H belasteter Viererleitungen.

widerstand ist $1600 \dots 1700 \Omega$, die spezifische Dämpfung $0,009 \dots 0,025$, die Grenzfrequenz rund 16000. (Näheres Feist: Telegraphen- und Fernsprechtechnik 1925, 14. Jahrg. S. 205.)

Die Anpassung von Kabelleitungen an oberirdische Leitungen erfolgt bei sehr verschiedenem Wellenwiderstand unter Umständen durch besondere Übertrager in der Schaltung der Abb. 826, welche die Messung der Leitung in Störungsfällen über den Überträger hinweg ermöglicht.

(1389) Fernkabel dienen der vollständigen unterirdischen Führung von Fernsprechleitungen für den Weitverkehr mit Verstärkern. Als Hauptnormalkabel werden verwendet:

a) 98-paarige Kabel in Dieselhorst-Martin-Versieilung. Aufbau: Bleiumprefreß Kernvierer aus 0,9 mm starken Kupferadern als Meßleitungen für Fehlerortsbestimmungen, für Dienstbetrieb zwischen den Verstärkerämtern und als Übertragungsleitung zwischen Rundfunksendern. Um den Kernvierer werden 48 Vierer in drei Lagen aufgebracht: 1. Lage: 7 Vierer, 1,4 mm starker Kupferleiter; 2. Lage: 13 Vierer, 1,4 mm starker Kupferleiter; 3. Lage: 28 Vierer, 0,9 mm starker Kupferleiter;

b) 166-paarige Kabel wie unter a), jedoch mit einer 4. Lage aus 34 Vierern 0,9 mm starker Leiter. Die Kabelquerschnitte zeigen die Abb. 827 u. 828.

Die Mehrzahl der Stamm- und Viererleitungen wird stark pupinisiert. Für den Weitverkehr über 900 km wird eine Anzahl von Sprechkreisen schwach belastet. Die elektrischen Eigenschaften der Leitungen ergibt nachstehende Tafel. (Dohmen: ETZ 1924, S. 89. — Derselbe: Das Fernkabel, Heft 7, S. 28.)

Im Ausland werden auch Fernkabel mit Sternversieilung verwendet. Über ihren Aufbau s. Lüschen: Das Fernkabel Heft 10, S. 29, ferner Droste ebenda S. 16 und Jordan S. 23.

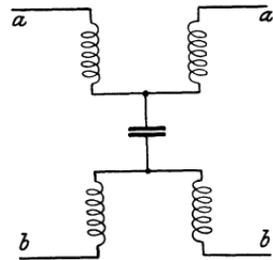


Abb. 826. Übertragerschaltung.

Leiter- durch- messer	Doppelleitungen			Vierersprechkreise		Isolations- widerstand einer Ader gegen die andern und Erde
	Leitungs- wider- stand	Sollwert der Schleifen- kapazität	Ableitung	Sollwert der Schleifen- kapazität	Ableitung	
mm	Ω/km bei 20° C	$\mu\text{F}/\text{km}$	$\mu\text{S}/\text{km}$	$\mu\text{F}/\text{km}$	$\mu\text{S}/\text{km}$	
1,4	23,8	0,0355	0,85	0,0585	1,5	mindestens 5000 $M\Omega/\text{km}$
0,9	57,6	0,0335	0,80	0,054	1,4	

Zur Vermeidung von Unregelmäßigkeiten im Wellenwiderstand der verlegten Kabel muß die Betriebskapazität aller Stromkreise der Fernkabel in den einzelnen Spulenfeldern möglichst gleich sein. Deshalb ist es erforderlich, daß der Kapazitätsmittelwert für die einzelnen Lagen der Fabrikängen innerhalb

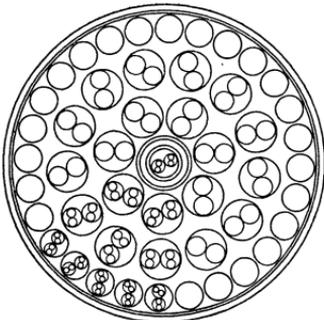


Abb. 827. Querschnitt eines 98-paarigen Fernkabels.

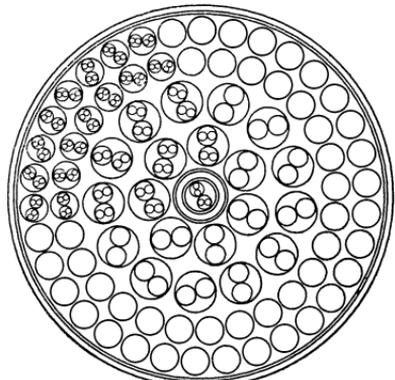


Abb. 828. Querschnitt eines 166-paarigen Fernkabels.

bestimmter enger Grenzen, nicht über ± 4 vH des Sollwerts, gehalten wird. Die Betriebskapazität soll von dem Mittelwert der einzelnen Lagen bei den 1,4 mm-Leitern nicht mehr als ± 3 vH, bei den 0,9 mm starken Adern nicht mehr als ± 5 vH abweichen. Ausgeführte Messungen zeigen, daß diese Grenzen bei sorgfältiger Herstellung eingehalten werden können.

Die das Über- und Mitsprechen in Vierern verursachenden kapazitiven Kopplungen k_1 , k_2 und k_3 müssen möglichst gering sein.

Der Regelabstand der Spulen beträgt im deutschen Fernkabelnetz 2 km, im Ausland häufig 1830 m. Die erste Spule hinter jedem Verstärkerarm wird in einem Abstand von $\frac{s}{2}$ gesetzt, wenn s der Regelabstand ist. Abweichung des Spulenabstandes verschiedener Verstärkerfelder bis zu ± 2 vH. sind unbedenklich (Dohmen; ETZ 1924, S. 90. — Derselbe: Das Fernkabel, Heft 7, S. 33. — Spulenergebnisse für starke und schwache Pupinisierung (1388).

(1390) **Pupinspulen.** Die Pupinisierung der Doppelsprechkreise nach A. Ebeling zeigt die schematische Skizze der Abb. 829. Der Viererkreis wird durch die Doppelspulen B belastet; für jeden Vierer sind also zwei Stamm- und zwei Viererspulen erforderlich. Beide Wicklungen jeder Spule sind gleichmäßig über den ganzen ringförmigen Kern verteilt. Der Kern besteht aus 0,1 mm

starkem legiertem Stahldraht. Die Wicklungen aus isoliertem Kupferdraht werden unter vollkommener Ausnutzung des Wickelraums aufgebracht. Durch Einbau der Spulen in Metallkappen wird die magnetische Streuung unschädlich gemacht.

Der Verstärkerbetrieb erfordert eine weitgehende Übereinstimmung der Induktivitätswerte der einzelnen Spulen. Zur Herabsetzung des Mitsprechens ist eine große Symmetrie der Wicklungshälften notwendig. Ähnliche scharfe Forderungen sind an die Gleichheit der Wirkwiderstände in den beiden Wicklungshälften zu stellen. Die Abhängigkeit der Dämpfung b des Mitsprechens von der Induktivitäts- und Wirkwiderstandsdifferenz veranschaulicht Abb. 830.

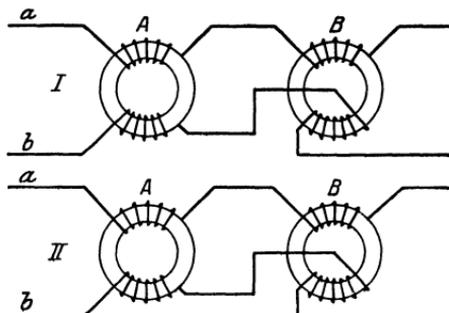


Abb. 829. Belastung von Doppelsprechkreisen und Vierkreis.

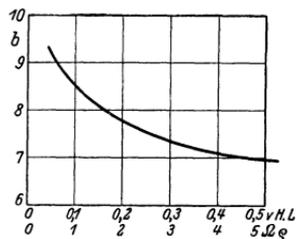


Abb. 830. Abhängigkeit des Mitsprechens von Spulensymmetrien.

Die geringe magnetische Stabilität der Drahtkernspulen gefährdet den Verstärkerbetrieb. Infolge Verminderung der Induktivität der Spulen bei Gleichstrommagnetisierung in Kabellinien entlang elektrisierter Eisenbahnen können durch Ausgleichsvorgänge oder Kurzschlüsse Gleichstromstöße bis zu 1 A auftreten. Die durch Gleichstrommagnetisierung der Drahtkernspulen entstehende

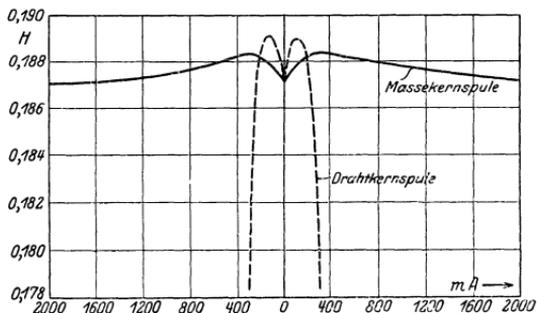


Abb. 831. Abhängigkeit der Spuleninduktivität von Gleichstrombelastung.

dauernde Änderung der Induktivität zeigt die Abb. 831. Simultantelegraphie ruft durch überlagerte Magnetisierung, die im Takte der Telegraphierzeichen die reversible Permeabilität der Drahtkerne und damit die Induktivität ändert, Störungen der Sprechverbindungen hervor, sofern es sich um Verbindungen über 1000 km Länge handelt (sogenannter Flattereffekt).

Den gesteigerten Anforderungen entsprechen Spulen mit Massekern. Die Kerne werden aus Eisenpulver, das mit geeignetem Isoliermaterial vermischt ist,

unter einem Druck von mehreren tausend Atmosphären gepreßt. Die Spulen mit Massekern haben eine wesentlich geringere Abhängigkeit des Verlustwiderstandes von der Frequenz als die Drahtkernspulen. Einen Vergleich beider Spulenarten gibt Abb. 832. Die Änderung der Induktivität durch Belastung beider Wicklungen durch 2 A Gleichstrom beträgt bei Massekernspulen nur 2 vH, während bei Drahtkernspulen bei 0,3 A die Induktivität um rund 40 vH vermindert wird. Abb. 831 enthält die Vergleichskurve. Ebenso ist die Änderung der Induktivität der Massekernspulen infolge der dem Wechselstrom überlagerten Magnetisierung sehr gering. Die Einzelheiten läßt die Abb. 833 für beide Spulenarten erkennen. (Hörning: Siemens-Zeitschrift 1924, S. 274. — Derselbe: ETZ 1924, S. 181. — Ehlers: Zeitschrift für techn. Phys. 1924, S. 589. — Derselbe: ENT 1925 Heft 5. — Derselbe: AEG-Mitteilungen 1925, S. 240. — Fondiller: Electr. Communication Bd. 4, S. 24. — Speed und Elmen: J. Am. Electr. Eng. 1921, S. 596.)

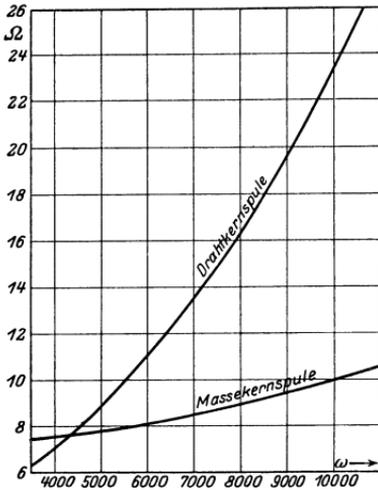


Abb. 832. Verlustwiderstand von Spulen in Abhängigkeit von der Frequenz.

besondere Viererspulen. Die beiden Spulen für je zwei Stammlleitungen besitzen auf jeder Hälfte ihres ringförmigen Kerns eine zur Einschaltung in einen Stammlleitungszweig bestimmte Wicklungshälfte. Der Windungssinn ist ein solcher, daß durch die in den Stammzweigen entgegengesetzt gerichteten Ströme der Stammgespräche ein geschlossenes magnetisches Feld in dem Kern entsteht. Bei den in den Zweigen jeder Stammlleitung gleichgerichteten Strömen der Vierer

Die Pleijel-Spule ermöglicht die Belastung der Viererstromkreise ohne

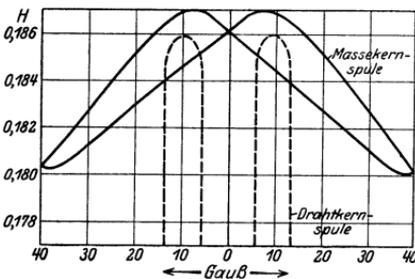


Abb. 833. Magnetische Stabilität von Spulen.

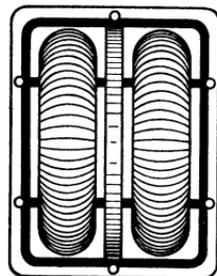


Abb. 834. Pleijel-Spule.

sind die magnetischen Felder in den Kernhälften entgegengesetzt gerichtet. Die Streufelder der Spulen gehen ineinander über und bilden so das Viererfeld. Durch Zusatzwicklungen kann das Verhältnis von Vierer- zur Stammlinduktivität geändert werden. Abb. 834 zeigt die Anordnung der Spulen zueinander. Die von Professor Fleijel in Stockholm angegebenen und nach ihm benannten Spulen sind von der Felten & Guilleaume A -G. weiter entwickelt und in eine praktisch brauchbare Ausführungsform gebracht worden. Durch besondere Schutzmittel

wird das Nebensprechen innerhalb der Paare und zwischen Nachbarpaaren beseitigt. (Näheres siehe Schürer: Das Fernkabel 1922, Heft 1, S. 19. — Derselbe: ETZ 1924, S. 213. — Derselbe: Das Fernsprechen im Weitverkehr, deutsche Beiträge zur Frage des europäischen Fernsprechnetzes 1923, S. 73.)

(1391) Abgleichverfahren zur Beseitigung von Induktionsstörungen. Der Verstärkerbetrieb erfordert eine weitgehende Verminderung des Nebensprechens, weil das Nebensprechen bei hintereinandergeschaltetem Verstärker bei Annahme gleicher Nebensprechdämpfung in allen einzelnen Verstärkerfeldern um $\ln(n+1)$ vergrößert werden kann. Bei 1,4 mm starken Leitern und 150 km Verstärkerabstand ergibt sich bei zunehmender Leitungslänge eine aus nachstehender Tafel ersichtliche Verminderung der im Kabel selbst bestehenden Nebensprechdämpfung $b = 6,5$.

Leitungslänge = km	0	300	600	900	1200	1500
Nebensprechdämpfung $b =$	6,5	5,8	5,1	4,7	4,4	4,2

Die das Nebensprechen verursachenden Unsymmetrien bestehen in Verschiedenheiten der Teilkapazitäten zwischen den Adern eines Vierers. Man bezeichnet mit k_1 die Kopplungen zwischen den beiden Stammleitungen, mit k_2 und k_3 die zwischen Vierer und Stamm 1 oder Stamm 2. Die kapazitiven Kopplungen werden in $\mu\mu\text{F}$ gemessen. Das bei dem Kabelvierer maßgebende Schema

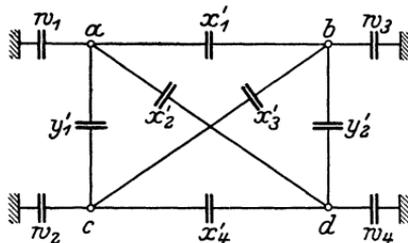


Abb. 835. Kapazitive Koppelungen im Vierer.

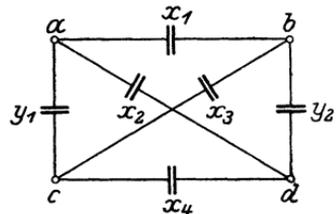


Abb. 836. Ersatzschema für die Koppelungen im Vierer.

der Teilkapazitäten (Abb. 835) läßt sich auf Grund der allgemeinen Formeln für die Umwandlung vierstrahliger Sterne durch das Schema der Abb. 836 ersetzen. (Siehe Küpfmüller: Wissenschaftliche Veröffentlichungen aus dem Siemens-Konzern Bd. 3, Heft 1, 1923.) Es ist:

$$x_1 = x'_1 + \frac{w_1 \cdot w_3}{\Sigma w}$$

$$x_2 = x'_2 + \frac{w_1 \cdot w_4}{\Sigma w} \text{ usw.}$$

Dann ist:

$$k_1 = x_1 - x_2 - x_3 + x_4 = x'_1 - x'_2 - x'_3 + x'_4 + \frac{(w_1 - w_2)(w_3 - w_4)}{\Sigma w},$$

$$k_2 = x_1 + x_2 - x_3 - x_4 = x'_1 + x'_2 - x'_3 - x'_4 + \frac{w_1 - w_2}{2} \left(1 + \frac{w_3 + w_4 - w_1 - w_2}{\Sigma w} \right),$$

$$k_3 = x_1 - x_2 + x_3 - x_4 = x'_1 - x'_2 + x'_3 - x'_4 + \frac{w_3 - w_4}{2} \left(1 + \frac{w_3 + w_4 - w_1 - w_2}{\Sigma w} \right).$$

Aus dieser Beziehung ergibt sich der Einfluß der Erdkapazitäten auf die Kopplung.

Die Kompensation des Nebensprechens erfolgt durch Kondensatoren, die für jedes Spulenfeld in die vier Eckseiten zwischen die vier Leiter gelegt werden, so daß die drei Kopplungen k_1 , k_2 und k_3 gleich Null werden. Für den Ausgleich genügen in jedem Falle drei Zusatzkondensatoren. Die Vergrößerung der Betriebskapazität durch die Zusatzkondensatoren beträgt für den Vierer bei etwa $0,06 \mu\text{F}/\text{km}$ 1 vH: für die Stammleitung ist sie noch geringer.

Durch den Kondensatorausgleich ist bis zu einem gewissen Grade auch die Kompensation der Unsymmetrie in der Induktivität der Spulenhälften möglich. Außerdem läßt sich durch Veränderung der Zusatzkondensatoren ein geringer Unterschied in den Wirkwiderständen der a- und b-Adern ausgleichen. Zu diesem Zweck ist der Ausgleich „unter Strom“ auszuführen, wobei das Ende des Kabels mit einem dem Wellenwiderstand der Leitung entsprechenden Widerstand abzuschließen ist (Küpfmüller: Arch. Elektrot. Bd. 12, 1923, Heft 2. — Dohmen und Küpfmüller: ETZ 1924, S. 266. — S. A. Pollock: Post office el. Eng. J. Bd. 7, S. 41 — Engelhardt: Das Fernkabel 1923 Heft 4, S. 33 — Dohmen und Deibel: Das Fernkabel 1925 Heft 9, S. 39—45). Die durch den Kapazitätsausgleich für einen Vierer eines Fernkabels erzielten Dämpfungswerte des Nebensprechens betragen mit Sprache gemessen im Mittel: für das Übersprechen (Stamm auf Stamm) $b=10,5$, für das Mitsprechen (Stamm auf Vierer) $b=9,3$ bei mittelstarker Belastung.

Während das Nebensprechen an demjenigen Ende des Kabels festgestellt wird, an welchem in einen Stromkreis ein Prüfstrom geschickt wird, versteht man unter Gegennebensprechen dasjenige, welches dabei am anderen Ende des Kabels auftritt. Infolge der wellenförmigen Fortpflanzung auf einem Leitungsstück von der Länge eines Spulenstückes ergeben sich verschiedene Bedingungen für die Freiheit von Gegensprechen und Gegennebensprechen. Ferner sind Spulensymmetrien von Einfluß auf das Gegennebensprechen. Der Abgleich muß für Neben- und Gegennebensprechen die gleichen Mittelwerte ergeben. Für das Übersprechen zwischen Sprechkreisen benachbarter Vierer ist wegen der durch den Vierdraht-Verstärkerbetrieb bedingten Vergrößerung des Nebensprechens ein mittlerer Dämpfungswert von mindestens $b=9,5$ erforderlich. U. U. ist der Kondensatorausgleich auch für die Nachbarvierer auszuführen.

Über Messung des Nebensprechens s. auch U. Meyer TFT 1926, S. 1.

(1392) Kabellegung. Erdkabel werden 70 .. 80 cm tief in die Erde gelegt. Abdecken erfolgt, soweit hierfür eine Notwendigkeit vorliegt. Fernkabel werden als Röhrenkabel nur soweit in Zementkanäle eingezogen, als solche in Städten vorhanden sind. Zur Verminderung der Korrosion werden die Kabel außerhalb der Städte als Erdkabel verlegt. Die Verbindung der Kabeladern der einzelnen Längen erfolgt bei stärkeren Adern durch Verlötung unter Verwendung von geschlitzten Kupferhülsen. Die dünneren werden verwürgt und an den Spitzen der Würgestellen gelötet. Die Adern der Fernleitungskabel werden entweder in geschlitzten Kupferhülsen zusammengelötet oder durch Einklemmen in prismatische Kupferhülsen miteinander verbunden. Der mit besonderem Bleimantel umgebene Kernvierer in den Fernkabeln ist an den Verbindungsstellen mit einer besonderen Bleimuffe zu schützen. Die allgemeine Lötstelle wird mit einer Bleimuffe umgeben, die mit Isoliermasse ausgegossen wird. Bei Röhrenkabeln innerhalb der Städte werden die Muffen nicht ausgegossen, um das Kabel beim Auftreten von Wasserfehlern mit Druckluft behandeln zu können. In jedem zweiten Spulenfeld wird jedoch eine Lötstelle als Stopfen ausgegossen. In neuerer Zeit werden auch bei den als Erdkabel verlegten Fernkabeln die Lötstellen mit luftdurchlässigem Kern gearbeitet, um die Kabeladern beim Öffnen der Lötstellen schneller zugänglich zu machen. In diesen Fällen erhält nur die Verbindung zwischen Erd- und Röhrenkabel eine Stopfmuffe. Bei Erdkabeln wird um die Bleimuffe eine Eisenmuffe gelegt und der Zwischenraum zwischen Bleimuffe und Eisenmuffe mit Masse ausgegossen.

Die Spulenkästen werden meist senkrecht eingebaut (siehe Telegraphenbauordnung der Deutschen Reichspost Abschnitt III, S. 143). Die Verbindung der Kabeladern mit den Spulen erfolgt in der Muffe des Spulenkastens wie in einer gewöhnlichen Muffe. Zur Verbindung werden Kupferhülsen oder geschlitzte Kupferröhrchen verwendet. In letzterem Falle, bei Fernkabeln allgemein, findet eine Verlötung statt. Der Kernvierer der Fernkabel erhält auch im Spulenkasten besondere Lötmuffen. Zu diesem Zweck sind die Zuleitungen der Kernviererspulen mit Bleirohrkabel aus dem Inneren des Spulenkastens herausgeführt. Die Muffe des Spulenkastens wird nicht ausgegossen, wohl aber der Zwischenraum zwischen der inneren Muffe und der eisernen Schutzmuffe.

Die Zusatzkondensatoren werden in besondere Kästen eingebaut, die den Spulenkästen im Äußeren gleichen. Die Schaltelemente befinden sich in dem inneren Zinkkasten. Die einzelnen Kondensatoren können zu je drei für jeden Vierer in das Schaltelement eingesetzt werden. Die Ausführung eines Kastens

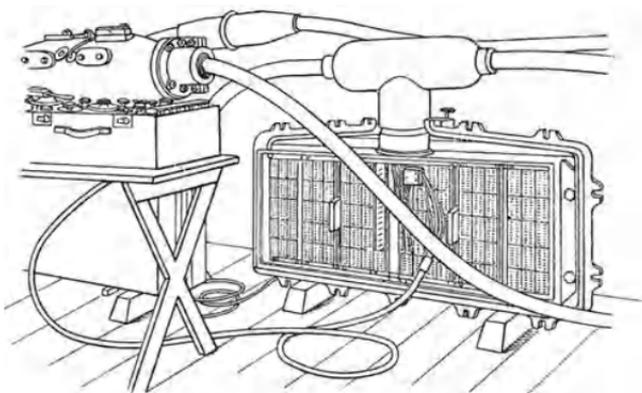


Abb. 837. Kondensatorabgleich im Kasten.

zeigt Abb. 837. (Engelhardt: Das Fernkabel 1924, Heft 5, S. 24.) Bei der neueren Ausführung werden die Kondensatoren in einer Muffe untergebracht. Sie werden parallel zum Kabel gürtelförmig um dieses herumgelegt, wie dies Abb. 838 erkennen läßt. (Dohmen und Deibel: Das Fernkabel 1925, Heft 7, S. 45.)

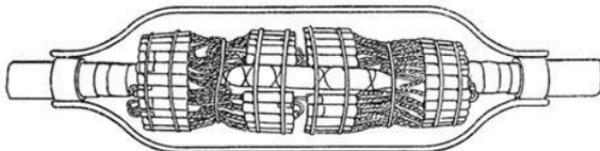


Abb. 838. Kondensatorabgleich in der Muffe.

An den Enden der Hauptstrecke und an den Verstärkerämtern werden die Kabel durch Endverschlüsse abgeschlossen. In besonders feuchten Räumen verwendet man Ölendverschlüsse.

(1393) **Krarup-Kabel.** a) Landkabel. Für Kabelstrecken zur unterirdischen Führung von Fernleitungen in Städten, Flußdurchschreitungen usw., deren Länge unterhalb der Mindestlänge eines Spulenfeldes liegt, bei schwacher Pupinisierung also unterhalb 3 km, werden Krarup-Kabel mit 1,2 mm starken Leitern und einer

Umspinnung von 0,3 mm starkem Eisendraht verwendet. Die Selbstinduktivität ist 0,0135 H für 1 km, $Z = 630 \cdot e^{-i12,6^\circ}$, $\beta = 0,0261$. (Feist, Telegraphen- und Fernsprechtechnik 1923, 12. Jahrg., S. 33).

b) Seekabel. Sie dienen zur Verbindung der Küsten mit den vorgelagerten Inseln auf verhältnismäßig kurze Entfernung. Der Kupferleiter bzw. die Kupferlitze ist mit einer Lage 0,3 mm Eisendraht oder mit 2 Lagen von 0,2 mm Stärke bewickelt. Bei Verwendung von Fernsprechverstärkern können auch größere Entfernungen überbrückt werden, z. B. Leba—Tenkitten, 169,6 km, Leba—Pillau, 172,2 km. Die Dämpfungskonstante der beiden Kabel ist 0,0128 bzw. 0,0123. (Näheres über die Bauart und die sonstigen elektrischen Eigenschaften der Seekabel siehe Schurer: Das Fernsprechen im Weitverkehr S. 46. — Derselbe: Deutsche See-Fernsprechkabel in 25jähriger Entwicklung, herausgegeben vom RPM. — Derselbe: ETZ 1924, S. 119. — Müller: ETZ 1921, S. 333. — Petritsch: El. u. Maschinenb. 1923, Heft 33. — Rosen: Proc. of the institution 1922, S. 73.)

c) Ozeankabel. Als Telegraphenkabel erhält der Kupferleiter eine Bespinnung mit einem aus Eisen-Nickellegierung bestehenden Draht. Die Western Union Telegraph Co. verwendet hierzu sogenanntes Permalloy, eine Legierung aus 78,5 vH Nickel und 21,5 vH Eisen. (La Revue des Téléph., Télégr. et T. S. F. 1924 S. 774.) In Deutschland sollen Versuche mit einer Legierung aus 47 vH Nickel und 53 vH Eisen, Invariant genannt, gemacht werden. Über die erreichbare Telegraphiergeschwindigkeit auf Ozean-Krurup-Kabeln, die Theorie und die Bauart siehe Wagner: Schnelltelegraphie auf Ozeankabeln, ENT, Bd. 1, S. 114.

(1394) Übersicht über die Meßgeräte für Messungen an Pupinkabeln. Frankesche Maschine zum Messen der spezifischen Dämpfung durch Leerlauf und Kurzschlußmessungen und des Nebensprechens durch Messung von Spannung am Anfang der induzierenden und der induzierten Leitungen; (1045) und (1046).

Wechselstrom-Meßbrücke nach Thomas-Kupfmüller zur Messung des Wellenwiderstandes bei Abschluß des Leitungsendes durch einen dem Scheinwiderstand der Leitung entsprechenden Ohmschen Widerstand und zur Ausführung von Leerlauf- und Kurzschlußmessungen. Die Brücke kann gleichzeitig zur Bestimmung der Meßfrequenz in der Resonanzschaltung verwendet werden. Als Stromquelle dient ein Röhrensummer. Die Wechselspannung wird durch einen geschirmten Übertrager oder durch eine besondere Symmetriereinrichtung mit veränderlicher Kapazität und veränderlichen Widerständen gegen Erde symmetrisch gemacht. Näheres über Theorie und Schaltung siehe Kupfmüller und Thomas: ETZ 1922, S. 461; s. auch (1039).

Kopplungsmesser zum Messen der kapazitiven Kopplungen in den Fernsprechkreisen eines Kabels zur Bestimmung der Größe der erforderlichen Ausgleichskondensatoren. Mit einem besonderen Zusatzgerät lassen sich auch die Kopplungen zwischen benachbarten Vierern bestimmen. Kaspareck: TFT 1923, S. 51. — Kaspareck: Z. f. Fernmeldetechn. 1924, Heft 8.

Ableitungsmeßbrücke nach K. W. Wagner zur Messung der Kapazität und Ableitung an Fabrikklängen der Kabel. Näheres über die Meßmethode siehe Wagner: ETZ 1911, S. 1001 und ETZ 1912, S. 635, auch Mitt. a. d. Telegraphenversuchsamt Bd. 6, S. 156 und Bd. 7, S. 65 (1038).

Meßbrücke nach Kühle zur Bestimmung der Kapazität. Die Brücke ist unabhängig von unsymmetrischen Kapazitäten der Stromquelle. Wegen der Möglichkeit, auch die Ableitung zu messen, siehe Kühle: ETZ 1922, S. 1205. — Kühle: TFT 1925, S. 5 (1046) und (1047).

Fernsprecheileitung nach Kupfmüller nach Feststellung der Dämpfungszahl des Mit- und Übersprechens, des Gegenübersprechens und der Dämpfungszahl der Fernkabelleitungen durch Vergleich mit einer einstellbaren Widerstandskunstleitung mit einem dem Wellenwiderstand der Leitung anpaßbaren Endwiderstand. Siehe Kaspareck: TFT 1923, S. 63. — Lüschen und

Küpfmüller: Wissensch. Veröffentl. a. d. Siemenskonzern 1922, Bd. 2, S. 407. (1048).

Fernsprechleitung nach Breisig zur Feststellung der Dämpfungszahl des Mit- und Übersprechens in kurzen Fernsprechkabeln durch Vergleich mit einer einstellbaren Kondensatorkunstleitung. Über die Theorie der Eichleitung siehe Breisig: ETZ 1921, S. 933 (1048).

Roskett zur Unterdrückung der störenden Oberschwingungen der Wechselstromquelle. Kasparek: TFT 1923, S. 48.

Wechselstrommeßbrücke nach Dolezalek zur Bestimmung der elektrischen Eigenschaften von Pupinspulen.

Meßornister zur Ausführung von Gleichstrommessungen während der Streckenarbeiten.

Röhrensummer zur Erzeugung von Wechselströmen in der Größenordnung und mit der Frequenz der Sprechströme (Bereich 500 bis 3500 Hertz) mit Hilfe der Rückkopplungserscheinung in Elektronenverstärkerröhren. Wechselstromleistung etwa 0,5 W. Kasparek: TFT 1923, S. 47.

Magnetsummer für Strommessungen mit einer einzigen mittleren Sprechfrequenz, z. B. bei Nebensprechmessungen. Kasparek: TFT 1923, S. 48.

Meßbrücke für Erdkapazitätsausgleich zur Bestimmung der Erdkapazität der vier Adern eines Kabels. Kasparek: TFT 1923, S. 52 (1048).

Streckendämpfungsmesser zur Ermittlung der Restdämpfung einer Fernleitung in Abhängigkeit von der Frequenz der Sprechströme. Durch Messen der Spannung am Anfang und Spannung am Ende und durch Vergleich einer künstlichen Leitung läßt sich die wirksame Dämpfung der über die Leitung fließenden Sprechströme für jede beliebige Frequenz innerhalb des Frequenzbandes der menschlichen Sprache ermitteln. (1048).

Die Herstellung der Meßgeräte erfolgt durch verschiedene Firmen, die auch Kabel, Spulen und Zubehör liefern.

Für Verstärkerämter werden in Deutschland in neuerer Zeit besondere Meßschranke aufgestellt, die folgende Geräte enthalten: Röhrensummer für den Bereich $f=160 \dots 4800$, Drosselketten mit 7 Stufen für vorstehenden Frequenzbereich, Frequenzmesser mit unmittelbarer Ablesung der Frequenz, Nebensprechdämpfungsmesser, Pegel-, Strecken- und Schleifendämpfungsmesser mit Rohrvoltmeter und zugehörigem Ableseinstrument und Meßgerät für Widerstand- und Isolationsmessung.

Zur Instandsetzung beschädigter Fernkabel werden besondere Meßkraftwagen verwendet, in die erforderlichen Meßgeräte eingebaut sind. Näheres s. das Fernkabel Jahrg. 1926 Heft 10 S. 11.

Anpassung von Übertragern an Fernleitungen.

(1395) Der Ringübertrager in Fernleitungen. Die Fernleitungen werden gegen das Amt stets mit einem Ringübertrager abgeschlossen. Oft dienen Ringübertrager zur Verbindung und Anpassung von Fernleitungen mit sehr verschiedenen Wellenwiderständen, wie z. B. eines normal pupinisierten Fernkabels vom Wellenwiderstand 1600 bis über 2000 Ω mit einer Freileitung von ungefähr 600 Ω Wellenwiderstand. Zwischen Verstärker und Fernleitung werden grundsätzlich Übertrager geschaltet. Neuerdings wird oft der Fall eintreten, wo diese zugleich den Wellenwiderstand des Normalfernkabels für die Stammleitungen auf die Hälfte, also 800 Ω , herabsetzen sollen.

(1396) Unterschied zwischen Starkstromtransformator und Ringübertrager. Ein Starkstromtransformator wird stets für eine bestimmte Eingangsspannung und eine bestimmte Frequenz gebaut und soll hierbei einen möglichst guten Wirkungsgrad, der allein durch die Erwärmung bedingt wird, aufweisen. Deshalb arbeitet er mit großen Eisenverlusten, das Eisen wird bis zum Knick der Magnetisierungskurve beansprucht.

Der Fernsprechringübertrager dagegen soll gleichzeitig einen großen Frequenzbereich, etwa von 200 Hertz bis 5000 Hertz für Sprechstrom und 25 Hertz für Rufstrom bei den verschiedensten Eingangsspannungen, gleichmäßig und gut übertragen, wohingegen die zu übertragenden Leistungen so gering sind — etwa bis 2 W für Sprechstrom und bis 10 W für Rufstrom —, daß eine Erwärmung gar nicht in Frage kommt und der Ringübertrager im Verhältnis zum Starkstromtransformator sehr geringe Abmessungen aufweist. Das Eisen wird weit unter dem Knick der Kurve magnetisiert und damit werden die Eisenverluste so gering, daß bei Belastung eine nur sehr geringe Abhängigkeit von der Eingangsspannung besteht. An Stelle des Wirkungsgrades wird die Güte des Übertragers, d. h. das Geringhalten der Eigenverluste durch das Dämpfungsmaß angegeben, das in Verbindung mit der Angabe der Wellenwiderstände besser das Arbeiten der Ringübertrager in Fernleitungen charakterisiert als die alleinige Angabe des Wirkungsgrades.

Eine weitere wichtige Forderung an den Ringübertrager im Gegensatz zum Starkstromtransformator ist seine Anpassung an die angeschlossenen Fernleitungen und der dadurch vermittelten Anpassung von Leitungen verschiedener Wellenwiderstände.

(1397) Anforderungen an den Ringübertrager. Entsprechend seinem Verwendungszweck sind auch die Anforderungen, die man an die Ringübertrager stellen muß. Um die Übertragung nicht zu verschlechtern, darf der Ringübertrager die Gesamtdämpfung nur möglichst wenig beeinflussen. Weiter soll er an die zu verbindenden Leitungen angepaßt sein, d. h. er soll die Leitung mit ihrem Wellenwiderstand abschließen. In diesem Falle wird eine Reflexion der hinlaufenden Welle am Ende vermieden und der Anfangsscheinwiderstand der Leitung ist gleich seinem Wellenwiderstand.

Seit dem Aufkommen der Verstärker in Fernleitungen ist es besonders wichtig, an Stoßstellen in der Leitung durch möglichst gute Anpassung die Reflexionen so zu verringern, daß die Schwankungen des Eingangsscheinwiderstandes um den Wellenwiderstand der Leitung möglichst klein werden. Nur dann ist es möglich, die Leitung für den Zweidrahtverstärkerbetrieb pfeiffrei nachzubilden.

Ein weiterer Vorteil der Anpassung ist die Möglichkeit der verzerrungsfreien Übermittlung der Sprache. Man übersieht leicht die Verzerrung, d. h. Änderungen der Dämpfung mit der Frequenz, und kann durch geeignete Entzerrungsmittel am Verstärker eine gute, formgetreue Sprachübermittlung erzielen.

Da der Ringübertrager ferner zur Viererbildung benutzt wird, muß er eine möglichst hohe Symmetrie gegen Nebensprechen besitzen. Diese Anforderungen

mit den notwendigen Meßmethoden sollen in folgendem genauer behandelt werden.

Bei Rufstrom von 25 Per/s wird der Wirkungsgrad für verschiedene Leistungen etwa 1 bis 10 W gemessen; er beträgt hierbei im Durchschnitt etwa 60 bis 90 vH.

Als Schutz gegen atmosphärische Störungen wird verlangt, daß der Ringübertrager 2000 V zwischen Primär- und Sekundärwicklung sowie zwischen Wicklung und Eisenkern aushält.

(1398) Theorie der Anpassung. Die Gleichungen des Ringübertragers lauten

$$U_1 = \frac{\mathfrak{L}_1}{\mathfrak{M}} U_2 + \frac{\mathfrak{L}_1 \cdot \mathfrak{L}_2 - \mathfrak{M}^2}{\mathfrak{M}} \mathfrak{I}_2 \quad \dots \quad (1)$$

$$\mathfrak{I}_1 = \frac{1}{\mathfrak{M}} U_2 + \frac{\mathfrak{L}_2}{\mathfrak{M}} \mathfrak{I}_2, \quad \dots \quad (2)$$

falls die Bezeichnung nach Abb. 839 gewählt wird und \mathfrak{L}_1 der komplexe Widerstand der Primärwicklung, \mathfrak{L}_2 derjenige der Sekundärwicklung ist.

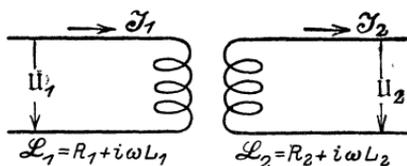


Abb. 839. Bezeichnung des Ringübertragers.

$\mathfrak{M} = i\omega M$, wo $i = \sqrt{-1}$ und M die gegenseitige Induktion beider Wicklungen bedeuten. Da die Determinante von 1) und 2)

$$\text{gleich } \frac{\mathfrak{L}_1}{\mathfrak{M}} \cdot \frac{\mathfrak{L}_2}{\mathfrak{M}} - \frac{\mathfrak{L}_1 \cdot \mathfrak{L}_2 - \mathfrak{M}^2}{\mathfrak{M}} \cdot \frac{1}{\mathfrak{M}} \text{ gleich } 1 \text{ wird,}$$

kann man den Überträger als unsymmetrischen Vierpol auffassen und ihm Wellenlängenstände \mathfrak{Z}_1 und \mathfrak{Z}_2 und ein Übertragungsmaß g zuschreiben. Es wird

$$\mathfrak{Z}_1 = \sqrt{\frac{\mathfrak{L}_1}{\mathfrak{L}_2} (\mathfrak{L}_1 \mathfrak{L}_2 - \mathfrak{M}^2)}, \dots \dots \dots 3)$$

$$\mathfrak{Z}_2 = \sqrt{\frac{\mathfrak{L}_2}{\mathfrak{L}_1} (\mathfrak{L}_1 \mathfrak{L}_2 - \mathfrak{M}^2)}, \dots \dots \dots 4)$$

und

$$\text{Coef } g = \sqrt{\frac{\mathfrak{L}_1 \cdot \mathfrak{L}_2}{\mathfrak{M}^2}} \dots \dots \dots 5)$$

Vernachlässigt man die Eigenkapazität der Wicklungen, die sich in den höheren Fernsprechfrequenzen bereits bemerkbar machen, so ist

$$\mathfrak{L}_1 = R_1 + i\omega L_1, \quad \mathfrak{L}_2 = R_2 + i\omega L_2.$$

nimmt man weiter an, daß $M = \sqrt{L_1 \cdot L_2}$, d. h. daß keine Streuung vorhanden ist, und daß die Zeitkonstanten

$$\tau_1 = \frac{L_1}{R_1} \quad \text{und} \quad \tau_2 = \frac{L_2}{R_2}$$

für beide Wicklungen gleich sind, also $\tau_1 = \tau_2 = \tau$, was praktisch angenähert erreicht wird, so wird aus 1) und 2)

$$u_1 = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} \left(1 - \frac{i}{\omega\tau}\right) u_2 + \frac{2}{\tau} \sqrt{L_1 \cdot L_2} \left(1 - \frac{i}{2\omega\tau}\right) \mathfrak{Z}_2 \dots \dots \dots 6)$$

$$\mathfrak{Z}_1 = \frac{1}{i\omega\sqrt{L_1 \cdot L_2}} u_2 + \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \left(1 - \frac{i}{\omega\tau}\right) \mathfrak{Z}_2 \dots \dots \dots 7)$$

und

$$\mathfrak{Z}_1 = \omega L_1 \sqrt{\frac{2i}{\omega\tau} + \frac{1}{\omega^2\tau^2}} \dots \dots \dots 8)$$

$$\mathfrak{Z}_2 = \omega L_2 \sqrt{\frac{2i}{\omega\tau} + \frac{1}{\omega^2\tau^2}}, \dots \dots \dots 9)$$

$$\text{Coef } g = 1 - \frac{i}{\omega\tau} = \text{Coef } (b + ia) = \sim 1 + \frac{(b + ia)^2}{2!}, \dots \dots \dots 10)$$

demnach angenähert

$$b = -a = \sqrt{\frac{1}{\omega\tau}},$$

wenn b die Wellendämpfung und a das Winkelmaß bedeuten. Man ist bestrebt, b möglichst klein zu halten. Dies wird erreicht, wenn nach Gl. 10) τ möglichst groß ist. Praktisch liegt τ etwa in der Gegend von 0,05 bis 0,1.

Bei $\omega = 5000$ ist also $\frac{1}{\omega\tau} \sim 0,002$ bis $0,004$, wodurch bereits ein genügend niedriger Wert der Wellendämpfung b , etwa $0,045$ bis $0,065$, erreicht wird. τ wird um so größer, je kleiner R , also je geringer die Eigenverluste des Ringübertragers sind.

(1399) Bemessung der Überträger. Liegt der Ringüberträger primär an einer Leitung vom Wellenwiderstand \mathfrak{Z}_a und sekundär an einer Leitung vom

Wellenwiderstand Z_b , so müßte, um den Ringübertrager an die Leitungen anzupassen, d. h. Reflexionen an den Stoßstellen zu vermeiden,

$$Z_1 = Z_a \quad \text{und} \quad Z_2 = Z_b \quad \dots \dots \dots 11)$$

werden. Meist kann man Z_a und Z_b als angenähert reell ansehen, wie auch für die folgenden Betrachtungen vorausgesetzt werden soll, z. B. Freileitung 600 Ω , normalpupinisiertes Fernkabel etwa 1600 Ω usw., während aus 8) und 9) hervorgeht, daß Z_1 und Z_2 einen Winkel von etwa 45° haben, weil $\frac{1}{\omega^2 \tau^2}$ gegen $\frac{2}{\omega \tau}$ verschwindet. Also widerspricht das Anpassen der Beträge der Forderung, die Eigenverluste möglichst zu verringern, also τ möglichst groß zu halten, wodurch Z_1 und Z_2 dem Betrage nach möglichst klein werden. Eine weitere Schwierigkeit ist die Veränderlichkeit von Z_1 und Z_2 mit der Eingangsspannung, weil selbst bei niedriger Magnetisierung L_1 und L_2 sich stark mit der angelegten Spannung ändern.

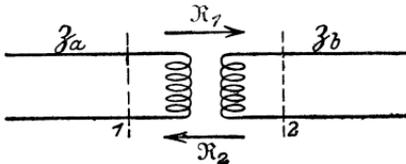


Abb. 840. Schaltung des Ringübertragers.

Ist demnach ein reflexionsfreies Anpassen der einzelnen Stoßstellen nicht möglich, so kann man der geringen Eigendämpfung halber die Wirkung beider Stoßstellen so gestalten, daß insgesamt doch eine gute Anpassung erzielt wird.

Man will erreichen, daß in den Stellen 1 und 2 (Abb. 840) eine möglichst geringe Reflexion eintritt. Das geschieht, wenn der komplexe Eingangswiderstand R_1 des Ringübertragers, wenn er mit Z_b belastet ist, möglichst nahe bei Z_a liegt und der von der Sekundärseite aus gemessene Widerstand R_2 , wenn die Primärseite mit Z_a belastet ist, möglichst in gleicher Art bei Z_b liegt.

Aus 6) und 7) wird, wenn man $U_2 = Z_b \cdot Z_2$ setzt,

$$R_1 = \frac{L_1}{L_2} \cdot Z_b \cdot \frac{1 + 2 \frac{\omega L_2}{Z_b \cdot \omega \tau} - \frac{i}{\omega \tau} \left(1 + \frac{\omega L_2}{Z_b \cdot \omega \tau} \right)}{1 - i \left(\frac{Z_b}{\omega L_2} + \frac{1}{\omega \tau} \right)} \dots \dots \dots 12)$$

Ebenso wird

$$R_2 = \frac{L_2}{L_1} \cdot Z_a \cdot \frac{1 + 2 \frac{\omega L_1}{Z_a \cdot \omega \tau} - \frac{i}{\omega \tau} \left(1 + \frac{\omega L_1}{Z_a \cdot \omega \tau} \right)}{1 - i \left(\frac{Z_a}{\omega L_1} + \frac{1}{\omega \tau} \right)} \dots \dots \dots 13)$$

Um für beide Richtungen die gleiche möglichst gute Anpassung zu haben, läßt man

$$\frac{R_1}{Z_a} = \frac{R_2}{Z_b} = 1 + \eta \dots \dots \dots 14)$$

werden, wobei $|\eta|$ möglichst klein gegen 1 werden muß.

Aus 12) und 13) wird $\frac{R_1}{Z_a} = \frac{R_2}{Z_b}$, wenn

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{Z_a}{Z_b} \dots \dots \dots 15)$$

wird.

Man erhält also als wichtige Anpassungsbedingung, daß das Übersetzungsverhältnis n des Ringübertragers, das mit dem Verhältnis der Windungszahlen übereinstimmt, gleich der Wurzel aus dem Verhältnis der Wellenwiderstände der angeschlossenen Leitungen wird, also

$$n = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = \sqrt{\frac{3_a}{3_b}} \dots \dots \dots 16)$$

Es wird

$$1 + \eta = \frac{1 + \frac{2L_1}{3_a \tau} - \frac{i}{\omega \tau} \left(1 + \frac{L_1}{3_a \tau}\right)}{1 - i \left(\frac{3_a}{\omega L_1} + \frac{1}{\omega \tau}\right)} \dots \dots \dots 17)$$

wo bei Fernsprechfrequenzen alle Glieder klein gegen 1 werden. Man erhält gut angenähert:

$$\eta \approx \frac{2}{\tau} \cdot \frac{L_1}{3_a} + i \frac{3_a}{\omega L_1} \dots \dots \dots 18)$$

Als weitere Anpassungsbedingung hat man η dem Betrage nach so klein wie möglich zu halten. Das wird einerseits erreicht durch die bereits mehrfach aufgetretene Forderung, τ möglichst groß zu halten. Liegt τ fest, so erhält man andererseits bei gegebenen 3_a und ω das Minimum von $|\eta|$ für

$$L_1 = 3_a \sqrt{\frac{\tau}{2\omega}} \dots \dots \dots 19)$$

in 18) eingesetzt ist.

$$\eta_{\min} = \sqrt{\frac{2}{\omega \tau}} (1 + i) \dots \dots \dots 20)$$

ein Wert, der bei $\omega = 5000$ und $\tau = 0,1$ bei $0,065 (1 + i)$ liegt.

Aus 19) ist das für die Anpassung günstigste L_1 festgelegt, demnach wird

$$L_2 = 3_b \cdot \sqrt{\frac{\tau}{2\omega}} \dots \dots \dots 21)$$

Aus 20) ersieht man, daß die Anpassung in einem großen Frequenzbereich gut bleibt. Ändert sich ω im Verhältnis 1.10 (Fernsprechfrequenzen $\omega = 2000$ bis 20000), so ändert sich η im Verhältnis $\sqrt{10} : 1$.

Der Ringübertrager Type F für gleiche Anschlüsse, also $3_a = 3_b$, wird sowohl bei Freileitungen ($3_a \approx 600 \Omega$) als auch bei Pupinkabel ($3_a \approx 1600$ bis 2500Ω) verwendet. Da er für einen Mittelwert (1200Ω) gebaut ist, zeigt Gl. 18), daß auch bei beträchtlichen Änderungen von 3_a sich η nur wenig ändert.

(1400) Einwirkung auf den Scheinwiderstand des Kabels. Der Ringübertrager, der in die Stoßstelle zwischen Fernkabel und Freileitung geschaltet wird, dient weniger zur Verminderung der zusätzlichen Dämpfung, als zur Beruhigung des Scheinwiderstandes des Fernkabels, um es für den Verstärker nachbildtähig zu machen.

Die zusätzliche Dämpfung, die z. B. durch den Stoß eines Fernkabels mit $3_a = 1600 \Omega$ und einer Freileitung mit $3_b = 600 \Omega$ zu den Einzeldämpfungen hinzutritt, wenn beide Leitungen lang sind, ist

$$b_s = \ln \left| \frac{3_a + 3_b}{2 \sqrt{3_a \cdot 3_b}} \right|$$

Für $3_a = 1600 \Omega$

$3_b = 600 \Omega$ wird $b_s \sim 0,12$,

während die Dämpfung des Ringübertragers etwa 0,05 beträgt, der Gewinn also nicht groß ist. Dahingegen gilt für den Anfangsscheinwiderstand R_a des Fernkabels mit 3_a , wenn g_a sein Fortpflanzungsmaß, R der am Ende des Kabels angeschlossene Scheinwiderstand und

$$p = \frac{R - 3_a}{R + 3_a}$$

der Reflexionsfaktor am Ende des Fernkabels ist,

$$\frac{\Re_a - \Im_a}{\Re_a + \Im_a} = p \cdot e^{-2g_a} \dots \dots \dots 22)$$

Hieraus geht hervor, daß bei verschiedenen Frequenzen der Winkel von $\Re_a - \Im_a$ jeden Wert annehmen kann, also \Re_a mit der Frequenz um \Im_a pendelt. Je kleiner der Betrag der rechten Seite wird, um so näher liegt \Re_a an \Im_a . Die Schwankung von \Re_a wird geringer. Da g_a festliegt, ist es notwendig,

$$|p| = \left| \frac{\Re - \Im_a}{\Re + \Im_a} \right|$$

zu verringern. Bei angeschlossener Freileitung ist $R \approx 600 \Omega$, also $|p| \approx 0,45$. Bei Zwischenschaltung eines derartigen angepaßten Ringübertragers, daß $\Re \approx 1800 \Omega$ wird, wird $|p|$ in dem Bereich für \Im_a zwischen 1600 und 2200 Ω unter den Wert von 0,1 gedrückt.

(1401) Zusätzliche Dämpfung des Ringübertragers. Aus Gl. 5) und 10) erhält man die Wellendämpfung b . Wichtiger ist aber die bei bestimmten Anschlußbedingungen durch die Einschaltung des Ringübertragers hinzutretende Dämpfung. Diese wird einerseits durch die Eigenverluste des Ringübertragers, anderseits durch die mehr oder weniger gute Anpassung des Ringübertragers an die Fernleitung bedingt.

1. Der Ringübertrager verbinde zwei lange oder am fernen Ende mit ihrem Wellenwiderstand abgeschlossene Fernleitungen von gleichem Wellenwiderstande \Im und mit den Dämpfungen b_1 und b_2 . Die Gesamtdämpfung überschreitet den Betrag $b_1 + b_2$ um einen Wert b' , den man wie folgt erhält. Verbindet man einen Widerstand mit der EMK \mathcal{E} einmal direkt mit einem Verbrauchswider-

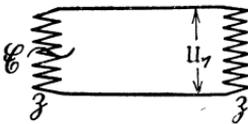


Abb. 841. Ohne Ringübertrager.

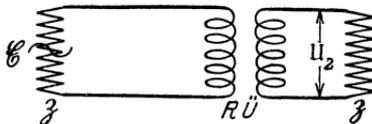


Abb. 842. Mit Ringübertrager.

stand \Im (Abb. 841), das andere Mal bei gleichem \mathcal{E} über einen Ringübertrager (Abb. 842) und sind die hierbei am Verbraucher auftretenden Spannungen U_1 und U_2 , so ist

$$b' = \ln \left| \frac{U_1}{U_2} \right| \dots \dots \dots 23)$$

Da $U_1 = \frac{\mathcal{E}}{2}$, wird

$$b' = \ln \left| \frac{\mathcal{E}}{2 U_2} \right| \dots \dots \dots 24)$$

2. Sind aber die Wellenwiderstände der Fernleitungen verschieden (\Im_a und \Im_b), so ist es notwendig, erst den Begriff des idealen Transformators festzulegen. Ein idealer Transformator für die Anschlüsse \Im_a und \Im_b hat folgende Gleichungen:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= \sqrt{\frac{\Im_a}{\Im_b}} \cdot U_2 \\ \Im_1 &= \sqrt{\frac{\Im_b}{\Im_a}} \cdot \Im_2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 25)$$

Ist $U_2 = \Im_b \cdot \Im_2$, so wird $U_1 = \Im_a \cdot \Im_1$. Er paßt also bei Zwischenschaltung die beiden Fernleitungen ideal an. Der Reflexionsfaktor zwischen Leitung und

idealem Transformator ist Null. Aber auch seine zusätzliche Dämpfung ist Null. Die Gesamtdämpfung in Abb. 843 ist $b_1 + b_2$. Man erhält die zusätzliche Dämpfung des Ringübertragers, wenn man das logarithmische Verhältnis der Endspannungen der mit \mathfrak{Z}_b abgeschlossenen zweiten Fernleitung bei konstanter Anfangs-EMK in der ersten Fernleitung bestimmt, wenn einmal der ideale Transformator,

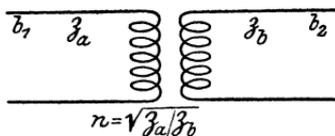


Abb. 843. Idealer Transformator.

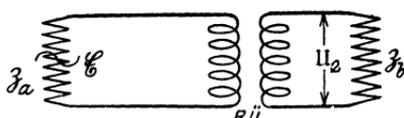


Abb. 844. Ersatzschaltung für Ringübertrager in Fernleitungen.

das andere Mal der angepaßte Ringübertrager zwischengeschaltet ist. Für diesen Wert erhält man, da die Schaltung nach Abb. 844 gleichwertig ist:

$$b' = \ln \left| \frac{\mathfrak{E}}{2 \cdot U_2} \sqrt{\frac{\mathfrak{Z}_2}{\mathfrak{Z}_1}} \right| \dots \dots \dots 26)$$

Der Wert b' liegt bei den gebräuchlichen Ringübertragern unter 0,05.

Ändert man die Wellenwiderstände der angeschlossenen Freileitungen über einen großen Bereich, so ändert sich b' nur wenig, falls das Verhältnis beider Wellenwiderstände konstant bleibt.

(1402) Messung der Anpassung und zusätzlichen Dämpfung. Dient der Ringübertrager zur Verbindung zweier Fernleitungen mit den Wellenwiderständen \mathfrak{Z}_a und \mathfrak{Z}_b , so werden die Eingangswiderstände \mathfrak{R}_1 und \mathfrak{R}_2 von beiden Seiten nach

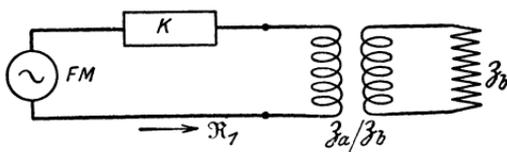


Abb. 845. Messung von \mathfrak{R}_1 .

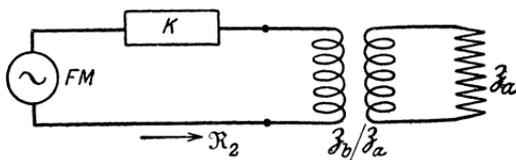


Abb. 846. Messung von \mathfrak{R}_2 .

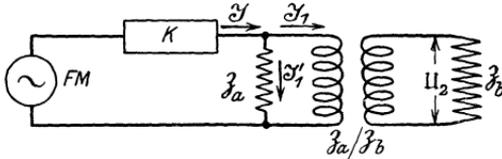
Abb. 845 und 846 gemessen, am besten mit der Frankeschen Maschine (230, α) und Kompensator (230, β) bei einer bestimmten Frequenz, meist $\omega = 5000$. Es muß \mathfrak{R}_1 möglichst nahe bei \mathfrak{Z}_a und \mathfrak{R}_2 bei \mathfrak{Z}_b liegen. Setzt man

$$\frac{\mathfrak{R}_1}{\mathfrak{Z}_a} = 1 + \eta_1; \quad \frac{\mathfrak{R}_2}{\mathfrak{Z}_b} = 1 + \eta_2$$

oder

$$\frac{\mathfrak{R}_1 - \mathfrak{Z}_a}{\mathfrak{R}_1 + \mathfrak{Z}_a} = \rho_1; \quad \frac{\mathfrak{R}_2 - \mathfrak{Z}_b}{\mathfrak{R}_2 + \mathfrak{Z}_b} = \rho_2,$$

so werden Werte von etwa 5 vH für $|p_1|$ und $|p_2|$ und etwa 10 vH für $|r_{11}|$ und $|r_{22}|$ erreicht. Die zusätzliche Dämpfung ist für beide Richtungen gleich und wird nach Abb. 847 gemessen. Die Endspannung U_2 wird am Kompensator kompensiert und ergebe $\varrho \Omega$, so ist



$$b' = \ln \left| \frac{\sqrt{3_a \cdot 3_b}}{2 \varrho} \right| \dots 27)$$

Nach 26) ist

$$b' = \ln \left| \frac{\mathfrak{E}}{2 \cdot \mathfrak{B}_2} \sqrt{\frac{3_b}{3_a}} \right|$$

Abb. 847. Messung der zusätzlichen Dämpfung.

In Abb. 691 ist $|U_2| = |\varrho \cdot \mathfrak{I}|$. Das einzusetzende \mathfrak{E} ist nach Abb. 688 gleich $U_1 + \mathfrak{I} \cdot 3_a$. Nun ist

$$U_1 = \mathfrak{I}' \cdot 3_a \text{ also } \mathfrak{E} = 3_a (\mathfrak{I}' + \mathfrak{I}) = 3_a \cdot \mathfrak{I},$$

$$\text{also } b' = \ln \left| \frac{3_a \cdot \mathfrak{I}}{2 \cdot \varrho \cdot \mathfrak{I}} \sqrt{\frac{3_b}{3_a}} \right| = \ln \left| \frac{\sqrt{3_a \cdot 3_b}}{2 \varrho} \right|$$

Die Leerlauf- und Kurzschlußmessung, die viel angewandt wird, gibt nur die praktisch wenig aussagenden Wellenmaße und ist auch wegen der Abhängigkeit der Leerlaufmessung von der Eingangsspannung beim Ringübertrager wenig angebracht.

(1403) Symmetriemessungen gegen Nebensprechen. Die Primär- und die Sekundärwicklung bestehen aus je zwei genau gleichen Teilen, die für sich an Klemmen

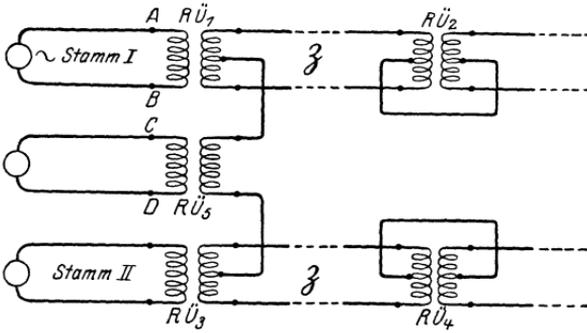


Abb. 848. Viererbildung.

geführt und für die Viererbildung (Abb. 848) benutzt werden. Hierbei muß die Symmetrie beider Wicklungen so weit gehen, daß kein Nebensprechen auftritt.

Spricht ein Teilnehmer auf Stamm I in den Ringübertrager 1, so wird durch seine Unsymmetrie der Viereranschluß am Ringübertrager 5 am meisten betroffen. Um die Unsymmetrie des Ringübertragers 1 festzustellen, bestimmt man die Dämpfung, die der Vierpol besitzt, der A—B als Eingangspole und C—D als Ausgangspole hat, wobei man annimmt, daß die anderen Ringübertrager 2, 3 und 4 genau symmetrisch sind. Dann kann man für die Messung von Ringübertrager 1 den Stamm 2 als eine Leitung ansehen. Denkt man sich dazu Ringübertrager 2 mit 3Ω , Ringübertrager 4 ebenfalls mit 3Ω abgeschlossen, so erhält man das vereinfachte, für die Symmetriemessung fast gleichwertige Bild des Vierpols A B C D in Abb. 849. Hier ist Stamm I, von A B aus betrachtet, mit 3Ω abgeschlossen, und der Vierer, von C D aus betrachtet, mit $\frac{3}{2} \Omega$, dem Vierer-

wellenwiderstand. Der Eingangswellenwiderstand bei AB ist nahezu 3Ω , der Ausgangswellenwiderstand bei CD $\frac{3}{2}\Omega$.

Die Messung geschieht nach Abb. 850 durch Vergleich mit einer Eichleitung vom Wellenwiderstand $\frac{3}{2}\Omega$ oder nach Abb. 851 durch Vergleich mit einer Eichleitung vom Wellenwiderstand 3Ω . Der Widerstand R des Vergleichshörers ist beliebig.

Ist die Eichleitung bei dem Wert b_1 in Abb. 850 oder b_2 in Abb. 851 eingestellt, wenn der Hörer beim Umschalten die gleiche Lautstärke gibt, so ist die Nebensprechdämpfung b_0 durch Unsymmetrie des Ringübertragers gleich

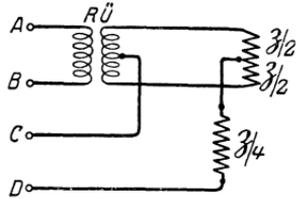


Abb. 849. Ersatzschema des Vierpols $ABCD$.

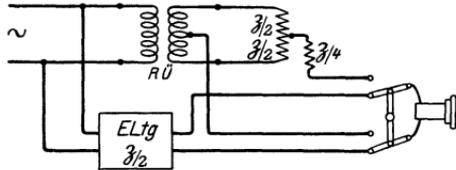


Abb. 850. Symmetriemessung.

$$e^{b_0} = e^{b_1} \sqrt{\frac{Z}{2 \cdot Z}} \quad \text{oder} \quad b_0 = b_1 - \ln \sqrt{2}. \quad 28)$$

$$\text{Ebenso } b_0 = b_2 + \ln \sqrt{2}.$$

Für b_0 werden neuerdings Werte von 10 gefordert und erreicht.

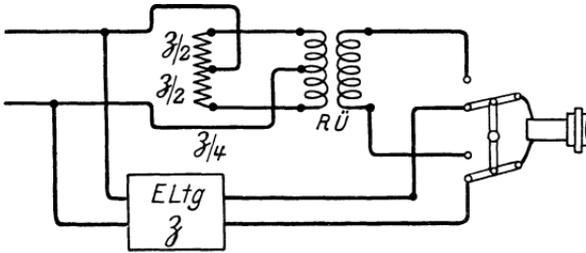


Abb. 851. Symmetriemessung.

Literatur: Breisig: Theor. Tel. II. Aufl. 1924, S. 368. — Holm: Arch. f. Elektr. Heft 4 u. 5. 1917. — Casper: Electr. Comm. Bd. 2, S. 262. 1924.

Vierter Abschnitt.

Telegraphie auf Leitungen.

Allgemeine und grundsätzliche Fragen der Telegraphie.

(1404) Begriffbestimmung. Nach Scheffler (zur Bestimmung des Begriffs Telegraphie. Arch. für Post u. Telegr. 1884, S. 609 ff.) umfaßt die Telegraphie auch den Fernsprecher; er hat folgende Erläuterung gegeben, die sich juristisch durchzusetzen vermochte:

„Telegraph ist jede Vorrichtung, welche eine Nachrichtenbeförderung dadurch ermöglicht, daß der an einem Ort zum sinnlichen Ausdruck gebrachte Gedanke an einem entfernten Ort wahrnehmbar wieder erzeugt wird, ohne daß der Transport eines Gegenstandes mit der Nachricht erfolgt. Das Mittel, welches zu dieser Wiedererzeugung in Anwendung kommt, ist für das Wesen der Telegraphie nicht von Bedeutung.“

In der physikalischen Arbeitsweise ist eine deutliche Trennung des Telegraphen vom Fernsprecher zu erkennen. Während die Telephonie die Aufgabe hat, Töne, Laute, Geräusche, insbesondere die Sprache am fernen Ende einer Leitung akustisch so wiederzugeben, daß das Ohr die zu übertragenden Laute zu erkennen vermag, bedient sich der Telegraph zur Übertragung von Gedanken eines Mittlers, einer Schrift. Beim Telegraphen werden die Schriftzeichen durch verabredete Stromkombinationen ersetzt, die sogenannten Telegraphenalphabete.

(1405) Telegraphenalphabete. (1439 u. f.) Es sind drei große Gruppen von Telegraphenalphabeten bekannt.

Die Morsealphabete mit 2 Stromeinheiten arbeitend, + und 0 oder + und —. Davon abgeleitet das Rekorderalphabet mit 3 Stromeinheiten +, — und 0.

Die Bildung des Alphabets kann auch erst durch den Apparat selbst erfolgen wie beim Hughes und Ferndrucker, wo der Abstand zweier aufeinanderfolgender Stromschritte das Zeichen bestimmt.

Die größte Bedeutung für die moderne Drucktelegraphie hat das sog. Fünferalphabet erlangt, das mit nur 2 Stromeinheiten arbeitet. Durch Vor- und Nachsetzen je eines Stromschrittes wird aus dem Funferalphabet das Alphabet der Start-Stop-(Spring-)Apparate gebildet. Benutzt man 3 Stromeinheiten, so gelingt es, mit einem Dreieralphabet auszukommen (1444).

Eine Gegenüberstellung der für die Bildung eines Zeichens im Durchschnitt notwendigen Grundschwingungen bei den verschiedenen Alphabeten zu denen der Sprache zeigt folgendes Ergebnis:

Telegraphenalphabete mit 2 Stromeinheiten	Sprachlaute
Morsealphabet . . 4,2 Schwingungen	Bei einer Sprechgeschwindigkeit von etwa 80 bis 100 W/min 100 bis 160 Schwingungen
Fünferalphabet . . 2,5 „	
Hughes 8 „	
gleicher Amplitude	Amplitudenveränderung etwa . . 1 : 6

Für die elektrische Fernübertragung von Nachrichten weist demnach die Telegraphie einen gewaltigen Vorsprung gegenüber der Sprachübertragung auf.

Diesen Vorsprung verdankt sie dem bei der telegraphischen Übermittlung angewendeten Telegraphenalphabet, das ja gerade im Hinblick auf die Verwendung möglichst einfacher Stromformen gebildet wurde.

(1406) Übertragung. Durch die Verwendung der einfachsten Stromformen ist es der Telegraphie möglich, mit Hilfe einfacher elektromechanischer Apparate (Relais), die auf dem Wege durch die Leitung verzerrten Ströme wieder zu entzerrern und in ihrer Amplitude zu vergrößern. Bei einfachen Relaisübertragungen geht die Umschlagszeit der Relais (mindestens 2 ms) verloren, doch kann durch Anwendung besonderer Übertragungsmechanismen (rotierende Übertragung, Zwischenschaltung eines Empfängers, der von neuem in die Leitung sendet) die genaue ursprüngliche Länge der Stromschritte wieder erzeugt werden. Auch hieraus ist ersichtlich, daß die Telegraphie imstande sein muß, die größten Entfernungen zu überbrücken, wenn es nur technisch möglich ist, an bestimmten Unterwegspunkten entzerrnde und amplitudenvergrößernde Übertragungen einzuschalten.

Der Fernsprechverkehr hat gerade in den letzten Jahren große Fortschritte im Bau von Verstärkern und Entzerrungsschaltungen gemacht, so daß heute Entfernungen von über 1000 km bei guter Verständigung überbrückt werden. Doch wird es kaum ein Mittel geben, das imstande wäre, den durch Mikrophon, Leitungen, Verstärker usw. in ihren Amplituden und Phasen etwas verzerrten Fernsprechströmen ihre ursprüngliche Gestalt genau wiederzugeben.

Durch Zwischenschaltung von Übertragungen kann die Telegraphie ihre Leitungen elektrisch unterteilen. Die auf einer so unterteilten Leitung zu erreichende Telegraphiergeschwindigkeit ist dann gleich derjenigen des elektrisch ungünstigsten Abschnittes. Der Abstand, in welchem die Übertragungen einzuschalten sind, hängt ab von der Entzerrung und der Verstärkung, welche angewendet werden soll. Will man ohne besondere Entzerrungskunstschaltung und verstärkten Relaisempfang arbeiten, so sind im praktischen Betriebe folgende Abstände der Übertragungen als zweckmäßig befunden worden:

Leitung	Ω/km	$\mu\text{F}/\text{km}$	Abstand	Bem.
Guttaperchakabel	7,5	0,2	200 km	} Nach Versuchen
Freileitung . . .	5—20	0,006—0,010	400—600 km	
Fernkabelader				
0,9 mm. . . .	57,6	0,035	150 km	
Fernkabelader				
1,4 mm . . .	23,8	0,037	300 „	

(1407) Das Gegensprechen. Während beim Fernsprecher Frage und Antwort einander folgen, also wechselseitiger Verkehr möglich ist, kann der Telegraph, da Sender und Empfänger getrennte Organe sind, zugleich in beiden Richtungen arbeiten. Über die dabei zu verwendenden Schaltungen und den Aufbau der künstlichen Leitung, welche zur Ermöglichung des Gegensprechens nötig ist, siehe (1502ff.). Eine große Schwierigkeit liegt dabei in der Einstellung der Kunstschaltung, über deren Genauigkeit folgendes gesagt werden kann: Wenn die Dämpfung der Telegraphierzeichen auf der Leitung b ist, so muß der vom eigenen Sender in die Leitung fließende Strom e b mal so groß sein wie der Empfangsstrom. Da aber die im Empfänger durch den eigenen Sender erzeugte Störungsamplitude nur 0,1 bis 0,2 der des Empfangsstromes sein darf, gibt die Dämpfung der Leitung den Genauigkeitsgrad der Abgleichung an. Je weiter der Frequenzbereich, für welchen diese Forderung zu erfüllen ist, um so schwieriger wird die Abgleichung. Deshalb hat man nach Mitteln gesucht (1548), die zum Telegraphieren unnötigen Frequenzen schon beim Sender zurückzuhalten.

Literatur: Salinger und Stahl: Über die Nachbildung langer Seekabel, ENT 1926, S. 296.

(1408) Frequenzbereich der Telegraphie. Während der Frequenzbereich der Sprache durch eingehende Untersuchungen genau bekannt ist — die wichtigsten Schwingungen liegen im Gebiet von $f = 400$ bis 2000 Hertz —, hat man sich mit den beim Telegraphieren benutzten Frequenzen erst in neuerer Zeit beschäftigt. Die Schwierigkeit der Frequenzerlegung telegraphischer Zeichen besteht darin, daß eine Folge von telegraphischen Zeichen nicht als ein periodischer Vorgang aufgefaßt werden kann. Will man angeben, welche Teilfrequenzen und mit welcher Amplitude diese in einem Einzelzeichen enthalten sind, so muß die Zerlegung dieses Zeichens mit Hilfe Fourierscher Integrale durchgeführt werden. Gibt $f(t)$ den zeitlichen Verlauf einer nicht periodischen Funktion, so erhält man die zum Aufbau dieser Funktion nötigen Teilschwingungen aus den beiden Fourierschen Integralen

$$C = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cos \omega t \, dt \quad \text{Amplituden in Cos.-Phase, zwischen Grenzen, wo } \sin \omega t = 0,$$

$$S = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \sin \omega t \, dt \quad \text{,, ,, Sin.- ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, } \cos \omega t = 0.$$

Für eine Reihe einfacher Funktionen hat Milnor diese Frequenzerlegung durch-

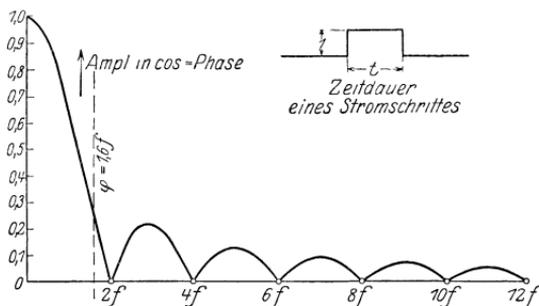


Abb. 852. Zerlegung eines rechteckigen Stromstoßes.

geführt. Ein Beispiel zeigt Abb. 852. Dort ist ein einmaliges Rechteck in seine Teilschwingungen zerlegt worden. Das Integral für die Sinusschwingungen wird 0, die Abhängigkeit der Amplituden der in der Cosinusphase schwingenden Teilfrequenzen ist dargestellt.

Literatur: Milnor: Submarine Cable Telegraphy J. A. I. E. E. 1922, S. 118—136.

(1409) Beschränkung des Frequenzbereiches nach oben. Der am Ende der Leitung eingeschaltete Telegraphenapparat (Relais) verlangt keineswegs völlig rechteckige Zeichen, deren Übertragung große Schwierigkeiten machen würde. Er begnügt sich mit einer Stromkurve, welche stark abgerundet sein darf. Die Aufgabe der elektrischen Übertragung von Telegraphierzeichen kann als gelöst betrachtet werden, wenn das Aufnahmrelay in seinem Ortsstromkreis die Zeichen so wiedergibt, daß ihre zeitliche Länge um nicht mehr als etwa ± 30 vH des kürzesten Stromstoßes schwankt. Versuche haben erwiesen, daß es hierfür ausreichend ist, wenn die Frequenzen bis zur 1,6fachen Telegraphierfrequenz noch gut ankommen (Telegraphierfrequenz gleich Frequenz aufeinanderfolgender kürzester Stromschritte). Die darüberliegenden Frequenzen können auch schon beim Sender von der Leitung ferngehalten werden, was z. B. im Falle des gleichzeitigen Gegensprechens von Vorteil ist. Man benutzt hierzu Drosselketten. In der Abb. 853 ist gezeigt, wie durch das Zuschalten einer eingliedrigen Drosselkette, die über der 1,6fachen Telegraphierfrequenz liegenden Teilschwingungen stark herabgedrückt werden können. Das so umgebildete Zeichen ist für den

Empfang noch ausreichend (s. auch Nyquist, H.: Certain factors affecting telegraph speed. J. A. I. E. E. 1924, S. 124).

(1410) Beschränkung des Frequenzbereichs nach unten. In gewissen Fällen, wie beim Telegraphieren mit Übertragern oder beim Gegensprechen (1407), ist es vorteilhaft, auch die niedrigsten Frequenzen wegzulassen. Schon beim Arbeiten über Blockkondensatoren kommt Gleichstrom nicht mehr über die Leitung.

Werden Kondensator Ketten im Sender verwendet, so kann dieser Zweck noch vollkommener erreicht werden. Durch eine besondere Schaltung der Senderrelais, die von Delany angegeben wurde (Abb. 854), kann erreicht werden, daß statt der Blockzeichen nur noch Stromstöße gleicher Länge in die Leitung fließen, die je nach ihrer Polarität den Beginn oder das Ende eines Zeichenstromes angeben. Mit Benutzung solcher Mittel können die Amplituden der Teilschwingungen unterhalb der 0,4- bis 0,5fachen Telegraphierfrequenz stark herabgedrückt werden.

Somit ergibt sich als engstmöglicher Frequenzbereich der Telegraphie die Frequenzen von 0,4 bis 1,6 der Telegraphierfrequenz.

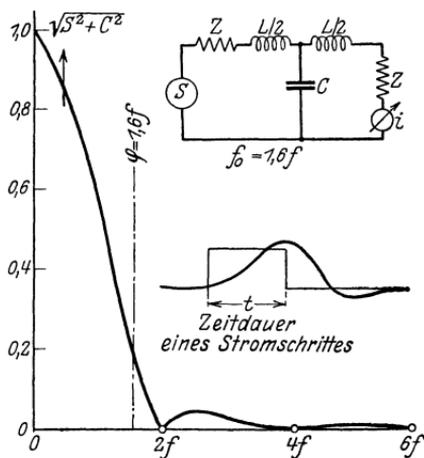


Abb. 853. Wirkung einer Drosselkette.

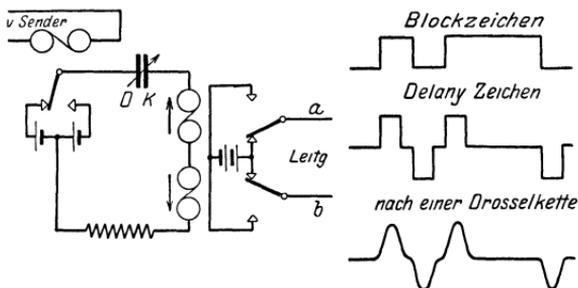


Abb. 854. Verwandlung der Blockzeichen in Stromstöße gleicher Länge.

(1411) Telegraphiergeschwindigkeit. Sind bekannt:

1. die Eigenschaften der Leitung für die zum Telegraphieren notwendigen Frequenzen;
2. die zulässige Sendespannung;
3. die gesamten Störströme der Leitung, bestehend aus:
 - a) Störströmen terrestrischen Ursprungs (Änderungen des Erdpotentials oder des erdmagnetischen Feldes, Polarisations-Spannungsschwankungen);
 - b) Störungen wegen mangelhafter Abgleichung;
 - c) Induktionsstörungen von fremden Leitungen, welche sämtlich durch Anwendung zulässiger Mittel nicht weiter herabgesetzt werden können, so kann die Telegraphiergeschwindigkeit bestimmt werden.

Bezeichnet man nämlich mit s die gesamte Störamplitude, so ist nach praktischen Erfahrungen zu fordern, daß die nötige Empfangsamplitude bei Druckempfang gleich 10 s , bei Schreibempfang gleich 4 s beträget.

Ob diese so ermittelte Telegraphiergeschwindigkeit sich verwirklichen läßt, hängt von zwei weiteren Umständen ab:

1. Der Trägheit der verwendeten Empfangsapparate (elektromagnetische Relais);
2. der zur Betätigung der Empfänger notwendigen Verstärkung, welche praktisch nicht über das 100000fache hinausgehen darf.

Für die Ermittlung der Empfangsamplitude selbst werden in (1412) bis (1417) Verfahren angegeben.

(1412) Bestimmung der ankommenden Zeichenstromkurve. Für die Bestimmung der theoretischen Telegraphiergeschwindigkeit gibt es zwei verschiedene Wege.

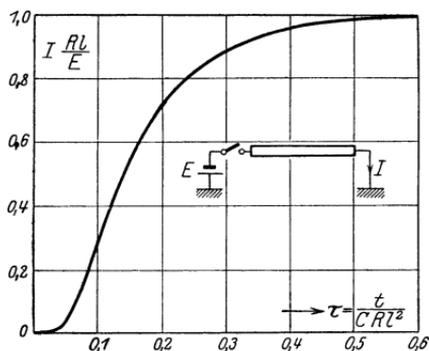


Abb. 855. Thomsonsche Kurve.

Der erste geht aus von der Vorausberechnung der Stromkurve für das Einschalten von Gleichspannung. Der Ausschaltvorgang ist dann ebenfalls bekannt. Durch rechnerische oder zeichnerische Zusammensetzung der für die Bildung telegraphischer Zeichen notwendigen Schaltvorgänge kann dann bestimmt werden, ob die ankommenden Zeichen noch einwandfrei gelesen oder von Relais festgehalten werden können. Die Ermittlung des Einschaltvorganges kann an Hand der in (1413) bis (1415) gegebenen Formeln erfolgen.

(1413) Thomsonkabel (Leitung mit vernachlässigbarer Induktivität). Für ein kurz geschlossenes Kabel von der Länge l wird der Strom am Ende gegeben durch:

$$I = \frac{E}{Rl} \left(1 + 2 \sum_1^{\infty} e^{-\frac{\nu^2 \pi^2}{CRl^2} t} \cos \nu \pi \right)$$

R Widerstand/km, C Kapazität/km und E die EMK der Stromquelle am Kabelanfang (s. auch Breisig: Theoretische Telegraphie § 287). Die in der Abb. 855 gezeichnete Stromkurve gilt für alle Werte der Zeitkonstante CRl^2 ; deshalb ist

als Abszisse nicht die Zeit t selbst, sondern ein Zeitmaß $\tau = \frac{t}{CRl^2}$ aufgetragen.

(Siehe auch K. W. Wagner: Schnelltelegraphie auf Ozeankabeln. ENT 1924, S. 114. Der Einfluß beliebiger Endschaltungen auf die Stromkurve wird vom selben Verfasser behandelt Phys. Z. 1909, S. 865.)

(1414) Längenmaßkurven. Für eine Leitung mit Induktivität kann der Ausgleichsvorgang am Punkte l der unendlich langen Leitung an Hand der folgenden Formeln bestimmt werden:

$$I = \frac{E}{Z} \left[e^{-T} J_0 \left(\sqrt{A^2 - T^2} \right) \right].$$

Hier ist $Z = \sqrt{L/C}$ der Wellenwiderstand der Leitung,

$$A = \frac{R}{2Z} \cdot l \text{ das Längenmaß der Strecke } l,$$

$$T = \frac{R}{2L} t = \text{das Zeitmaß und}$$

J_0 die Besselsche Funktion nullter Ordnung vom imaginären Argument.

Das Längenmaß A bestimmt in diesem Falle die Gestalt der Stromkurve, es ist ein Maß für die Verzerrung. In der Abb. 856 sind Kurven für Leitungen mit einem Längenmaß von $A = 2$ bis 10 zusammen mit der Thomsonkurve aufgetragen. Mit wachsendem Längenmaß nähert sich die Stromkurve immer mehr der Thomsonkurve ($A = \infty$).

Der steile Anstieg, der für das Telegraphieren äußerst wichtig ist, erfolgt mit abnehmendem Längenmaß, entsprechend der größeren Laufzeit der Welle, später. Die Höhe des Wellenkopfes wird mit abnehmendem Längenmaß größer.

Auf Leitungen, deren elektrische Länge größer als etwa $A = 5$ ist, wird im allgemeinen nicht mit dieser Stromkurve selbst gearbeitet, weil dem ankommenden Wellenkopf ein langer, weit über ihn hinausreichender Wellenschwanz folgt. Die Telegraphie braucht aber Zeichen, die kurz nach ihrem Eintreffen

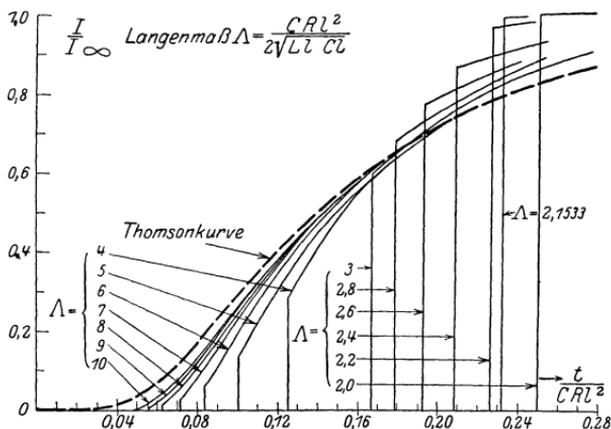


Abb. 856. Stromkurven für Leitungen mit Induktivität.

ihren Endwert erreicht haben. Durch Verwendung besonderer Kunstschaltungen [(magnetischer Nebenschluß, Maxwellerde usw., vgl. (1512) bis (1516)] gelingt es, den Unterschied zwischen der Thomsonkurve und einer Längenmaßkurve von beispielsweise $A = 10$ beträchtlich herauszuheben (vgl. die Abb. 857 u. 858). Erst das Arbeiten mit den höheren Ableitungen der Stromkurve, in Verbindung mit der dann notwendigen großen Verstärkung, erlaubt es der modernen Seekabeltelegraphie schon aus einer geringen Verminderung des Längenmaßes ($A < 10$) einen gewaltigen praktischen Erfolg zu ziehen.

Literatur: Breisig: Theoret. Electr. Punkt 2 u. 3. — Poincaré: Ecl. él. 1904. S. 121. — Wagner. K. W.: ETZ 1910. S. 163.

(1415) Allgemeine Leitung. Die Ableitung G spielt bei den in der Telegraphie benutzten niederen Frequenzen meist eine verschwindende Rolle. Die Berechnung der Stromkurven für den allgemeinen Fall ist von K. W. Wagner: ETZ 1911, S. 258 gegeben worden.

In diesem Falle ist das Längenmaß und die Dämpfung der Leitung verschieden, nämlich

$$\text{Längenmaß } A = l \cdot \lambda = l \left(\frac{R}{2Z} - \frac{GZ}{2} \right),$$

$$\text{Dämpfung } b = l \cdot \beta = l \cdot \left(\frac{R}{2Z} + \frac{GZ}{2} \right).$$

Die Definition der anderen Bezeichnungen wie in (1414). Der ankommende Strom im Punkte l einer unendlich langen Leitung wird dann

$$I = \frac{E}{Z} \left[e^{-\frac{\beta}{\lambda} T} J_0 \left(\sqrt{A^2 - T^2} \right) + \frac{\beta - \lambda}{\lambda} \int_0^{T-A} e^{-\frac{\beta}{\lambda} (T-\tau)} J_0 \left(\sqrt{A^2 - (T-\tau)^2} \right) d\tau \right]$$

der entsprechend der Laufzeit ankommende Wellenkopf ist nur noch $\frac{E}{Z} \cdot e^{-b}$, also der Ableitung entsprechend mehr gedämpft.

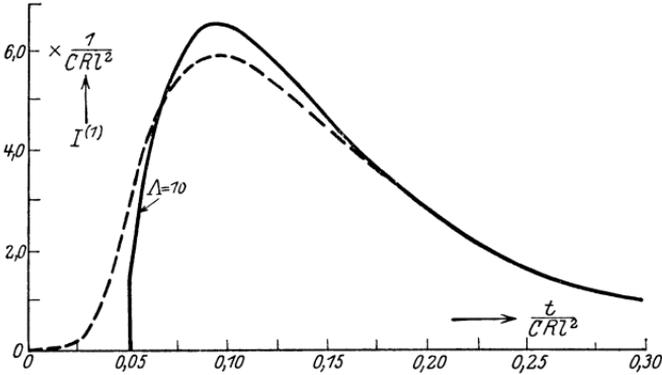


Abb. 857. Künstlich verbesserte Stromkurve; 1. Ableitung

Das Einschaltproblem für Wechselstrom bei allgemeiner homogener Leitung und beliebiger Endschtaltung wird auch behandelt von Pollaczek: ENT 1924, S. 80.

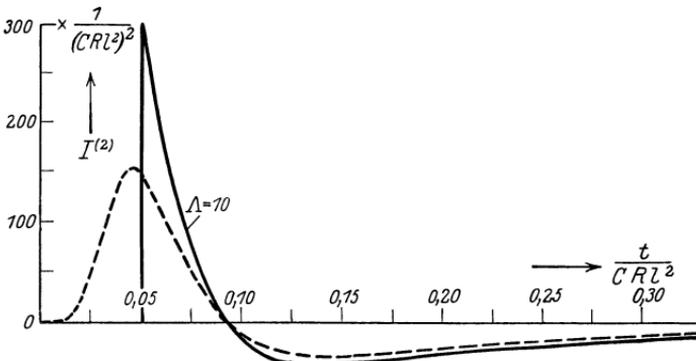


Abb. 858. Künstlich verbesserte Stromkurve; 2. Ableitung.

(1416) Stromkurven auf Pupin- und Kunstkabeln. Die in (1414) gegebenen Stromkurven erfahren eine wesentliche Veränderung, wenn die Induktivität der Leitung nicht, wie oben angenommen, gleichmäßig verteilt ist, sondern punktförmig im Zuge der Leitung liegt (Pupinkabel, künstliches Kabel). In diesem Falle erhält man keine steile Stirn, sondern die Stromkurve schlängelt sich wellenförmig um den für das homogene Kabel gültigen Stromverlauf, um schließlich mit diesen identisch zu werden (vgl. Abb. 859). Der Stromanstieg am Ende eines künstlichen Kabels hat also eine weniger günstige Form, was bei Telegraphierversuchen auf künstlichen Kabeln sehr zu beachten ist. Die Stromkurve nähert sich der des homogenen Kabels um so mehr, je höher die Gliedzahl ist, und zwar mit der Wurzel aus dieser.

Die Berechnung des Einschaltvorganges an Kunstkabeln ist zuerst von Carson durchgeführt worden. Er gibt für das Kabel mit $G = 0$ den Strom im n ten Glied des unendlich langen Kunstkabels durch

$$I = E \sqrt{\frac{C}{L}} e^{-\eta z} \int_0^z J_{2n}(z_1) J_0(\eta \sqrt{z^2 - z_1^2}) dz_1,$$

worin $\eta = \frac{\beta}{2} = \frac{R}{4z}$ = der halben Glieddämpfung, das Zeitmaß $z = \frac{2t}{\sqrt{LC}}$, L und C

Gliedwerte, z_1 eine Integrationsvariable, J_0 die Besselsche Funktion 0ter Ordnung vom imaginären Argument, J_{2n} die Besselsche Funktion $2n$ ter Ordnung.

Die Auswertung dieser Formel ist eine recht langwierige Arbeit.

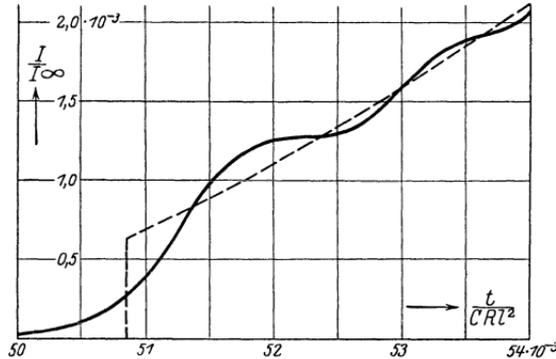


Abb. 859. Stromkurve einer punktierten belasteten Leitung.

Eine umfassendere Darstellung der Einschaltvorgänge an vielgliedrigen Kunstkabeln, mit Angabe von Berechnungsmethoden, die bedeutend schneller zum Ziele führen, wenn auch die Formeln sehr lang aussehen, hat Pollaczek gegeben. Beide Berechnungen sind nur für Kunstkabel (punktartige Verteilung von L und C) durchgeführt, es ist aber gezeigt worden, daß der Stromverlauf im Pupinkabel nur unwesentlich abweicht

Literatur: Vgl. Carson, J. R.: Transient Oscillation. Transact. of the A. I. E. E. 1919, S. 407 und Pollaczek: Theorie der Einschaltvorgänge des vielgliedrigen Kunstkabels. ENT 1925, S. 197—226.

(1417) Zweite Methode zur Berechnung der Telegraphiergeschwindigkeit.

Diese rechnet nicht, wie in (1413) bis (1416) mit den komplizierten Einschwingvorgängen, sondern bestimmt nach den Methoden der Telephonie die ankommende Amplitude eines eingeschwungenen Wechselstromes. Diese Methode ist sehr einfach und nützlich, solange man nur nach der Amplitude einer bestimmten Frequenz fragt. Hier geben die Formeln über die Dämpfung auf den verschiedenen Leitungen leicht Aufschluß.

Ist $\frac{\omega L}{R} \ll 1$ und $\frac{G}{\omega C} \ll 1$, wird $b = l \cdot \sqrt{\frac{\omega CR}{2}}$. Bei Telegraphierfrequenzen für Guttaperchakabel und Papierlufttraumkabel ohne erhöhte Induktivität zu benutzen.

Ist $\frac{R}{\omega L} \ll 1$ und $\frac{G}{\omega C} \ll 1$ wird $Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$ und $b = l \left(\frac{R}{2Z} + \frac{GZ}{2} \right)$; $\frac{GZ}{2}$ meist klein gegen $\frac{R}{2Z}$. Für Kabel mit künstlich erhöhter Induktivität zu benutzen.

Im allgemeinen Fall ist von

$$\gamma l = b + ia = l \cdot \sqrt{(R + i\omega L)(G + i\omega C)}$$

Bei inhomogenen Leitungen sind Korrektionsfaktoren zu berücksichtigen (s. Breisig: Theoret. Telegr. 12).

Diese rohe Annäherung genügt in den meisten Fällen für eine angenäherte Bestimmung der Telegraphiergeschwindigkeit. Versucht man aber auch mit Hilfe dieser Methode eine genaue Angabe über die Form der ankommenden Telegraphierzeichen zu erhalten, was grundsätzlich möglich ist, so treten große Schwierigkeiten auf. Die abgehenden Telegraphierzeichen müssen mit Hilfe Fourierscher Integrale in ihre Teilschwingungen zerlegt werden (1408). Unter Berücksichtigung der nach Amplitude und Phase verschiedenen Behandlung durch die Leitung muß dann, aus den Teilschwingungen zurück, wieder die Form des ankommenden Zeichens gesucht werden.

(1418) Frequenzabhängigkeit der elektrischen Bestimmungsgrößen. Die unter (1413) bis (1417) aufgeführten Formeln sind teilweise überhaupt nur dann auswertbar, wenn die elektrischen Bestimmungsgrößen (R, L, C, G) von der Frequenz unabhängig sind. Sehr häufig ist es aber der Fall, daß eine nicht vernachlässigbare Abhängigkeit von der Frequenz vorliegt. Besonders bei den mit künstlich erhöhter Induktivität ausgestatteten Leitungen liegt eine starke Frequenzabhängigkeit des Widerstandes und im geringeren Maße der Induktivität, Kapazität und der Ableitung vor. In diesen Fällen muß man sich mit dem Verlauf der Dämpfung in Abhängigkeit von der Frequenz für die Bestimmung der Telegraphiergeschwindigkeit nach (1417) begnügen.

(1419) Stromabhängigkeit belasteter Leitungen. Die Induktivität mit Eisen versehener Leitungen ist proportional der Permeabilität, diese ist wiederum von der Flußdichte, also dem Strom abhängig. Dies hat eine starke Abhängigkeit der Induktivität vom Strom und eine meist noch beträchtlichere Veränderung des Verlustwiderstandes zur Folge. Eine genaue rechnerische Untersuchung dieser Erscheinung ist von H. Salinger durchgeführt worden (Über die Fortpflanzung von telegraphischen Zeichen auf Krarupkabeln. Arch. f. Elektrot. Bd. 12 S. 268 bis 285). Die Stromabhängigkeit wirkt vor allem auf den Wellenkopf, und zwar in dem Sinne einer Abflachung der steilen Front. Ein Maß für diese Abflachung erhält man bei Betrachtung des Unterschiedes der Laufzeiten, welcher sich ergibt für eine mit der Stromstärke Null und einer mit der Stromstärke der Wellenstirn in das Kabel eintretenden Welle. Für ein 4000 km langes Kabel mit $2 \Omega/\text{km}$, $0,2 \mu\text{F}/\text{km}$ und $0,04 \text{ H}/\text{km}$ und einer angenommenen Stromabhängigkeit der Induktivität von 14 vH bei 130 mA ergibt sich eine zeitliche Verzerrung der Wellenstirn bei 60 V Sendespannung von $2,7 \text{ ms}$. Eine solche Verflachung ist bei großen Telegraphiergeschwindigkeiten schon nicht mehr ganz zu vernachlässigen.

(1420) Seerrückleitung. Für die modernen, mit großer Geschwindigkeit betriebenen einadrigen Seetelegraphenkabel spielt die Abhängigkeit des Widerstandes der Seerrückleitung von der Frequenz eine bedeutende Rolle. Die Erd-rückleitung hat für sehr niedere Frequenzen einen Widerstand von nahezu Null. Je höher aber die Frequenz, mit welcher das Kabel betrieben wird, um so mehr drängen sich die rücklaufenden Stromfäden um das eisenbewehrte Kabel zusammen. Schon bei Frequenzen von $f = 200$ bis 300 kann der ganze Rückstrom in der Eisendrahtbewehrung des Kabels fließen, so daß der Widerstand der Bewehrungsdrähte für den Rückleitungswiderstand maßgebend ist. Der durch die Seerrückleitung bedingte Widerstandszuwachs ist im Falle des Probetelegraphenkabels in der Ostsee ($Cu/Gp = 165/135$ engl. Pfund auf die Seemeile, $3,8 \Omega/\text{km}$ Gleichstromwiderstand, $12 \times 4,19 \text{ mm}$ Eisendrahtbewehrung des einadrigen Seekabels) wie folgt gemessen worden:

für $f = 25-50-75-100$ Hertz betrug der Widerstand der Seerrückleitung bzw. $0,11-0,25-0,41-0,57 \Omega/\text{km}$.

(1421) Berechnung von Telegraphenleitungen. Nachdem in (1411 . . . 1420) gezeigt wurde, wie für eine vorgegebene Telegraphenleitung die erreichbare Telegraphiergeschwindigkeit bestimmt werden kann, soll nun noch gezeigt werden,

welche Überlegungen anzustellen wären, wenn die umgekehrte Aufgabe vorliegt. Soll für eine gegebene Telegraphiergeschwindigkeit und eine bestimmte Entfernung eine Telegraphenleitung berechnet werden, so wird man nur nach der in (1417) angedeuteten Methode des eingeschwungenen Wechselstromes rechnen, da die vielen zu treffenden Annahmen doch nur eine rohe Überschlagsrechnung gestatten. Zunächst muß die zu übertragende Grundfrequenz bestimmt werden, welche sich aus Telegraphiergeschwindigkeit und angewendeter Alphabetart (1405), im Falle der Benutzung des Vibrationsempfangs auch unter Beachtung der in (1422) gegebenen Gesichtspunkte ergibt. Diese Frequenz muß nun am Ende der Leitung mit einer Amplitude ankommen, welche bestimmt ist entweder durch die Empfindlichkeit der Empfangsapparate oder durch die am Empfangsende zu erwartenden Störströme (1411). Bei Relaisempfang oder unmittelbarem Empfang mit Heberschreiber wird meist die erstere bestimmend sein, bei Empfang mit modernen Elektronenröhrenverstärkern werden die Störströme die notwendige Empfangsamplitude bedingen. Da die zulässige Sendespannung bei Gp-Kabeln zwischen 50 und 80 V, bei Freileitungen im allgemeinen nicht über 200 V gewählt wird, kann nun die kilometrische Dämpfung ermittelt werden. Diese gestattet, mit den in (1417) gegebenen Formeln den Cu-Durchmesser und die gegebenenfalls zu wählende Belastung zu berechnen, da die Kapazität wenig-

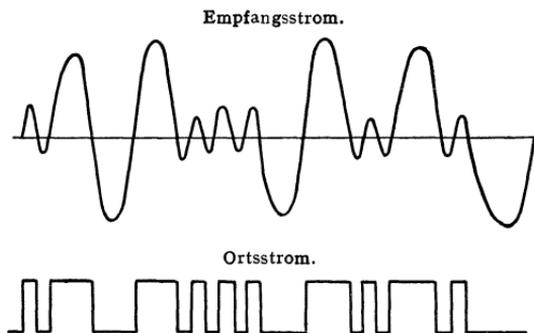


Abb. 860. Wirkung des Vibrationsrelais.

stens in erster Näherung bekannt ist; vgl. (1406). Die in (1418 . . . 1420) gegebenen Gesichtspunkte müssen nun in zweiter Näherung zeigen, ob die gewählten und berechneten Maße beibehalten werden können.

(1422) Das Vibrationsrelais [Schaltung s. (1522)]. Die kürzesten Stromschritte werden hier im Empfänger selbst erzeugt, der ankommende Strom braucht nur bei Stromschritten von 2 oder mehreren Einheiten Dauer dafür zu sorgen, daß die Vibration des Relais unterbleibt. Die auf das Relais wirkende Telegraphierfrequenz ist also im Falle des Fünferalphabetes gleich der halben Telegraphierfrequenz. Beim Morsealphabet kommen nur Zeichenströme von 3 und mehr Schritten Länge vor. Die wirksame Telegraphierfrequenz kann in diesem Falle bis auf $\frac{1}{3}$ der Punktfrequenz herabgedrückt werden. Aus einer in der Abb. 860 dargestellten Stromkurve bildet das Vibrationsrelais die darunter gezeichnete Ortsstromkurve.

Literatur: Gulstad: Electr. Review, Bd. 42, S. 751, 792. — Herbert: Telegraphy, 3. Aufl. London, Whittaker, 1916. S. 926.

(1423) Ausnutzung einer Telegraphenleitung. Über das Arbeiten in zwei verschiedenen Richtungen auf derselben Leitung (Gegensprechen) wurde schon in (1407) einiges gesagt. Das Doppelsprechen (1509) ermöglicht, unter Benutzung verschiedener Amplituden gleichzeitig zwei Telegramme in derselben

Richtung zu geben. Bei Verwendung von Wechselströmen für Summerbetrieb könnte diese Leitung noch einen dritten Telegrammweg erhalten. Doch werden diese Schaltungen für die Mehrfachausnutzung von Leitungen, mit Ausnahme der Gegensprechschaltung, in Deutschland wenig angewendet, weil sie verhältnismäßig komplizierte Einrichtungen erfordern und die Betriebsüberwachung erschweren. Eine weitgehende Ausnutzung einer Telegraphenleitung wird vielmehr auf zwei anderen Wegen angestrebt.

(1424) Reihentelegraph. Der hervorragendste Vertreter dieser Gattung von Telegraphenapparaten ist der Maschinentelegraph von Siemens & Halske (1476). Er verarbeitet nacheinander die schon mit Lochstreifen vorbereiteten Telegramme. Der Reihentelegraph gestattet durch Veränderung der Geschwindigkeit leicht, sich den vorliegenden Leitungsverhältnissen anzupassen. In Störungsfällen kann er die Umleitung von Telegrammen dadurch erleichtern, daß die Betriebsgeschwindigkeit in der für die Umleitung in Frage kommenden Verbindung unter Benutzung des vorbereiteten Stanzmaterials bis an die Grenze der Leistungsfähigkeit des Apparates oder der Leitung leicht erhöht werden kann. Lange Pressetelegramme können in kurzer Zeit abgegeben werden. Der Reihentelegraph besitzt also Vorzüge für ein Leitungsnetz mit häufig schwankenden Betriebsbedingungen.

Seine Nachteile liegen vor allem in der schlechten Ausnutzung des Betriebspersonals. Die Verzögerung der Telegramme, welche dadurch entsteht, daß im allgemeinen jedes abzugebende Telegramm erst am Ende eines langen Lochstreifens angeschlossen werden kann, vergrößert die Laufzeiten der Telegramme ganz erheblich (vgl. Sattelberg: *Telegr.-Praxis* 1922, S. 33).

(1425) Mehrfachapparate. Die Leistungsfähigkeit einer Telegraphenleitung kann auch dadurch nutzbar gemacht werden, daß die in rascher Folge über die Leitung fließenden Stromstöße am Ende der Leitung durch rotierende Verteilerscheiben auf mehrere Apparate verteilt werden. Eine ähnliche Scheibe sorgt dafür, daß die in mehreren Sendern vorbereiteten Zeichen absatzweise aus diesen in die Leitung fließen. Die Verbindung wird dadurch in mehrere Kanäle (Sektoren) geteilt, deren Geschwindigkeit dann meist so bemessen wird, daß Sender und Empfänger von je einem Beamten bedient werden können. Ein besonderer Vorzug dieser Betriebsweise ist es, daß sie durch Anwendung der Staffel- und Gabelschaltung eine weitgehende Anpassung an das vorliegende Verkehrsbedürfnis zuläßt. Mehrfachapparate mit 2 bis 4 Sektoren sind der Baudot- und Western-Union-Apparat (1479, 1480).

(1426) Ausnutzung einer Fernsprechleitung für Telegraphie. Steht eine Leitung zur Verfügung, welche Frequenzen von $\omega = 2500$ bis $\omega = 12000$ fast gleichmäßig gut überträgt, so kann die Telegraphie hieraus eine große Anzahl von Verkehrswegen schaffen. Betrachtet man eine stark pupinisierte Fernkabelader mit einer Grenzfrequenz von $f_0 = 2500$ Hertz, so zeigt sich, daß für die in (1423) und (1424) genannten Ausnutzungsmethoden die Grenze der zulässigen Telegraphiefrequenz unter Zugrundelegung einer Entfernung von 1000 km bei etwa $f = 350$ bis 400 Hertz liegt. (Die Telegraphie muß fordern, daß jede einzelne Halbwelle schon nahezu eingeschwungen ist.) Ein absatzweise arbeitender Apparat sollte hieraus etwa 40 Kanäle mit je 250 Zeichen/min zu bilden imstande sein. Die einzelnen Stromstöße werden dann allerdings in der Leitung nur noch 1 bis 1,5 ms lang, doch dürfte dies keine unüberwindliche Schwierigkeit bilden, da ja der Verteiler für den Druck des Zeichens Zeit läßt.

Ein zweites Mittel, den weiten Frequenzbereich einer Fernsprechleitung auszunutzen, gibt die mehrfache Wechselstromtelegraphie an die Hand. Sie zerschneidet mit Siebketten den brauchbaren Frequenzbereich der Leitung, z. B. beim System Siemens & Halske in 6 Teile. Diese Siebketten erhalten einen derartigen Dämpfungsanstieg, daß auf jeder einzelnen Frequenz mit einer Geschwindigkeit bis zu etwa 1200 Zeichen/min gearbeitet werden kann (s. Abb. 861). Die Anordnung der Wechselstromtelegraphie im einzelnen s. (1531) bis (1547).

(1427) Mitbenutzung einer Fernsprechleitung durch die Telegraphie. Die Simultantelegraphie macht sich den Umstand zunutze, daß die Telephonie auf einer Doppelleitung arbeitet. Sie verwendet beide Leitungen parallel und als Rückleitung die Erde.

Muß Erde von der Fernsprechleitung ferngehalten werden, oder darf diese nur unter Beachtung besonderer Vorsichtsmaßnahmen verwendet werden, so gestattet die Unterlagerungstelegraphie (metallic polar duplex) die gleichzeitige Mitbenutzung durch die Telegraphie. Da die beiden Nachrichtenmittel in ganz verschiedenen Frequenzgebieten arbeiten (Telegraphie $f = 0$ bis 50; Fernsprecher $f = 400$ bis 2000 Hertz), so gelingt es unter Verwendung von Siebgebilden beide zu trennen (1533, 1534, 1536). Vgl. H. Stahl: ENT 1927, S. 367.

(1428) Wirtschaftliche Betriebsweise der Telegraphenapparate. Von den gesamten Ausgaben für die Telegraphie ohne Verzinsung des Anlagekapitals entfielen im Jahre 1924 etwa $\frac{2}{3}$ auf Personalkosten. Diese entstehen zu 70 vH am Telegraphenapparat, von welchem also zu fordern ist, daß er sich der Leistungsfähigkeit des Beamten anpaßt. Die Arbeit des gebenden Beamten ist bei normalem Druckbetrieb schwieriger als die des empfangenden. Also muß die Leistung des sendenden Beamten dem Apparat zugrunde gelegt werden. Im Durchschnitt können 4 bis 6 Zeichen/s am Tastensender abgegeben werden. Doch kann diese Leistung nicht über eine achtstündige Dienstschrift hinweg aufrechterhalten

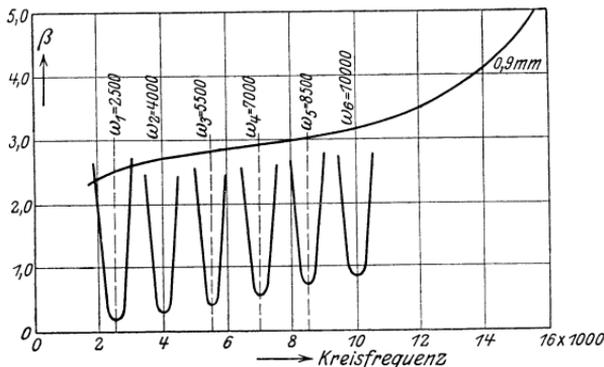


Abb. 861. Zerlegung des Frequenzbereichs eines Kabels durch Siebketten.

werden. Durch Austausch des Gebers und Nehmers kann eine durchschnittliche Leistung von 200 bis 250 Zeichen/min für den durch eine Kraft bedienten Sender erzielt werden. Dies kann der Sendebeamte nur dann leisten, wenn er in seiner Arbeitsweise an keinen Takt gebunden ist und das Zeichen durch Niederdrücken einer Taste der Normalklavatur bilden kann. Ein wirtschaftlicher Telegraphensender wird also die Schreibmaschinenklaviatur besitzen müssen und muß entweder ohne dauernden Gleichlauf (Start-Stop) arbeiten können, oder in einen Speicher (Iochstreifen oder ähnliches) arbeiten. Da die Leitung in den meisten Fällen eine weit höhere Geschwindigkeit als die des Einzelapparates erlauben wird, können bei vorliegendem Bedarf mehrere derartige „Einmannapparate“ mittels Verteiler auf der Leitung betrieben werden.

(1429) Apparate ohne dauernden Gleichlauf (Start-Stop-, Spring-Apparate). Bei den meisten Drucktelegraphen, wie Siemens, Baudot, Hughes müssen Sendende und Empfangsapparat dauernd isochron laufen. Zur Aufnahme des Betriebes ist immer eine nicht unbedeutliche Vorbereitungszeit erforderlich, um Drehzahl und Phase der beiden Apparate in Übereinstimmung zu bringen. Bei Leitungen mit geringem Verkehr kann dies sehr nachteilig sein, es bedingt ferner, daß der Apparat nicht ohne weiteres mit irgendeinem anderen gleichartigen zu-

sammen arbeiten kann, wie dies z. B. beim Fernsprecher möglich ist. Ein umschaltbarer Telegraphenapparat, der ohne jede Vorbereitung mit einem ihm gleichartigen Apparat zusammen arbeiten kann, würde aber den notwendigen Apparatpark der Telegraphie beträchtlich vermindern und dadurch auch eine Reihe anderer Kosten herabsetzen. Solche Apparate werden beschrieben (1451, 2) und (1480, 1481).

(1430) Einheitsapparat. Eine Reihe wirtschaftlicher Faktoren, wie Ausbildung und Einsatz des Personals, Verminderung der Anzahl von Umtelegraphierungen, Einschränkung des Apparatbestandes, Instandhaltung usw., lassen eine Vereinheitlichung des Telegraphenapparates dringend erforderlich erscheinen. Bezüglich der technischen und betrieblichen Grundsätze, welche für die Konstruktion eines einheitlichen Drucktelegraphen in Frage kommen, herrscht weitgehendes Einvernehmen. Es braucht dabei keineswegs an einen für die gesamte Telegraphie gültigen, im einzelnen durchgebildeten Apparatyp gedacht zu werden, vielmehr wäre es ausreichend, wenn nur die zum Zusammenarbeiten zweier Apparate notwendigen Arbeitsprinzipien festgelegt wären. Das Telegraphentechnische Reichsamt versucht einen Apparat zu entwickeln, der nachstehenden Forderungen genügen soll:

1. Der Einzelapparat soll in seiner Leistung auf den Beamten zugeschnitten sein [Einmannapparat (1428)].
2. Die Apparatteile sollen für sich allein als Springapparat oder unter Benutzung von Verteilern in mehreren Kanälen betrieben werden können.
3. Die Anwendung der Staffel- und Gabelschaltung muß möglich sein.

Literatur: Sattelberg: Zum Wiederaufbau in der Telegraphie. *Telegr.-Praxis* 1922, S. 33. — Wollin: Vereinheitlichung der Betriebsmittel im zwischenstaatlichen Telegraphenverkehr. *TFT* 1924, Heft 11.

(1431) Netzgestaltung. Die Entwicklung des deutschen Telegraphennetzes ist keine organische gewesen. Dort, wo die vorhandenen Mittel den Anforderungen eines stark wechselnden Verkehrs gegenüber nicht ausreichend erschienen, wurde durch immer wieder neuen Einsatz von Leitungen und Apparaten abgeholfen. Wie Berger (*Das deutsche Telegraphennetz bisher und künftig*, Z. f. Fernmeldetechn. 1923, S. 65) gezeigt hat, ist die Anzahl der auf einen Kilometer Leitung entfallenden Telegramme von 1875 bis 1913 nur von 83 auf 103 Telegramme im Jahr angestiegen. Selbst diese Zahlen werden heute bei dem erweiterten Netz und dem stark zurückgegangenen Telegrammverkehr nicht mehr erreicht. Eine bessere Belastung der Leitungen kann erzielt werden, wenn die in Angriff genommene Umgestaltung des Netzes durchgeführt ist. Sie versucht der veränderten Verkehrslage Rechnung zu tragen und den Telegrammfluß mit einer Mindestzahl an Umtelegraphierungen zu bewerkstelligen.

Als besonders unwirtschaftlich erweisen sich die kleinen und kleinsten Ämter mit ihren Morseschreibern. Solche Ämter werden auf den Fernsprecher verwiesen, mit welchem sie ihre Telegramme dem nächsten leistungsfähigeren Sammelamt zusprechen sollen. Andererseits wird die Telegraphie, die doch das gegebene Nachrichtenmittel für den Weitverkehr ist, nicht mehr länger darauf verzichten dürfen, daß auch auf den großen internationalen Verbindungen der Verkehr im unmittelbaren Zusammenarbeiten abgewickelt wird. Selbst lange Telegraphenseekabel werden nach den neuesten Fortschritten der Telegraphentechnik mit Drucktelegraphen betrieben werden können, so daß dem Durcharbeiten zwischen großen Städten Amerikas und den europäischen Wirtschaftszentren nichts mehr im Wege steht.

(1432) Wirtschaftliche Entwicklung der Telegraphie. Der Telegraphenbetrieb arbeitet in den meisten europäischen Ländern seit einer Reihe von Jahren mit Verlust. Eine am 1. Januar 1925 vorgenommene Herabsetzung der innerdeutschen Gebühren um ein Drittel hat nur eine geringe Steigerung des Verkehrs mit sich gebracht. Hingegen zeigt der Auslandsverkehr eine erfreulichere Entwicklung. Die schlechte Wirtschaftslage allein reicht zur Erklärung dieser Erscheinungen nicht aus, man muß vielmehr annehmen, daß die rasch fortschrei-

tende Entwicklung eines guten Fernsprechnetzes diesen Verkehr aufnimmt, soweit es sich nicht um solche Nachrichten handelt, für welche der Telegraph besondere Vorzüge aufzuweisen hat, wie:

1. börsenartige Nachrichten mit vielen Zahlenangaben,
2. schriftliche Unterlagen erfordernde Mitteilungen,
3. einseitige Mitteilungen, die keiner Antwort bedürfen,
4. Glückwunschtelegramme,
5. Nachrichten über sehr große Entfernungen.

Unter Beibehaltung der überkommenen Betriebsweise der Telegraphie (Abgabe, Umtelegraphieren und Aufnahme erfolgt durch Telegraphenbeamte) ist eine Besserung des wirtschaftlichen Ergebnisses aus der Durchführung der in (1427) bis (1431) skizzierten Maßnahmen zu erwarten.

(1433) Entwicklungsmöglichkeiten. Wenn die in (1430) genannten Telegraphenapparate, die einen Umschalteverkehr ermöglichen sollen, ihre praktische Brauchbarkeit erwiesen haben und in ähnlicher Weise wie beim Fernsprecher auch ein Vermittlungsdienst für Telegraphie eingeführt wird, erscheint es durchführbar, größere Geschäftshäuser, Banken, Fabriken usw. mit Geh-Stehapparaten auszurüsten und diesen die Möglichkeit zu geben, mit anderen Teilnehmern des Fernschreibverkehrs in unmittelbarem Austausch von Nachrichten zu treten. Die Gebührenberechnung würde dann ähnlich wie beim Fernsprecher nach Zeit und Entfernung erfolgen. Die hohen Personalaufwendungen für Telegraphie würden sich wesentlich vermindern, da die eigentliche Arbeit des Telegraphierens dem Teilnehmer obliegt, während das Telegraphenamit sich auf die Herstellung der gewünschten Verbindungen beschränkt. Die an eine Telegraphenverbindung zu stellenden technischen Anforderungen (1405) sind wesentlich billiger zu erfüllen als die Bereitstellung einer Fernsprechleitung. Da ferner der nach Art einer Schreibmaschine bediente Sender mit einer Wortgeschwindigkeit arbeitet, welche der beim Weitsprechverkehr üblichen entspricht, erscheint es durchaus möglich, daß in der ferneren Zukunft der Teilnehmerverkehr auch in der Telegraphie eine größere Rolle spielt, als der durch die Ämter behandelte Telegrammaustausch. Die hohen Kosten der dazu nötigen Telegraphenapparate werden aber den Kreis der Teilnehmer stark einschränken.

Literatur: Murray, Donald: Speeding up the telegraphs. J.I.E.E. 1924, S. 245. Vgl. auch ENT 1925, Heft 10.

(1434) Zusammenarbeit mit der drahtlosen Telegraphie. Die drahtlose Telegraphie hat auch heute noch einen nur sehr geringen Anteil an der Gesamtzahl der beförderten Telegramme. Sie spielt eine wichtige Rolle dort, wo direkte Leitungen fehlen, insbesondere im Schiffsverkehr, oder dort, wo viele und hohe Durchgangsgebühren zu zahlen sind. Da die drahtlose Telegraphie die Möglichkeit des Hörempfangs haben will, ist sie auf das Morsealphabet angewiesen, so daß beim Übergang zur Drahtverbindung meist Umtelegraphierung notwendig wird. Häufig bestehen auch beide nebeneinander, so daß mit oder ohne Draht gearbeitet werden kann.

(1435) Zusammenarbeit des Telegraphen mit dem Fernsprecher. Die großen Vorzüge des Telephons, welche diesem zu seiner raschen Ausbreitung verholfen haben, sind seine leichte Zugänglichkeit, der billige Preis des Apparates, die Möglichkeit, Frage und Antwort einander folgen lassen zu können. Gerade hier liegen aber auch die Schattenseiten des Telegraphen. Die Telegraphie wird sich also in Erkenntnis ihrer Schwächen darauf beschränken müssen, vor allem dort zu arbeiten, wo der Fernsprecher eine nicht mehr ausreichende Verständigung ergibt, oder wo es sich um spezifisch telegraphische Nachrichten (1432) handelt. Die Telegraphie wird, wie dort angedeutet, durch Förderung des Zurechnens an einigen der Vorzüge des Fernsprechers teilhaben.

(1436) Angestrebte internationale Vereinbarungen. Für den internationalen Verkehr spielt die Telegraphie auch heute noch die wichtigste Rolle und wird sie auch, wenigstens soweit es sich um große Entfernungen handelt, beibehalten.

Ihre Betriebsmittel sind aber schon im innerstaatlichen Verkehr außerordentlich mannigfaltig, noch viel mehr im Verkehr zwischen verschiedenen Ländern. Die Schaffung von durchgehenden Verbindungen leidet darunter sehr. Schon seit mehreren Jahren sind Bestrebungen im Gange, wenigstens zunächst einmal eine einheitliche Telegraphenschrift, ein einheitliches Alphabet für Druckempfang durchzusetzen. Ein weiterer Schritt wäre dann, sich über die grundsätzliche Arbeitsweise der Apparate soweit zu einigen, als es zur Ermöglichung des Zusammenarbeitens zweier Apparate notwendig ist. Der technische Fortschritt soll dadurch keineswegs gehemmt werden, denn es können innerhalb der zu gebenden Richtlinien die verschiedenartigsten, billige oder teure, betriebssichere oder weniger gute, Apparate gebaut werden.

Literatur: Booth: P.O.E.E.J. 1922, S. 209. — Murray: P.O.E.E.J. 1923, Januarheft und 1924, S. 181. — Wollin: TFT 1924, S. 109.

Telegraphenapparate.

(1437) Allgemein. Die elektrische Nachrichtenübermittlung beruht darauf, daß in eine Leitung Stromstöße von bestimmter Dauer oder in bestimmten Abständen gesandt werden, wobei jedem zu übermittelnden Buchstaben oder Zeichen eine verabredete Kombination von Stromstößen entspricht. Die Stromstöße werden von Hand oder maschinell gesandt. Am Empfänger werden die Stromstöße — meist elektromagnetisch — in mechanische Bewegung umgesetzt. In den ersten Anfängen der Telegraphie (Nadel- und Zeigertelegraphen) hat man solche Bewegungen direkt abgelesen. Heute werden die Bewegungen in akustische Signale (Klopfer, Summer) oder in dauernde, sichtbare Aufzeichnungen (Schreibtelegraphen), oder durch mechanische und elektromechanische Apparate in Druckschrift verwandelt.

(1438) Stromarten. Telegraphiert wird mit Gleich- oder Wechselstrom, bei Gleichstrombetrieb mit Einfach- oder Doppelstrom, indem Gleichstrom zeitweise unterbrochen oder umgepolt wird. Im Recorderbetrieb wird sowohl unterbrochen als auch umgepolt (s. a. Dreieralphabet).

Statt Gleichstrom kann auch Wechselstrom unterbrochen werden (s. Tonfrequenztelegraphie). Der Doppelstrombetrieb ist gegen Isolationsschwankungen der Leitung unempfindlich und erleichtert die Einstellung der Relais bzw. der Empfangsapparate. Bei Einfachstrombetrieb werden Stromstöße in die normal stromlose Leitung geschickt — Arbeitsstrom —, oder es fließt Dauerstrom, der zur Zeichengebung zeitweise unterbrochen wird — Ruhestrombetrieb (s. Telegraphenschaltungen).

Gleichstromspannungen sind gebräuchlich von 20 bis 200 V, Stromstärken von 10 bis 30 mA; in Amerika geht man bis 100 mA und mehr. Empfangsströme aus langen Seekabeln werden bis herunter zu 0,05 mA aufgezeichnet.

Die Alphabete. (1405) (Abb. 862.)

(1439) Das Morsealphabet setzt die Zeichen aus kurzen und langen Stromstößen zusammen, aus „Punkten“ und „Strichen“. Ein Strich = drei Punktlängen. Die Zwischenräume betragen im Buchstaben eine Punktlänge, zwischen den Buchstaben drei und zwischen den Wörtern fünf Punktlängen. Durchschnittslänge eines Zeichens 8,5 Stromschritte (d. h. Zeichenelemente, in diesem Falle Punktlängen) Das amerikanische Morsealphabet weicht etwas ab und hat eine Durchschnittslänge von 7,5 bis 8 Stromschritten. Mit dem Morsealphabet arbeiten: Morsefarbschreiber, Klopfer, Siemensschnellmorse, Wheatstone und Creed. Creed übersetzt die Morsezeichen in Druckschrift. Im allgemeinen ist jedoch das Morsealphabet wegen der verschieden langen Zeichen für einen Drucktelegraphen wenig geeignet. Auch sind die Morsezeichen fast doppelt so lang wie Fünferzeichen.

Von Hand kann man höchstens 150 Buchstaben = 30 Wörter in der Minute geben. Mit Maschinensendern wird bis zu 300 und 400 Wörtern gearbeitet.

(1440) **Das Kabelalphabet (Recorder)** verwendet statt der Striche entgegengesetzte Stromstöße von Punktlänge. Zwischen zwei gleichgerichteten oder entgegengesetzten Stromstößen eines Buchstabens wird gewöhnlich eine Erdung eingefügt (s. Curbsender). Die Impulse können aber auch unmittelbar aufeinander folgen. Buchstabenabstand = 1, Wortabstand = 3 Stromschritte. Die mittlere Länge eines Kabelzeichens beträgt nur 3,7 Stromschritte. Es ist das kürzeste, praktisch verwandte Alphabet. Bei gleichlangem Stromschritt wird mit dem Kabelalphabet etwa das 2,3fache vom Morse- und das 1,5fache vom Fünferalphabet übermittelt. Deshalb wird die Kabelschrift besonders im Seekabelbetrieb verwandt, wo die Länge des Stromschrittes durch die Kabeleigenschaften bedingt ist.

(1441) **Der Hughesapparat** verwendet für jeden Buchstaben nur einen kurzen Stromstoß, der einen bestimmten Abstand vom vorhergehenden hat.

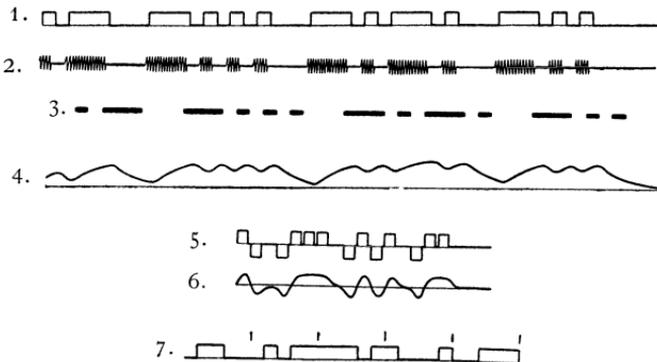


Abb. 862.

1. Gleichstromzeichen.
2. Wechselstromzeichen.
3. Schrift des Morseapparats.
4. Schrift des Undulators.
5. Kabelzeichen.
6. Schrift des Heberschreibers bzw. Drehspulenschnellschreibers.
7. Funferzeichen (Siemens-Schnelltelegraph).

Man kann sich die Buchstaben in gleichen Abständen auf einem Kreis angeordnet denken. Jeder Buchstabe ist dann bei festgelegtem Drehsinn bestimmt durch den Bogenabstand (eventuell $+2\pi$) vom vorherigen. Die Zeitdauer zwischen den Stromstößen entspricht der Länge der Bögen.

(1442) **Das Ferndruckeralphabet** ähnelt dem des Hughesapparats insofern, als der Abstand zwischen den kreisförmig angeordneten Buchstaben übermittelt wird. Für jeden zwischenliegenden Buchstaben wird eine Wechselstromperiode gesandt und bei Aufhören des Wechselstromes wird gedruckt.

(1443) **Das Fünferalphabet.** Werden zur Zeichengebung zwei Elemente benutzt (Strom und Stromlosigkeit oder $+$ - und $-$ -Strom), so ergibt sich für eine Einheitslänge von 5 Stromschritten eine Variationsmöglichkeit von 2^5 gleich 32 verschiedenen Zeichen. Drei verschiedene Fünferalphabete sind in Gebrauch. Mit dem Siemensalphabet arbeiten die Siemensapparate (Schnelltelegraph, Pendel- und Tastenschnelltelegraph). Mit dem Murrayalphabet arbeiten die amerikanischen Systeme (Western Union, Kleinschmidt, Teletype-Morkrum, Startstop - Greencode). Das Baudotalphabet wird von dem gleichnamigen System verwandt. Begründung der Verschiedenartigkeit: Baudot: leichte Erlernbarkeit für das Handsenden; Murray: größte Festigkeit des Streifens und geringste Abnutzung der Stanzstifte für die Durchschnittshäufigkeit der Buch-

staben in der englischen Sprache. Siemens: möglichst wenig Stromwechsel für die deutsche Sprache.

Zur Aufrechterhaltung des Gleichlaufs usw. verwenden die meisten Schnelltelegraphen noch besondere Stromstöße. Nur der Siemenssche Schnelltelegraph und der Schnelltelegraph der Western Union vermeiden Regulierströme, indem sie die eigentlichen Telegraphierzeichen mitausnutzen.

(1444) Dreieralphabet. Drei Einheiten (+, —, 0) ergeben bereits bei 3 Stromschritten $3^3 = 27$ Zeichen.

(1445) Telegraphiergeschwindigkeit. In bezug auf die Leitung interessiert die Anzahl der Impulse in der Sekunde bzw. die Länge des Einheitsstromschritts. International ist als Einheit das Baud festgesetzt; 1 Baud bedeutet 1 Stromschritt je Sekunde. Den Betrieb interessiert die Anzahl der in der Minute übermittelten Wörter bzw. Buchstaben. Die Anzahl der Impulse ist durch die Leitungseigenschaften gewöhnlich begrenzt; daher muß der Buchstabe möglichst wenig Stromschritte enthalten. Durchschnittslänge eines Buchstabens des Dreieralphabetes 3, des Recorderalphabetes 3,7, des Fünferalphabetes 5, des europäischen Morsealphabetes 8,5, des amerikanischen Morsealphabetes 7,5 Stromschritte.

Ein Wort rechnet man zu sechs Zeichen (fünf Buchstaben und ein Wortabstand bzw. Blankzeichen). Bei einer Geschwindigkeit von 600 Fünferzeichen/min dauert der Stromschritt 0,02 s. Die Engländer drücken beim Wheatstonesystem die Geschwindigkeit in Fuß Band je Minute aus. 1 Fuß Band = 30,5 cm Lochstreifen = 5 Wörter = 240 Stromschritte. 1000 Fünferzeichen entsprechen im Stromschritt etwa 100 Morsewörtern. Nach Wollin beträgt die Dauer des kürzesten Stromschrittes an einem Kabel ohne Selbstinduktion und ohne Kunstschaltung $t = 0,144 \cdot C \cdot R + 0,002$ s, an Kabeln mit wirksamer Selbstinduktivität

$$t = C \cdot R \left(0,173 - \frac{1}{2A} \right) + 0,002 \text{ s}$$

(C Gesamtkapazität, R Gesamtwiderstand, A Längenmaß). — (Tel.- u. Fernspr.-Techn. 1921, S. 49.) Durch Gegensprechen verliert man etwa 30 vH, bei Einfachstrombetrieb 15 bis 20 vH, und durch Zwischenschalten eines Flügelankerrelais 5 bis 10 vH (1250, 1411, 1417).

Apparate.

(1446) Sender. Zum Senden der Stromstöße werden Stromschlüssel, Tasten, verwandt, die den Stromweg öffnen und schließen oder die Batterie umpolen. Von Hand werden betätigt die Morsetaste, die Doppelstromtaste und die Recordertaste. Zur Erhöhung der Sendegeschwindigkeit werden häufig Apparate verwandt, die auf einen Fingerdruck ein ganzes Zeichen senden (Hughes, Baudot, Schreibmaschinentastensender). Bei Maschinentelegraphen wird die menschliche Tätigkeit ganz von der Leitung getrennt. Die Buchstabenkombination wird zunächst in einen Papierstreifen gestanzt (Lochstreifen) und dieser mit mehr oder weniger hoher Geschwindigkeit durch den Sender geschickt. Durch Verteiler werden mehrere von Hand oder durch Lochstreifen betätigte Sender nacheinander an die Leitung gelegt — Mehrfachtelegraphen.

Die eigentliche Sendetaste wird entweder rein mechanisch betätigt oder als elektrisches Relais.

(1447) Empfänger. Die Hauptrolle im Empfänger spielt gewöhnlich ein Magnetsystem. Beim Klopfer und Morseapparat bringt der Anker unmittelbar die Zeichen hervor, beim Relais dagegen löst der Anker stärkere elektrische Ströme aus. Vereinzelt werden als Magnetsystem Dreh- und Tauchspulen benutzt. Oberflächenwirkung benutzt das magnetische Trommelrelais von Lachlan und der Huth-Johnson-Rahbeksche Steinschreiber (1474).

Für den Massenverkehr werden unter normalen Umständen Drucktelegraphen benutzt, die ohne weiteren menschlichen Eingriff die Telegraphierzeichen

in Druckschrift wiedergeben. In Amerika werden die Telegramme fertig seitenweise gedruckt, während in Europa Streifendrucker vorgezogen werden.

(1448) **Lochstreifen.** Auf dem Lochstreifen des Siemens-Schnelltelegraphen sind die Zeichenkombinationen buchstabenweise in senkrechten Reihen an-

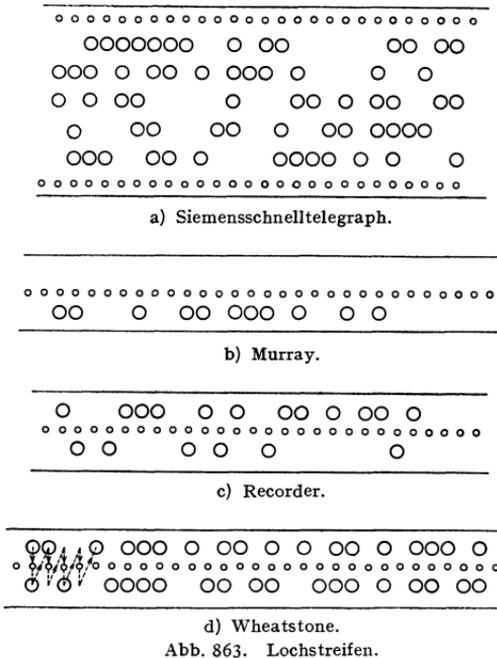


Abb. 863. Lochstreifen.

geordnet (Abb. 863a). Auf dem älteren Murraystreifen waren die Zeichen fortlaufend nach Abb. 863b angeordnet. Die aus dem Murrayapparat hervorgegangenen Systeme verwenden Streifen ähnlich dem Siemensschnelltelegraphen. Beim Recorderstreifen (Abb. 863c) erzeugen die oberen Löcher positive, die unteren negative Ausschläge. Beim Wheatonestreifen (Abb. 863d) wird ein Morsepunkt durch zwei untereinander stehende Löcher, ein Morsestrich durch schrägstehende Löcher wiedergegeben. Die Betätigung der + - und - Kontakte erfolgt nacheinander gemäß der punktierten Linie.

Der Vorteil des Lochstreifens liegt darin, daß mehrere Beamte gleichzeitig Streifen vorbereiten können, die dann mit großer Geschwindigkeit den Sender durchlaufen (Massenverkehr). Die Leitung wird gut ausgenutzt. Der Nachteil des Lochstreifens liegt darin, daß von der Vorbereitung des Streifens bis zum Senden meist eine erhebliche Zeit vergeht; dringende Nachrichten werden verzögert. Zum Lochen einer Telegrammserie von 20 Telegrammen zu je 200 Buchstaben braucht man etwa 15 min, dazu kommt die Zeit, die vergeht, bis der Sender für diesen Streifen frei wird. Kurze Extrastreifen bringen leicht Unordnung in den Betrieb.

Nach der Erfahrung des Seekabelbetriebs lassen sich Verzögerungen fast ganz vermeiden, solange die Sendegeschwindigkeit gering ist (150 bis 300 Zeichen je min). Dann kann der Streifen vom Locher mit kurzer Schleife ($1/2$ bis 1 m) direkt in den Sender laufen, wobei der Beamte mit dem Sender annähernd gleichen Schritt hält, so daß jede Nachricht wenige Sekunden nach dem Lochen auf die

Leitung gelangt. Ähnlich wird an den einzelnen Sektoren des Western Union-Mehrfachtelegraphen gearbeitet. Angefertigt werden die Lochstreifen in besonderen Lochern mit Schreibmaschinenklaviatur. Im Wheatstone- und Recorderbetrieb werden auch noch einfache Dreitastenlocher verwandt, die linke

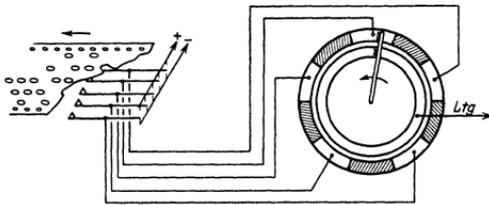


Abb. 864. Verteilerscheibe.

Taste stant den Punkt, die rechte den Strich und die mittlere den Zwischenraum. Die Tasten werden mit Holz- oder Metallklöppeln niedergeschlagen.

Minniotti versucht an Stelle des Lochstreifens Stahlkugeln zur Aufspeicherung der Telegraphierzeichen zu verwenden, die durch den Geber in eine

Scheibe mit fünf Lochreihen eingelegt werden. Fassungsvermögen 100 Zeichen. (Rev. gén. élect. Bd. 12, S. 173 D. — Gastelli: Telegr. a. Teleph. Journ. Bd. 10, S. 92.)

(1449) Die Verteilerscheibe (Abb. 864) besteht aus zwei oder mehr Kontaktsegmenten. Eine umlaufende Bürste verbindet die einzelnen Kontaktsegmente des einen Ringes nacheinander mit dem zweiten Ring (gewöhnlich ein Vollring). Die leitenden Segmente bestehen aus Bronze oder Eisen. In Frankreich und Amerika bestehen die Bürsten aus parallelen Kupferdrähten, die in gutem Zustand zwar sehr sauberen Kontakt geben, aber auch täglicher Wartung bedürfen. Siemens verwendet massive Bronzekohlenbürsten, wobei eine Säuberung der Scheibe nur in langen Zwischenräumen erforderlich ist.

Nach Abb. 864 werden die Fühlhebel eines Fünfersenders nacheinander über die Scheibe mit der Leitung verbunden. Am Empfänger wird die Leitung nacheinander über fünf Segmente mit fünf Relais oder Magneten verbunden. Durch besondere Hilfsmittel (s. Gleichlauf) bewegen sich Send- und Empfangsbürste mit gleicher Geschwindigkeit und Phase. Es werden immer zugehörige Fühlhebel und Relais miteinander verbunden und die Zeichenkombination der Fühlhebel durch die Empfangsmagnete oder Relais wiederholt.

Kurze Segmente. Um zu verhindern, daß bei geringer Phasenverschiebung der Empfangsbürste der für das eine Segment bestimmte Stromstoß auf

das Nachbarsegment übergreift, wird der isolierende Zwischenraum der Segmente vergrößert; nur ein kurzer Ausschnitt aus der Mitte des Stromstoßes wird zur Zeichenbildung benutzt. Gleichzeitig werden dadurch Unregelmäßigkeiten im Stromanstieg eliminiert. Durch kurze Segmente wird ein Empfänger unempfindlich gegen Geschwindigkeitsschwankungen und Störströme. Der Siemesschnelltelegraph ist bis auf $\frac{1}{10}$ des Stromschrittes heruntergegangen.

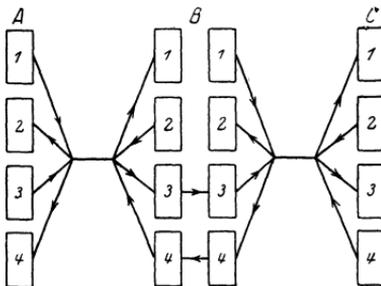


Abb 865. Staffelbetrieb.

(1450) In Mehrfachtelegraphen werden nacheinander ganze in sich abgeschlossene Telegraphenapparate (Sektoren) miteinander durch Verteiler

verbunden (Baudot, Western Union. Mehrfachtelegraph für Morse- und Klopfbetrieb s. Delany). Gewöhnlich ist jeder Sektor wieder in fünf Segmente unterteilt zur Übermittlung des Fünferalphabets. Staffelbetrieb verbindet mehrere Ämter gleichzeitig auf einer Leitung durch Mehrfachtelegraph. Abb. 865 stellt

z. B. einen Vierfachtelegraphen dar, der die drei Ämter *A*, *B*, *C* miteinander verbindet. Auf Sektor 1 kann *A* nach *B* und *B* nach *C* arbeiten. Auf Sektor 2 umgekehrt *C* nach *B* und *B* nach *A*, während auf Sektor 3 und 4 die Endämter unmittelbar miteinander verkehren.

(1451) Gleichlauf der Apparate. Drucktelegraphen und Empfangslocher bedürfen in der Regel einer Vorrichtung, welche den Geber und Empfänger an beiden Enden der Leitung im Gleichlauf erhält (1449). Dieser Gleichlauf kann entweder dauernd sein, so daß Geber und Empfänger sich immer in gleicher Phase befinden, oder Geber und Empfänger sind elektrisch so verkettet, daß auf einen Schritt des ersten notwendig der gleiche Schritt des zweiten folgen muß, oder der Empfänger wird elektrisch im selben Augenblick wie der Sender für eine einzige Umdrehung in Umlauf versetzt, der nun mit annähernd gleicher Geschwindigkeit erfolgt. Die erste Gleichlaufart wird verwandt bei den Apparaten von Hughes, Baudot, Siemens, Western Union, die zweite beim Siemensferndrucker und die dritte bei dem Pendeltelegraphen, dem Siemenstastenschnelltelegraphen, dem Startstopapparat der Western Union Co., dem Morkrum und dem Kleinschmidtsystem.

1. Der Hughesapparat. Laufwerke mit gleichen Gewichten oder gleiche Motoren treiben Sende- und Empfangsapparat. Genauere Einstellung mit der

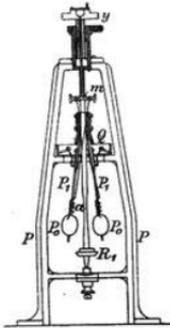


Abb 866. Hughesbremse.

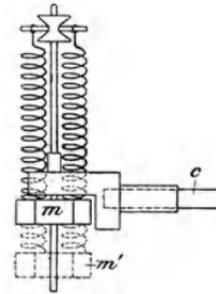


Abb 867. Baudotbremse.

Zentrifugalbremse (Abb. 866), deren Geschwindigkeit durch Verkürzung der Pendel P_1 erhöht wird und umgekehrt. Zum Ausgleich geringer Unregelmäßigkeiten dient der Korrektdaumen an der Druckachse, welcher in ein mit dem Typenrad fest verbundenes Zahnrad eingreift und hierbei das nur durch Reibung mit seiner Achse gekuppelte Typenrad kurz vor dem Abdruck des Zeichens nach Bedarf ein wenig vor oder rückwärts schiebt.

2. Der Creedempfangslocher korrigiert die Lage des Stanzstreifens nach Art des Korrektdaumens des Hughesapparats; (1471, Abb. 898).

3. Der Baudotapparat verwendet gleichen Gewichtsantrieb auf beiden Ämtern und eine Zentrifugalbremse nach Abb. 867, drehbar um die Achse *c*. Dreht sich *c*, so fliegt die Masse *m* nach außen (Stellung *m'*), bis ihr die Federn das Gleichgewicht halten. Hierdurch wird der Schwerpunkt der Masse so verlegt, daß sie die Achse *c* nach außen zu biegen strebt und Reibung im Achslager verursacht. Durch Änderung der Federspannung oder der Masse (Auflegen oder Abnehmen von Messing- oder Aluminiumblättchen) wird die Achsreibung so geregelt, daß der korrigierte Apparat etwas schneller läuft. Der korrigierende Apparat entsendet bei jeder Umdrehung der Bursten einen Korrektionsstrom, der im korrigierten Apparat wirkungslos zur Erde geht, wenn Gleichlauf vorhanden ist. Eilt die Empfangsbürste des korrigierten Amtes um einen bestimmten Betrag vor, so trifft der Empfangsstrom auf einem Segment ein, welches mit

dem Korrektionsmagnet verbunden ist. Dieser dreht die Bürste um einen bestimmten Winkel auf der Achse zurück.

Vereinzelt ist auch für den Baudotapparat das phonische Rad mit Erfolg (s. Nr. 5) benutzt worden.

4. Der Siemens-Schnelltelegraph verwendet gleiche Antriebsmotoren, die durch Vorschaltwiderstände grob auf die gleiche, vereinbarte Geschwindigkeit gebracht werden (angezeigt durch ein Tachometer). Die mühselige Feineinstellung

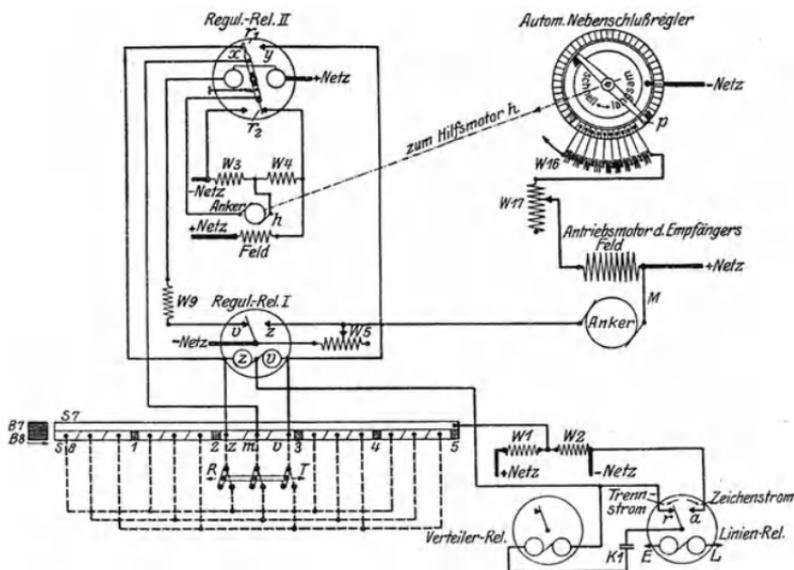


Abb. 868. Regulierung des Siemens-Schnelltelegraphen.

besorgt der Apparat selbsttätig, indem ein kleiner Hilfsmotor (Abb. 868) bei jedem Stromwechsel, durch ein Regulierrelais betätigt, langsam und schrittweise Vorschaltwiderstand in das Feld des Antriebsmotors ein- oder ausschaltet. Ein weiteres Regulierrelais schaltet schlagartig einen Vorschaltwiderstand zum Anker des Antriebsmotors zur rascheren Einwirkung. Gesteuert werden die Regulierrelais über die *z*-, *m*- und *v*-Segmente, die zwischen den kurzen Wählsegmenten 1 bis 5 liegen, je nachdem die Bürste in der Phase nachbleibt, übereinstimmt oder voreilt.

Solange der Streifen läuft, bewirken die Telegraphierströme selbst die Regelung, ohne daß besondere Stromstöße erforderlich sind; wenn kein Streifen läuft, schickt der Sender selbsttätig Regulierzeichen (+ + — + +). Zur erstmaligen Einstellung der richtigen Phase werden nur die mittleren Reguliersegmente angeschaltet.

5. Das phonische Rad von La Cour, Abb. 869. Eine Stummgabel, deren Tonhöhe durch Laufgewichte *L* geregelt wird, erregt sich selbst über den Magnet *M*. Über die Kontakte *K*₁ und *K*₂ werden abwechselnd die Magnetpaare *CC*₁ und *BB*₁ erregt. Dadurch wird das Weicheisenzahnrad mit großer Schwungmasse *A* in Umdrehung versetzt, deren Geschwindigkeit von der Tonhöhe der Stummgabel abhängt. Das Rad treibt die Verteilerachse. Das phonische Rad wird im Murrayapparat und den Mehrfachapparaten von Delany und der Western Union verwandt, auch für den Baudotapparat ist das phonische Rad mit Erfolg versucht worden (Mercy, M.: Ann. d. Postes et Tél. 1922, S. 273).

6. Regelung des Mehrfachtelegraphen der Western Union. Der Empfänger läuft, wie beim Baudotapparat, etwas schneller als der Sender, Abb. 870. Bei Phasenübereinstimmung trifft Zeichenstrom zwischen *B*- und *A*-Segment ein. Eilt die Empfangsbürste vor, so daß Zeichenstrom auf einem *A*-Segment eintrifft, so schaltet ein mit der Verteilerachse rotierender Magnet *M* die Bürste um einen bestimmten Winkel zurück. Gegenüber dem ähnlichen Baudotregler kann der Eingriff bei jeder Bürstenstellung erfolgen und bedarf keines besonderen Stromschritts. Kurz nach dem Eintreffen des Stromstoßes wird das Relais *R* abgeschaltet, damit das *A*-Segment stromlos bleibt, wenn Zeichenstrom auf dem *B*-Segment eingetroffen ist. Der Ring mit den *A*- und *B*-Segmenten ist gegen den Wählring zur günstigsten Einstellung verdrehbar.

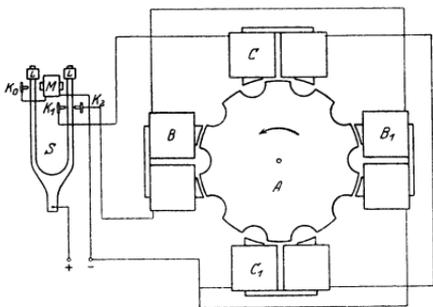


Abb. 869. Phonisches Rad.

Eine andere elektrische Regulierung beeinflusst magnetisch die Eigenschwingung der Empfängerstimmgabel (phonisches Rad).

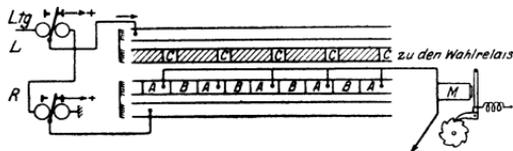


Abb. 870. Regulierung des Mehrfachtelegraphen der Western Union.

7. Gleichschritt der Springapparate (Startstop). Vor Übermittlung jedes Zeichens wird ein Anlaßstromstoß entsandt, der die Empfangsbürste freigibt. Empfänger- und Sendebürste beginnen jedes Zeichen mit gleicher Phase. Die Geschwindigkeit der beiden Apparate braucht nur so weit übereinzustimmen, daß während einer Umdrehung die Phasenabweichung gering bleibt (15 vH). Nach Beendigung jedes Zeichens werden Sender- und Empfängerbürste in gleicher Stellung festgehalten.

(1452) Typendruck. Einige amerikanische Typendruker verwenden Typenhebel. Der ganze Druckvorgang vollzieht sich wie bei der Schreibmaschine, nur daß die Typenhebel elektrisch durch die ankommenden Ströme ausgelöst werden. Alle übrigen Drucktelegraphen verwenden Typenräder, auf deren Umfang die Typen aufgravirt sind. Meist läuft das Typenrad beständig um und das Papier wird im richtigen Augenblick zum Abdruck gegen das Typenrad geschleudert, oder es wird umgekehrt das Typenrad auf das Papier gedrückt. Bei anderen Telegraphen wird das Typenrad um einen bestimmten Winkel gedreht und der Druck geht bei stehendem Typenrad vor sich, z. B. beim Ferndruker und bei amerikanischen Schrittapparaten. Die höchste Druckleistung erreicht der Siemenssche Schnelltelegraph mit 1000 Zeichen in der Minute. Für den Zwischenraum (Blankzeichen) wird entweder nur das Papier vorgerückt ohne Auslösung eines Druckvorgangs oder das Papier trifft auf eine Lücke im Typenrad.

Streifen- und Seitendruker. Die in Amerika verwandten Seitendruker liefern fertige Telegramme. Die europäischen Drucktelegraphen drucken auf einem fortlaufenden, schmalen Streifen, der dann auf Telegrammformulare aufgeklebt wird. Der Seitendruker erspart zwar die Arbeit des Aufklebens, ist

aber verwickelter im Aufbau. Auch vermag selbst die unsichtbare Radierung (s. Mehrfachtelegraph der Western Union) ein unsaubereres Aussehen der Telegramme nicht zu verhindern. In Amerika wird deshalb neuerdings zum Streifen drucker zurückgegriffen.

(1453) Zahlenwechsel. Die 32 Kombinationen des Fünferalphabets reichen zur Wiedergabe sämtlicher Buchstaben, Ziffern und Satzzeichen nicht aus. Einige Drucker (Siemensapparate) verwenden zwei Typenräder hintereinander auf derselben Achse. Die Winkelstellung der Typenräder wird durch die Kombination bestimmt. Um das gewünschte Typenrad zum Druck heranzuziehen, wird durch das der Zahlengruppe vorangehende Zahlenblankzeichen oder durch das der Buchstabengruppe vorangehende Buchstabenblankzeichen eine Verschiebung der Achse bewirkt. Andere Systeme lösen den Übergang von Buchstaben zu Zahlen in der Weise, daß auf dem Typenrad abwechselnd Buchstaben und Zahlen aufgraviert sind, und daß das Typenrad in der einen oder anderen Richtung durch die beiden Blankzeichen verdreht wird. Die Schreibmaschinen drucker heben den Papierwagen.

(1454) Antriebe. Den geringsten Platz und Aufwand erfordert der Federantrieb, der für kleine Anforderungen, z. B. für den Morseapparat, genügt. Für höhere Ansprüche hat man zum Gewichtsantrieb gegriffen (Hughes, Wheatstone, Baudot). Beide Antriebsarten erfordern von Zeit zu Zeit ein Aufziehen von Hand. Baudot zieht mit kleinem Motor auf, der selbsttätig eingeschaltet wird. Moderne Apparate werden mit Elektromotorenantrieb ausgerüstet (Hughes, Siemensgeräte, amerikanische Systeme, neuerdings auch Creed). Der Motorantrieb erlaubt ununterbrochenen Betrieb ohne Wartung, bequeme Geschwindigkeitseinstellung von Hand, einfache und sichere Synchronisierung, sowie einfache Montage bei geringem Raumbedarf.

Magnetsysteme.

(1455) Relais. Für große Druck- und Schreibleistungen reicht die Energie des Linienstromes meist nicht aus. In solchen Fällen werden Relais mit empfindlichem Elektromagnetsystem und leichtem Anker zur Schaltung stärkerer Ströme verwandt.

(1456) Neutrale und polarisierte Magnete. Beim neutralen Magnet muß die magnetische Anziehung eine Federkraft überwinden, welche den Anker nach Aufhören des Stromes in die Ruhelage zurückführt. Neutrale Magnete sind nur bei Einfachstrom verwendbar.

Beim polarisierten Magnet (Abb. 871) wird dem veränderlichen Magnetfluß ϕ — erzeugt durch den Strom — ein durch den Dauermagnet erzeugter permanenter Fluß ϕ_1 und ϕ_2 überlagert. Die Feder fällt fort. Im Ruhezustand wird der Anker durch den Dauerfluß in seiner zufälligen Lage festgehalten. Wird durch den Strom der dem Anker zunächstliegende Pol geschwächt und der entferntere verstärkt, so wird der Anker umgelegt.

(1457) Empfindlichkeit der Elektromagnete. Um einen Magnetanker aus der einen Ruhelage in die andere zu bringen, müssen außer der Tragheit die Gegenkraft (Feder, Dauermagnet) und Reibungswiderstände überwunden werden. Je kleiner diese und je größer die erzeugte Kraft bei bestimmter Energiezufuhr ist, um so empfindlicher ist der Magnet. Bei einem Fluß ϕ und vernachlässigter Reibung wirkt auf den Anker des neutralen Magnets eine Kraft proportional $\phi^2 - k$, wo k proportional der Federkraft ist. Im polarisierten Magnet ist die auf den Anker ausgeübte Kraft proportional

$$(\phi_2 + \phi)^2 - (\phi_1 - \phi)^2 = 2\phi(\phi_1 + \phi_2) - (\phi_1^2 - \phi_2^2).$$

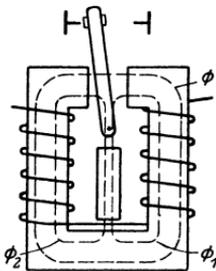


Abb. 871. Schema des polarisierten Relais.

(Breisig: Theoret. Telegr. 1912, S. 134). In Abb. 872 sind die Kräfte im polarisierten und neutralen Magnet in Abhängigkeit vom Fluß aufgezeichnet. Im allgemeinen wird der Schnittpunkt der Kurven oberhalb der Nulllinie liegen, so daß die Empfindlichkeit des polarisierten Magnets bei kleinen Stromstärken größer ist als die des neutralen. Zur Erzeugung großer Wirkung mit stärkeren Strömen ist der neutrale Magnet geeigneter. Der polarisierte Magnet spricht an, wenn der Ausdruck $2\Phi(\Phi_1 + \Phi_2) - (\Phi_1^2 - \Phi_2^2)$ durch Null geht. Erhöhen läßt sich die Empfindlichkeit durch Verringern des Kontakthubs (Verkleinern von $\Phi_1^2 - \Phi_2^2$). Der Polschuhabstand für höchste Empfindlichkeit ist ein ganz bestimmter (beim Siemensrelais etwa 0,5...1 mm). Der Dauermagnetfluß darf nicht zu stark sein. S. auch (1461).

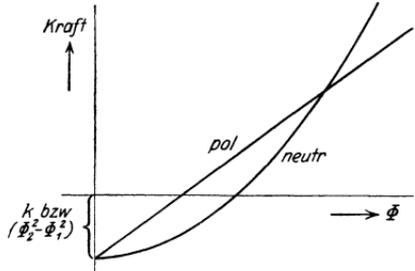


Abb. 872. Kraft im polarisierten und neutralen Magnet

Der remanente Magnetismus der Polschuhe und Kerne muß möglichst klein sein, schwedisches Flußeisen, Holzkohleisen.

(1458) Kontaktdruck. Gegen Erschütterung muß ein Magnet unempfindlich sein, der Anker muß in jeder Lage mit Druck an den Anschlägen bzw. Kontakten anliegen. Beim neutralen Magnet wächst der Kontaktdruck in der Ruhelage mit k , in der Arbeitslage mit $\Phi^2 - k$, vorausgesetzt, daß die Zugkraft der Feder in den beiden Ankerlagen nicht merklich verschieden ist. Damit der Kontaktdruck in beiden Lagen gleich groß wird, muß k bei gegebener Betriebsenergie gleich $\frac{\Phi^2}{2}$ gemacht werden oder: der Magnet muß auf etwa zwei Drittel

des Betriebsstromes gerade ansprechen (Breisig: Theoret. Telegr. 1921, S. 131 berücksichtigt auch die verschiedene Federkraft in den beiden Ankerlagen).

Beim polarisierten Magnet ist der Kontaktdruck des stromlosen Magnets proportional $(\Phi_2^2 - \Phi_1^2) = M^2(S_2^2 - S_1^2)$, wo M^2 proportional der Stärke des Dauermagnets ist. S_2 und S_1 sind umgekehrt proportional dem Luftspalt, wenigstens solange dieser noch groß ist.

Großer Kontaktdruck ist bedingt durch starken Dauermagnet und große Polabstandsdifferenz, d. h. kleinen Polschuhabstand und großen Hub. Sehr hohen Kontaktdruck erreichen das Siemensrelais (250 g) und das Creedrelais.

(1459) Die Umschlagszeit (d. i. die Zeit, welche der Anker braucht um von dem einen Kontakt zum andern zu gelangen) muß klein sein gegenüber dem Stromschritt. Bei einer Telegraphiergeschwindigkeit von 2000 Fünferbuchstaben dauert der Stromschritt 0,006 s. Gute Relais erreichen Umschlagszeiten von 0,001 s. Die Umschlagszeit wird kleiner mit dem Kontaktabstand und mit der Masse bzw. dem Trägheitsmoment des Ankers. Ferner verringert sich die Umschlagszeit, wenn die auf den Anker ausgeübte Kraft vergrößert wird durch Erhöhung der zugeführten Energie oder des Dauerflusses.

(1460) Das Prellen der Relais ist von elastischen Eigenschaften des Ankers und der Anschlagböcke abhängig. Durch Vergrößerung des Kontaktdruckes wird der Prellvorgang beschleunigt und praktisch beseitigt.

(1461) Energieverbrauch und Scheinwiderstand. Die auf den Anker ausgeübte Kraft ist proportional dem Quadrat des Magnetflusses und dieser ist proportional der Zahl der Amperewindungen. Bei gleichbleibendem Wickelraum läßt sich die Gleichstromempfindlichkeit eines Relais durch Erhöhung der Windungszahl beliebig heraufsetzen, solange der Verlust an Wickelraum durch Isolation und Luft klein bleibt gegenüber dem Kupferquerschnitt. Die Span-

nungsempfindlichkeit dagegen fällt mit der Windungszahl. Konstant bleibt die Energieempfindlichkeit. Diese eignet sich daher am besten zur Angabe der Empfindlichkeit. Das gilt für genügend lang anhaltende Gleichstromimpulse.

Durch Erhöhung der Windungszahl steigt die Selbstinduktivität, schnell wechselnde Zeichen werden verzerrt. Baudot verringert die Selbstinduktivität auf Kosten der Empfindlichkeit durch Aufschneiden des Elektromagnetjochs. Andere Relais bringen so viel ohmschen Widerstand in die Wicklung, daß die Zeitkonstante genügend klein bleibt. Wo es auf sparsame Energiewirtschaft oder Kleinhaltung der Ströme ankommt, ist Vorschalten einer Maxwellerde (1513) vorzuziehen.

Ein Relais nimmt aus der Leitung die meiste Energie auf, wenn seine Wicklung an den Scheinwiderstand der Leitung angepaßt ist (Salinger: TFT 1922, S. 114).

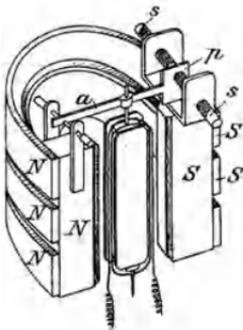


Abb 873. Magnetsystem des Drehspulenrelais

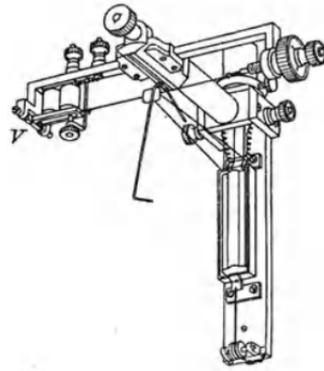


Abb. 874. Magnetsystem des Heberschreibers.

Zum Betriebe brauchen Relais etwa 20 bis 50 mW. Die Ansprechgrenze bei sehr empfindlicher Einstellung liegt bei 0,5 bis 5 mW. Besonders empfindlich ist das Gulstadrelais.

Die Zeitkonstante L/R eines Magnets gibt die Zeit an, in welcher der Strom beim Anlegen einer Sammlerbatterie auf das 0,63fache seines Endwertes ansteigt (20 mA). Das gilt, solange die Sättigung des Eisens noch nicht erreicht ist. Die Zeitkonstante ist bei gleicher Ausnutzung des Wickelraumes unabhängig von der Windungszahl, dagegen ist sie stark abhängig vom Luftspalt, d. h. von der Einstellung der Polschuhe und der Stellung des Ankers, so daß Zahlen nur bei gleichzeitiger Angabe der Einstellung Wert haben. Größenordnung 0,005 bis 0,05 s. Besonders klein ist die Zeitkonstante des Baudotrelais, hoch diejenige des Creedrelais.

(1462) Drehspulen. Im magnetischen Feld ist eine Spule drehbar gelagert oder aufgehängt, Windungsfläche parallel, Achse senkrecht zum Kraftfluß des Dauermagnets. Unter Strom sucht sich die Drehspule mit der Windungsfläche senkrecht zum Kraftfluß zu stellen, meist entgegen einer Federkraft. Die Ausschläge sind proportional der Stromstärke (Drehspulenrelais Abb. 873, Heberschreiber Abb. 874, Drehspulenschnellschreiber von Siemens & Halske Abb. 875). Zur annähernd bildgetreuen Wiedergabe einer Stromkurve muß das System durch elektrischen Nebenschluß oder Reibung aperiodisch gedämpft sein. Die Eigenfrequenz muß über der höchsten zu schreibenden Frequenz liegen. Tauchspule, Steinschreiber und magnetisches Trommelrelais siehe (1473, 1474).

(1463) Ausgeführte Elektromagnete und Relais. Neutrale Elektromagnete werden in verschiedenartiger Ausführungsform in Ortsstromkreisen für kräftige

Anziehung und stärkere mechanische Wirkungen benutzt. Druckmagnete, Papierschubmagnete usw.

1. Das neutrale Relais der Postverwaltung (Abb. 876) genügt bei geringer Telegraphiergeschwindigkeit auch als Linienrelais (zur Aufnahme der Zeichen aus einer längeren Leitung). Gewöhnlicher Hufeisenelektromagnet mit geschlitztem Hohlzylinderanker und Abreißfeder ($2 \times 200 \Omega$).

2. Neutraler Klopfer- und Morsemagnet s. (1467, 1468).

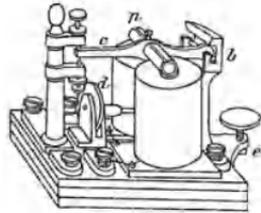


Abb 876. Neutrales Relais.

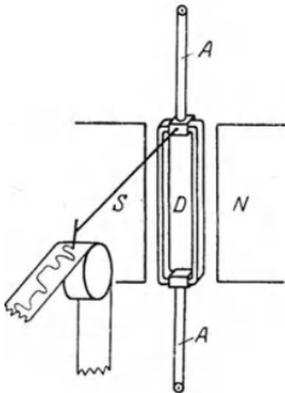


Abb. 875. Magnetsystem des Drehspulenschnellschreibers von Siemens & Halske.

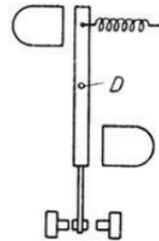


Abb. 877. Neutrales Relais von Siemens & Halske.

3. Beim neutralen Siemensrelais (Abb. 877) liegt der Anker und auch der Drehpunkt *D* zwischen den Polschuhen.

4. Im polarisierten Magnetsystem von Siemens & Halske (Abb. 878) trägt der gekrümmte Dauermagnet *NS* auf einem Pol das Weicheisenjoch *J* mit den Polschuhen und Spulen. Im anderen Pol ist der Anker gelagert.

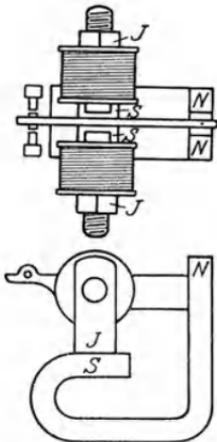


Abb. 878. Polarisiertes Relais von Siemens & Halske.

5. Im Siemenschen Schnellmorseempfänger drückt der Anker das Schreibrädchen gegen das Papier. Im Relais spielt der Anker zwischen zwei Kontakten. Polschuhabstand und Kontakte sind verstellbar. Im Linienrelais sind die Kontakte zur bequemen Feineinstellung auf einem Schlitten angebracht. Wicklung verschieden. Hoher Kontaktdruck, kleine Umschlagszeit und geringes Prellen.

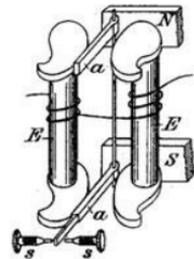


Abb 879. Magnetsystem des Wheatstone-Empfängers.

6. Das Magnetsystem des Wheatstoneempfängers (Abb. 879) hat zwei starr verbundene Anker, die durch einen Dauermagnet entgegengesetzt polarisiert sind. Verwendung im Wheatstoneempfänger und im Standardrelais der britischen Postverwaltung.

Das Gulstadrelais verwendet dasselbe Magnetsystem, nur ist der Anker leichter gebaut und in Steinen gelagert. Das Relais wird in Vibrationsschaltung im Kabelbetrieb verwandt (1552). — Standardrelais, Roberts, A. H.: Post Office El. Eng. Journ. 1921, 13.

7. Im Flügelankerrelais (Abb. 880) liegt der Elektromagnet mitsamt dem Anker zwischen den Polen des Dauermagnets *SN*. Der Drehpunkt des Ankers liegt in der Mitte der Hauptmasse, so daß das Trägheitsmoment sehr klein ist. Einstellbar sind beide Dauermagnetpole und die Kontakte, auch das Elektromagnetsystem ist verschiebbar. Die Reichspostverwaltung benutzt als Linienrelais fast ausschließlich das Flügelankerrelais. Das Relais wird zu 150 und 500 Ω gebaut.

8. Im Baudotrelais (Abb. 881) wird der Anker *n* über seine eiserne Achse *b* durch den Magnet *NS* polarisiert; das Stück *d* besteht aus Messing. Die Achse

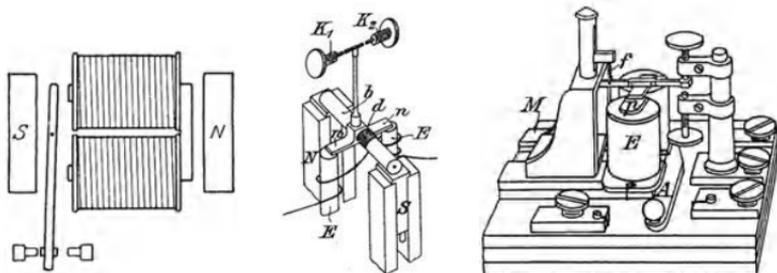


Abb 880. Flügelankerrelais. Abb. 881. Magnetsystem des Baudotrelais. Abb. 882. Deutsches polarisiertes Relais

lagert auf der einen Seite mit einer kegelförmigen Ausbohrung auf einer Stahlspitze, auf der anderen Seite mit einer Schneide in einem dreikantigen Ausschnitt. Die Einstellung des Ankers erfolgt durch Verstellung der Kontaktschrauben *K*₁ und *K*₂; das ist weniger bequem und zuverlässig als mit einem Schlitten. Der Abstand der Pole vom Anker wird durch Heben und Senken des Elektromagnets *E* verändert. Das Relais erreicht durch die Schneidenlagerung und feine Arbeit eine beträchtliche Empfindlichkeit, trotzdem das Joch aufgeschnitten ist.

9. Permalloyrelais. Magnetsystem wie Creed; doch ist der federnde Anker magnetisch isoliert zwischen den Polschuhen (rechts in Abb. 884) eingeklemmt. Alle Weicheisenteile bestehen aus Permalloy. Das Relais ist für die Telegraphie auf Fernsprechkupferkabeln entwickelt (J. A. I. E. E. 1925, S. 223).

10. Amerikanische Relais sind beschrieben in Telegraph and Telephone Age 1922, S. 181, 204.

11. Beim Elektromagnet des deutschen polarisierten Relais (Abb. 882) wird der Weicheisenanker von einem Dauermagnet entgegen einer Federkraft gerade noch angezogen. Der Strom braucht den Dauermagnet nur um ein geringes zu schwächen, damit die Feder den Anker abreißt. Der Dauermagnetfluß kann durch einen Schwächungsanker mehr oder weniger kurz geschlossen werden.

12. Auch der Hughesmagnet (Abb. 883) ist mit Abreißfeder und Schwächungsanker ausgerüstet. Das Abreißen des Ankers besorgen zwei kräftige Blattfedern, die Zurückführung erfolgt mechanisch. So vermag der Hughesmagnet selbst bei schwachen Strömen ganz beträchtliche Wirkungen auszulösen.

13. Beim Creedrelais (Abb. 884) ist der bewegliche Spulenkern als Anker ausgebildet. Durch Aufwendung großer Eisenmengen und durch die Anordnung wird der magnetische Widerstand sehr klein gehalten. Hohe Empfindlichkeit und kräftiger Kontaktdruck bei starker Induktivität.

14. Im Drehspulenrelais (Abb. 873) schwingt die eisenlose Spule um eine senkrechte Achse, an welcher die Relaiszunge a befestigt ist, zwischen den Polen N und S . Die Ruhelage der Spule wird durch die Anziehung der auf S sitzenden beiden verstellbaren Polschuhe s auf die Eisenplatte p bestimmt.

15. Das Allan-Brownrelais mit Jockey (Abb. 885) wird in der Kabeltelegraphie benutzt, weil es einer wandernden Nulllinie zu folgen vermag. Es

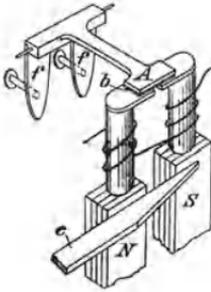


Abb. 883. Hughesmagnet mit Abreißfeder und Schwachungsanker

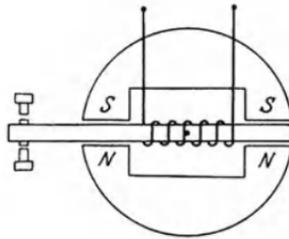


Abb. 884. Creeds Relais.

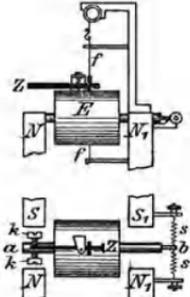


Abb. 885. Magnetsystem des Allan-Brown-Relais.

erreicht mechanisch, was das Gulstadrelais durch die Vibrationsschaltung und Maxwellerde und induktiven Nebenschluß schalttechnisch erreichen: Entzerrung der Kabelströme. Der Anker folgt kontinuierlich der Stromkurve und nimmt bei jeder Umkehrung durch Reibung die Zunge Z zum Gegenkontakt mit.

(1464) Aufnahme der Stromkurve. Häufig sind Kabelzeichen derart verzerrt, daß ein Relais oder ein Apparat mit zwei Kontakten oder Endstellungen die Stromimpulse nicht zu trennen vermag. Dann werden Elektromagnete zur formgetreuen Wiedergabe der Kurve verwandt.

Im Undulator (Abb. 886) sind die mit den ungleichnamigen Polen nebeneinander liegenden Magnetstäbchen NS so leicht beweglich und werden mit so geringer Kraft durch die Spiralfedern f in der mittleren Lage zwischen den Polschuhen p gehalten, daß sehr geringe Erregung der ebenfalls ungleichnamig gegenübergestellten Elektromagnete zur Ablenkung proportional der Stromstärke genügt. Schrift s. Abb. 862, 4.

Drehspulen s. (1462) und Heberschreiber Abb. 874, 875, Heurtleyverstärker (1473), Kabelrelais von Brown (1474), Drehspulenschnellschreiber von Siemens & Halske.

Abb. 886. Magnetsystem des Undulators.

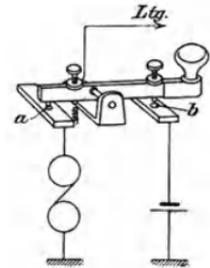


Abb. 887. Morsetaste.

(1465) Das Summerrelais (Vibrationsrelais) spricht an auf Wechselstrom (etwa $\omega = 1000$ bis 3000). Auf einer gewöhnlichen Fernhöreremembran liegen vier leichte Hämmerchen, die ebensoviel hintereinander geschaltete Kontakte öffnen oder schließen.

Verschiedene Telegraphensysteme.

(1466) Handsender. Morsetaste (Abb. 887), Höchstgeschwindigkeit 150 Buchstaben = 25 Wörter/min. Für Arbeitsstrombetrieb liegt an b die ge-

erdete Batterie, an a der geerdete Empfänger, für Ruhestrombetrieb ist b frei, an a liegen Batterie und Empfänger in Reihe, und zwar bei Endämtern an Erde, bei Zwischenämtern am anderen Leitungsweig. Für den Morsebetrieb wird eine schwerere, für den Klopferbetrieb eine leichtere Taste verwandt.

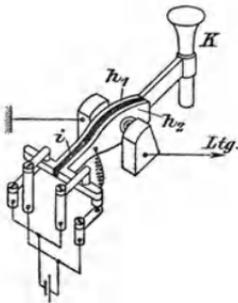


Abb. 888. Doppelklopfertaste.

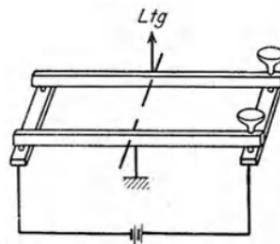


Abb. 889. Recordertaste.

Die Doppelklopfertaste (Abb. 888) polt die Batterie um, Doppelstrombetrieb. Die Recordertaste (Abb. 889) polt ebenfalls die Batterie um, läßt aber in der Ruhelage die Leitung stromlos.

(1467) **Morseempfänger.** Der Normalfarbschreiber der deutschen Post- und Telegraphenverwaltung (Abb. 890) besitzt ein neutrales Elektromagnetsystem, dessen Anker K einen um e drehbaren Hebel mit dem Farbrad J bewegt. In der Arbeitsstromstellung bewegt sich die Anordnung frei vom Anschlagstift t_2 als einfacher zweiarmiger Hebel um e als Drehpunkt. J hebt sich, wenn K gesenkt wird. Zur Ruhestromstellung wird die Schraube s so weit angezogen, bis H_2 sich gegen t_2 legt. Die Anordnung wird dadurch in zwei zweiarmige Hebel mit t_2 und e

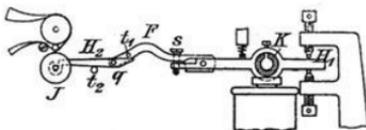


Abb. 890. Morseempfänger.

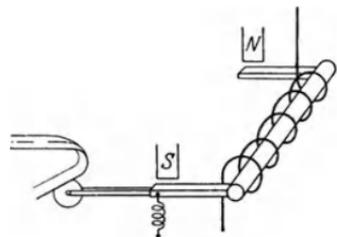


Abb. 891. Polarisierte Farbschreiber.

als Drehpunkte und q als Gelenk zerlegt, J hebt sich, wenn K sich hebt. Uhrwerk mit 23 Minuten Laufdauer bei 2,7 cm/s Papiergeschwindigkeit, geregelt durch Windfangbremse. Normalwicklung $2 \times 300 \Omega$ in 2×6500 Windungen.

Die Reichsbahn verwendet einen starren Schreibhebel ohne Umstellmöglichkeit für Ruhestrombetrieb und Relaisempfang.

Im polarisierten Farbschreiber (Abb. 891) ist der Kern der liegenden Elektromagnetrolle drehbar. Die Polschuhe stehen einem Dauermagnet NS gegenüber. Die Abreißfeder wird nur bei Einfachstrombetrieb gespannt. Der polarisierte Farbschreiber wird häufig mit Selbstauslösung des Streifentransports versehen, bei Beginn der Übermittlung setzt sich das Laufwerk selbsttätig in Bewegung und bleibt nach dem letzten Zeichen wieder stehen.

Wheatstoneempfänger s. (1470). — Siemensschnellmorseempfänger s. (1469).

Durch Drucktelegraphen einerseits und Fernsprecher andererseits wird der Handmorsebetrieb mehr und mehr verdrängt, neuerdings auch in Amerika. Da-

gegen behauptet sich das Morsesystem überall, wo es auf rasch herzustellende, provisorische Verständigung ankommt, z. B. zur Eingrenzung von Störungen, zur Vereinbarung von Duplexabgleich und Schnelltelegraphenbetrieb, in Übertragungen usw. Jedem Duplexendsystem ist ein Morse- oder Klopfersystem beigegeben.

(1468) Der Klopfersystem hat nur die Aufgabe, den Anschlag des Ankers beim Anziehen und Loslassen in verschiedenen Tönen hörbar zu machen. Daher

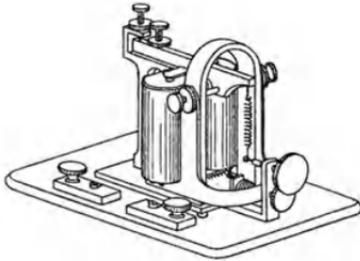


Abb. 892. Neutraler Klopfersystem.

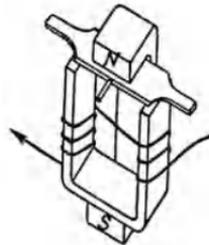


Abb. 893. Magnet des polarisierten Klopfers.

ist der Anker sehr leicht, einfach und schnell beweglich. Denkbar einfache Apparatur, billiger, sicherer und leistungsfähiger Betrieb. Der neutrale Klopfersystem (Abb. 892) mit verstellbarem Elektromagnet, Anschlag und Feder braucht einen Betriebsstrom von 10 mA und ist nur für Arbeitsstrom verwendbar. Der polarisierte Klopfersystem (Abb. 893) arbeitet nach einmaliger Einstellung auf eine mittlere Stromstärke bei Stromänderungen zwischen 2 und 40 mA. Auch für Ruhestrom verwendbar.

(1469) Siemensches Schnellmorsesystem. Tastenlocher (Abb. 894). Eine Schreibmaschinenklaviatur schließt Kontakte über eine Verteilerscheibe zu zwei Stanzmagneten (1, 2) und den Vorschubmagneten (10). Über je vier Segmente wird ein Zeichenelement, Punkt oder Strich, gestanzt. Auf Segment (3, 4) wird das obere Loch gestanzt, beim Strich wird auf Segment (5, 6) das Papier vorgeschoben, beim Punkt bleibt (5, 6) stromlos. Auf Segment (7, 8) wird das untere Loch gestanzt und auf (9, 8) vorgeschoben. Für jedes weitere Zeichenelement folgen weitere vier Segmente. Die Bürste führt bei jedem Buchstaben eine Umdrehung aus und wird dann festgehalten.

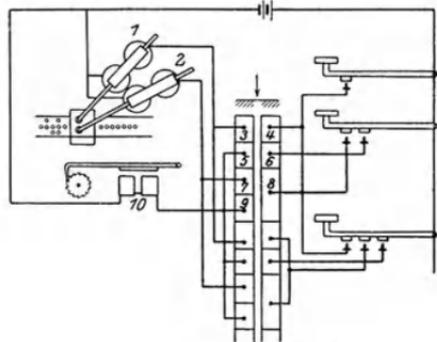


Abb. 894. Schnellmorse-Tastenlocher von Siemens & Halske.

Sender (Abb. 895). Die Fühlhebel *F* fallen nacheinander in die Löcher des Streifens und entladen die Kondensatoren *a* oder *b* über das Senderrelais, es an den + - oder - - Kontakt legend. Der Stromstoß erfolgt nicht im Augenblick des Kontaktschlusses von *F*, sondern wenn eine mit *F* verbundene Bürste das Kontaktsegment eines Korrektionskollektors *K* erreicht. Unregelmäßige Kontaktgebung durch ungleiche Anordnung der Löcher und ungleiches Arbeiten der

Fühlhebel wird dadurch ausgeglichen. Motorantrieb, einmal eingestellte Streifengeschwindigkeit durch Bremsregler konstant gehalten.

Im Empfänger drückt der Anker eines Siemens elektromagnets ein Farbrädchen gegen das Papier. Ebenfalls Motorantrieb und Bremsregler. Geschwindigkeit des Empfangsstreifens 2 bis 20 m/min. Leistungsfähigkeit des Systems 15 bis 300 Wörter/min.

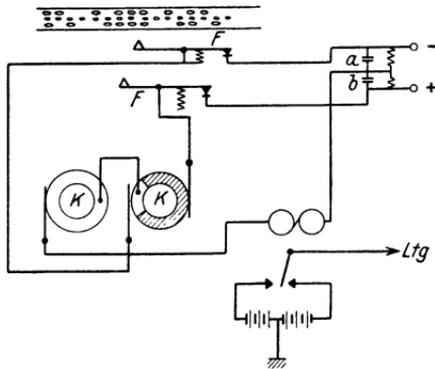


Abb. 895. Schnellmorsesender von Siemens & Halske.

entsprechend dem Lochstreifen um. Gewichtsantrieb. Der Empfänger arbeitet ebenfalls mit Gewichtsantrieb. Magnetsystem (1463,6). Nach Preece soll das Wheatstonesystem bis zu 600 Wörter/min arbeiten. Die älteren Locher stanzen rein mechanisch mit drei Tasten, die mittels Kloppel geschlagen werden, eine Taste für Punkte, eine für Striche und die mittlere für Buchstabenabstände.

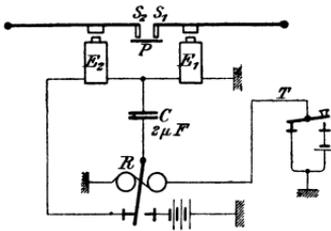


Abb. 896. Automatischer Morseempfänger zur Herstellung eines Streifens von Siemens & Halske.

Lochstreifenempfänger (Abb. 896). Durch den ankommenden Telegraphierstrom oder im Ortsstromkreis mit der Morsetaste T wird die Zunge des Relais A umgelegt. Durch die Lade- und Entladeströme von C werden die Stanzmagnete E_2 und E_1 erregt und stanzen die entsprechenden Löcher in den gleichmäßig fortbewegten Streifen P .

(1470) Wheatstonesystem (Abb. 897). Die Fühlstifte b b_1 werden durch die Wippe B und die Federn f f_1 im Wechseltakt gegen den Streifen gedrückt und polen durch den Kontakthebel D die Batterie

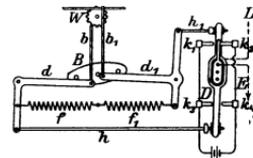


Abb. 897. Wheatstonescher Geber.

Schreibmaschinenartige Tastenlocher von Creed, Gell, Kotyra, Soldatencow arbeiten elektromechanisch (s. auch Tastenlocher des Siemens-schnellmorsesystems, Abb. 894). Man hat auch versucht, Wheatstonesysteme vielfach zu betreiben, und zwar abwechselnd je ein Telegramm von verschiedenen Sendern in die Leitung zu schicken. Zum Schluß des Telegramms wird ein besonderes Loch in den Streifen gestanzt, welches den eigenen Sender still legt und die Leitung auf den nächsten Sender schaltet und diesen in Betrieb setzt. (John Gell: ZFT 1921, S. 75.)

(1471) Creedsystem. Empfangen wird Wheatstone Lochstreifen, der durch einen mechanischen Übersetzer in Druckschrift übersetzt wird. Das Empfangsrelais öffnet und schließt ein Druckluftventil, durch welches die Stößer S_1 S_2 (Abb. 898) für die Korrekstionsstangen K_1 K_2 und die Stanzstangen L_1 L_2 gesteuert werden. Die Korrekstionsstangen fallen in Zahnräder, korrigieren da-

durch die Stellung des Streifens P und halten ihn während des Stanzvorgangs fest. Der Streifen wird von einem Motor mit Reibungskupplung mit annähernd richtiger Geschwindigkeit gezogen. Die Korrektur reicht aus, um bei 100 Wörter Streifengeschwindigkeit 140 Wörter noch richtig zu lochen. Damit beim Punkt die beiden Löcher untereinander gestanzt werden, ist die eine Stanzstange gegen die andere versetzt. Neuerdings ist die Druckluftsteuerung durch eine elektrische ersetzt. (Electr. 1921, Bd. 86, S. 105; ETZ 1921, S. 1047.) Ein besonderer Drucker übersetzt den Stanzstreifen in Druckschrift. (El. Rev. Ldn. Bd. 90, S. 102. 1922.)

(1472) Der Undulator wird verwandt, wenn die ankommenden Zeichen so stark verzerrt sind, als daß ein Relais oder Morseschreiber noch ansprechen könnte, besonders auf längeren Kabelleitungen. Mit dem Drehmagnet (Abb. 886) ist ein feines Röhrchen verbunden, welches auf der einen Seite in ein Farbgefäß taucht und auf der anderen Seite leicht auf dem bewegten Papierstreifen aufliegt. Gesandt wird von Hand oder mit dem Wheatstonesender. Schrift s. Abb. 862, 4.

(1473) Recordersystem. Gesandt wird mit der Recorder-taste (Abb. 889) oder mit dem Curbsender. Schrift s. Abb. 862, 6, Lochstreifen Abb. 863, c. Im Curbsender wird die Leitung im letzten Teil des Stromschritts zur Verbesserung der Empfangskurve für eine bestimmte einstellbare Zeit geerdet. Der englische Curbsender ist nach Art des Wheatstonesenders gebaut. Der Recordersender von Siemens & Halske arbeitet ähnlich wie der Siemensschnellmorsesender und leistet bis zu 1800 Zeichen/min. Gelocht wird mit einem Dreitastenlocher oder mit dem Schreibmaschinentastenlocher von Gell. Der Heberschreiber (Abb. 874) ist für höchste Empfindlichkeit gebaut. Betriebsstrom 50 bis 100 μA bei einer Normalspule von 500 Ω . Die Drehspule hängt an zwei Seidenfäden. Kokonfäden übertragen die Bewegung der Spule mit Übersetzung auf einen Sattel p , an dem das Schreibröhrchen befestigt ist. Zur Vermeidung der Papierreibung wird das Röhrchen in Vibration versetzt. Infolge der geringen Direktionskraft der Spule liegt die Eigenschwingung so tief, daß bei einer Geschwindigkeit von über 300 Buchstaben/min die Schrift verzerrt wird.

Der Landrecorder ist weniger empfindlich und einfacher gebaut.

Im Golddrahtrelais ist das Röhrchen durch einen Metalldraht ersetzt, der Kontakt an zwei gespannten Golddrähten macht. Ähnlich das stretched wire relais.

Beim Brownschen Trommelrelais schleift ein durch die Drehspule bewegter Draht auf einer zur Verminderung der Reibung rasch rotierenden Trommel, bestehend aus einer mittleren Isolierscheibe (no mans land) und zwei Metallscheiben. Wahrung der Nulllinie durch besondere Wicklung und Schaltung ähnlich wie beim Gulstadrelais.

Im Heurtleyverstärker bewegt das Röhrchen zwei durch einen Ortsstrom erwärmte Hitzdrähte, welche zwei Arme einer Wheatstoneschen Brücke bilden. Im abgelenkten Zustand werden die Drähte durch einen Luftstrom verschieden stark gekühlt, so daß der Widerstand sich ändert und der in der Brücke liegende Recorder Strom bekommt. Geschwindigkeitserhöhung bis 50 vH. (Arch. Post Telegr. 1912, S. 65).

Im Orling-Jet-Relais lenkt die Nadel einen feinen Wasserstrahl ab.

Nach Judd und Fraser wird ein Recorderlochstreifen empfangen und mit einem Creedübersetzer gedruckt.

Der Recorderapparat und die ähnlichen, empfindlichen Relais haben durch die Elektronenrohrverstärker an Bedeutung verloren. Neuerdings wird mehr Wert auf hohe Schreibgeschwindigkeit gelegt.

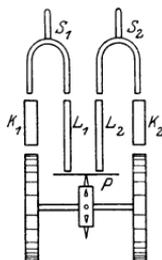


Abb. 898 Empfangslocher von Creed.

Im Drehspulenschnellschreiber von Siemens & Halske ist die Eigenfrequenz der Spule durch Aufhängung an straffen Stahlröhren erhöht. Das Schreibrohr sitzt zur Vermeidung von Übersetzungsverzerrung direkt an der Spule und schreibt ohne Vibration. Leistung: Morsezeichen ohne Anschlag (Kurvenschrift) 25 Wörter 0,1 mA bis 300 Wörter 4 mA, Recorderzeichen bei 2 mA weit über 300 Wörter. Die Spule ist mit 2000 Windungen und 5000 Ω an Verstärker angepaßt. Verwendung auch in der drahtlosen Telegraphie, wenn ein Relais die Telegraphierzeichen nicht mehr von den Störströmen unterscheiden kann. (E. N. T. 1925, S. 184; 1926, Heft 3. — Zschr. f. Hochfrequenztechn. 1926, S. 175).

Der Tintenschreiber der Radiocorporation arbeitet mit einer an Seidenfäden aufgehängten Tauchspule in einem Topfmagnet. Rechteckige Relaischrift.

(1474) Drehrelais. Der Steinschreiber von Huth (Johnsen-Rahbek) verwendet die elektrostatische Anziehung zwischen Halbleiter und Metall. Auf einem rotierenden, polierten Achatzylinder schleift ein Metallband.

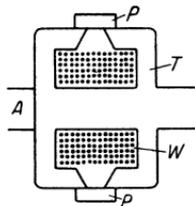


Abb. 899. Magnetisches Trommelrelais von Lachlan.

Band und Stein eine genügende Spannung gelegt, so haftet das Band außerordentlich fest, da fast die ganze Spannung an der Berührungsstelle liegt, und wird von dem Zylinder entgegen einer Feder von mehreren Kilogramm Zugkraft mitgenommen. Das Metallband setzt ein Schreibröhren oder einen Relaishebel in Tätigkeit. Infolge der großen Kräfte sehr kleine Umschlagszeiten. Telegraphiergeschwindigkeit bis 2000 Buchstaben/min. Spannung 100 bis 200 V, Energieverbrauch 40 bis 200 mW. (Näheres Zschr. techn. Phys. 1921, S. 315 — Electr. Bd. 86, S. 694 — ETZ 1921, S. 887).

Das magnetische Trommelrelais von Lachlan (Abb. 899). Eine Weicheisentrommel *T* mit den Windungen *W* und dem genau gepaßten, drehbaren Polschuhring *P* dreht sich mit der Achse *A*. Wird Strom durch die Spule geschickt, so wird der Polschuhring entgegen einer starken Feder mitgenommen und ein Relaishebel oder Schreibrohr in Tätigkeit gesetzt. Die höchste erreichte Geschwindigkeit wird zu 1800 Buchstaben bei 100 V und 2200 Buchstaben bei 200 V angegeben. (J. Inst. El. Eng. 1923, S. 903 — El. Review Ldn. Bd. 92, S. 593.)

(1475) Hughessystem. Sender und Empfänger werden vereinigt von einem Elektromotor oder Zentnergewicht angetrieben. Jede der 28 mit den Buchstaben des Alphabets und mit Zahlen und Satzzeichen bezeichneten Tasten des Senders hebt beim Niederdrücken mit dem Finger einen von 28 im Kreise angeordneten Stiften, über die ein Schlitten mit etwa 100—150 U/min kreist. Wenn der Schlitten über einen gehobenen Stift streicht, verbindet er — bei 120 U/min für 0,042 s — die Leitung mit der Sendebatterie, indem er gleichzeitig die 4 folgenden Stifte sperrt. Das Typenrad des Empfängers wird durch Reibung von seiner Achse mitgenommen, zunächst jedoch so in einer Anfangslage festgehalten, daß das Zeichen „Buchstabenblank“ einem Papierstreifen gegenübersteht. Der erste ankommende Stromstoß kuppelt es mit der Achse, bis es der Beamte bei ruhender Korrespondenz durch einen Hebeldruck in die Anfangslage zurückführt. Ferner wird jedesmal, wenn der Elektromagnetanker abgeworfen wird, vorübergehend mit dem Zahnradgetriebe des Apparates eine Druckvorrichtung gekuppelt, welche die in diesem Augenblick dem Papierstreifen gegenüberstehende Type abdruckt, indem sich die Druckachse mit einem Exzenter mit einer Geschwindigkeit von etwa $\frac{4}{28}$ der Umlaufzeit des Typenrades einmal umdreht und selbsttätig wieder entkuppelt. Beim ersten Mal wird also Buchstabenblank gedruckt; der Sender muß daher immer mit der Blanktaste beginnen. Von diesem Augenblick an führt das Typenrad des Empfängers die Typen in derselben Reihenfolge an der Druckvorrichtung vorbei, in welcher der Schlitten des Senders die Tasten-

stifte bestreicht. Typenrad und Schlitten müssen daher synchron laufen; kleine Abweichungen gleicht der auf der Druckachse sitzende Korrektionsdaumen aus (1451, 1). Durch das Abwerfen des Ankers werden die Windungen des Elektromagnets kurz geschlossen, um den Druckvorgang nicht zu stören und die rechtzeitige Entladung der Elektromagnetrollen sicherzustellen, bis der Anker durch die Druckachse zurückgeführt ist. Solange diese sich dann noch weiter bewegt, ist der Liniestromkreis ganz unterbrochen, bis ihn der Korrektionsdaumen in der Ruhelage der Druckachse durch Berührung mit der von den übrigen Metallteilen des Apparates isolierten Feder wieder schließt; erst jetzt kann der folgende Stromstoß in den Elektromagnet gelangen. Bei 120 U/min des Schlittens beträgt der Stromstoß für 1 Zeichen im Mittel 0,042 s, der kürzeste Zwischenraum zweier Zeichen (z. B. Blank — e) 0,089 s, die Dauer des Kurzschlusses 0,071 s, der Iso-

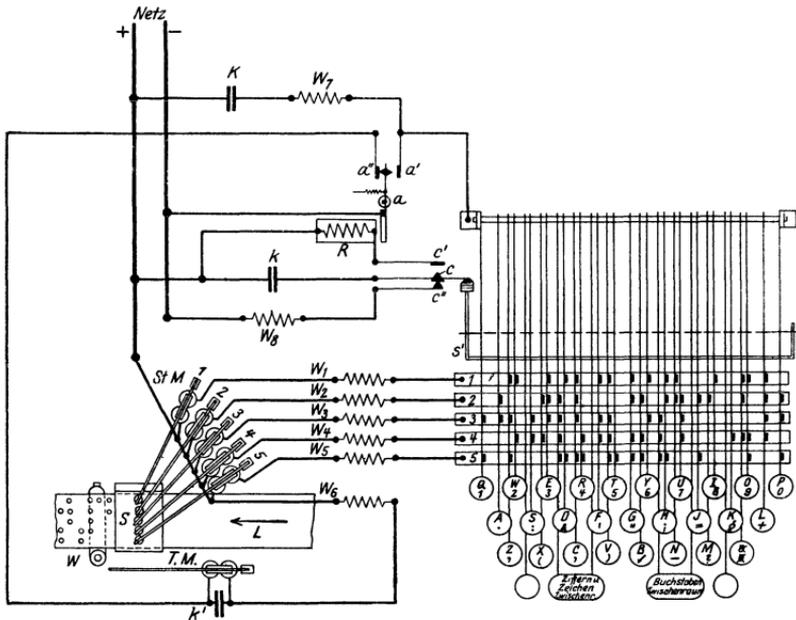


Abb. 900. Schnelltelegraphenlocher von Siemens & Halske.

lation 0,007 s, des ganzen Druckvorganges, bis der Elektromagnet zum Empfang des zweiten Zeichens bereit ist, 0,078 s. Da dies in 0,089 s nach dem ersten Zeichen gedruckt werden muß, hat der Strom 0,011 s für den Anstieg bis zur kritischen Stärke zur Verfügung. Für lange Kabel genügt das nicht; ohne Hilfsmittel zur Beschleunigung der Entladung können enge Kombinationen im Kabel daher nicht empfangen werden. Geschwindigkeit 1,6 Buchstaben auf eine Schlittenumdrehung, stündlich durchschnittlich 50 Telegramme zu 20 Wörtern.

(1476) Der Schnelltelegraph von Siemens & Halske. Locher (Abb. 900). Beim Niederdrücken einer der Schreibmaschinentasten werden zunächst entsprechend der Zeichenkombination einige der Kontakte zu den fünf Stanzmagneten geschlossen. Beim weiteren Niederdrücken betätigt der isolierte Hebel S' über den Kondensator K vorübergehend das Relais R . Über den Kontakt $a a'$ und die Tastenkontakte fließt Netzstrom durch die gewählten Stanzmagnete und das Zeichen wird gestanzt. Darauf bekommt über den Kontakt a'' der Transportmagnet $T.M.$ Strom und schaltet den Papierstreifen vor.

Im Sender (Abb. 901) wird der Lochstreifen gleichmäßig über die fünf Fühlhebel fortbewegt. Die Hebel sind so gegeneinander versetzt, daß sie nacheinander in die Löcher einfallen, kurz bevor die Sendebürste das betreffende Segment erreicht. Das Senderrelais wird durch Kondensatorladung und -entladung umgelegt. Ein sechster Fühlhebel, der auf vollem Papier schleift, legt ein Umschalterrelais P mit den vier Kontakten P_1 bis P_4 um, sobald der Sender leer läuft. Dadurch werden selbsttätig Korrektionszeichen in die Leitung gesandt (+ + — + +). Durch einen Kippschalter kann der Haltzeichenkollektor eingeschaltet werden, der für jedes sechste Zeichen statt des Korrektionszeichens Dauerzeichenstrom sendet. Dies Zeichen lost im Empfänger einen Glockenschlag aus.

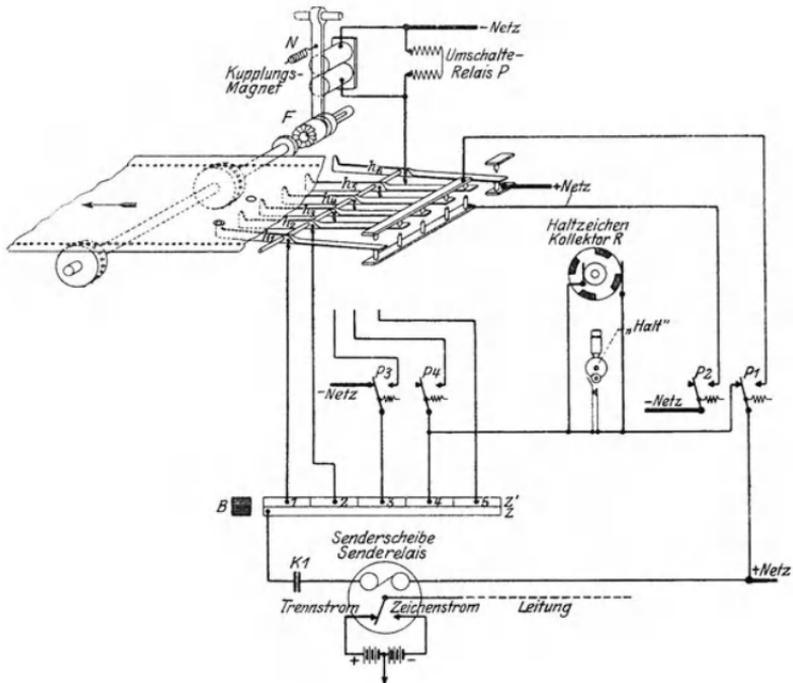


Abb. 901. Schnelltelegraphensender von Siemens & Halske.

Empfänger (Abb. 902). Kurze Segmente (1449). Das Verteilerrelais wiederholt die aus der Leitung ankommenden Zeichen. Über den Empfangsring S_7 S_8 werden die fünf Relais R_1 bis R_5 nacheinander entsprechend der Zeichenkombination gestellt. Die Übersetzung der Kombination erfolgt rein elektrisch über die Ringe S_1 bis S_6 . Einmal in jeder Umdrehung wird auf besonderem Segment der Druckkondensator k_0 geladen. Entladen kann sich der Kondensator über den Druckmagnet nur bei einer bestimmten Stellung der zusammen umlaufenden Bürsten B_1 bis B_6 über die Übersetzerringe und die Relaisanker. Gemeinsam mit der Bürste läuft das Typenrad um. Jedem Segment von S_1 entspricht eine Type.

In mehrere der Stromwege von den Segmenten von S_1 sind für besondere Funktionen Relais eingeschaltet. Vom ersten Segment (Haltzeichen) wird eine Glocke betätigt. Vom zweiten Segment wird das Typenrad auf Buchstaben,

von Segment 4 auf Zeichen geschaltet. Durch weitere Schalter und Relais können Druck und Papiervorschub bei ruhender Korrespondenz unterbrochen werden. Auf Buchstaben oder Zeichenblank setzen beide Funktionen wieder ein. Es sind zwei Sätze von Buchstabenrelais (R_1 bis R_5 und R_I bis R_V) vorgesehen. Der eine Satz nimmt das ankommende Zeichen auf, während der andere das vorhergehende zum Abdruck bringt. Nach jeder Umdrehung vertauscht ein Walzenschalter

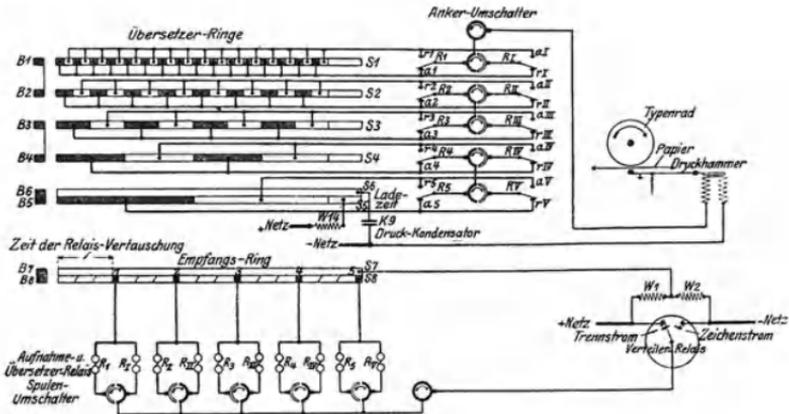


Abb. 902. Empfänger des Siemens-Schnelltelegraphen.

die Tätigkeit der Relaissätze. Neuerdings wird der die Zeichen aufnehmende Relaissatz durch fünf Kondensatoren ersetzt, in denen die Zeichen bis zum Schluß der Umdrehung aufgespeichert werden. Die Steuerung der Relais erfolgt durchweg durch kräftige Kondensatorlade- oder -entladeströme zur Erzielung kleinster Umschlagzeiten.

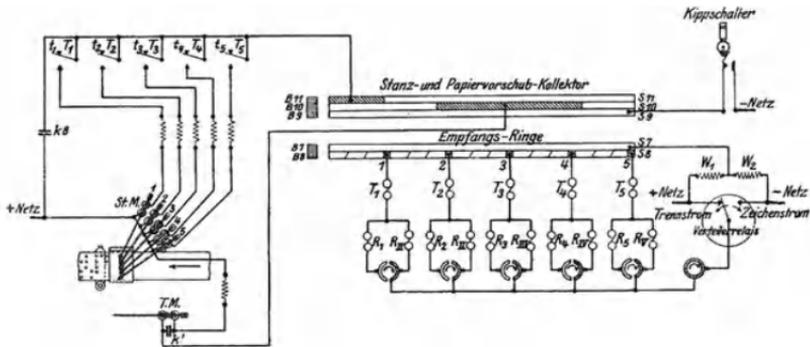


Abb. 903. Lochempfang des Siemens-Schnelltelegraphen.

Lochempfang (Abb.903). Fünf weitere Buchstabenrelais T_1 bis T_5 , führen die Kombination den Stanzmagneten eines Lochers zu, so daß neben dem Druckstreifen auch Lochstreifen empfangen werden kann.

Die Geschwindigkeit des Siemensschnelltelegraphen kann zwischen 200 und 1000 Zeichen/min der Aufnahmefähigkeit der Leitung genau angepaßt werden. Kurze Segmente verringern die Empfindlichkeit gegen Störströme. Der Presseschnelltelegraph empfangt nur Lochstreifen mit einer Geschwindigkeit von

2000 Zeichen/min. (Tel.- u. Fernspr.-Techn. 1913, Heft 12; Esselborn: Lehrb. f. Elektrot. Bd. 2, 25, S. 615.)

(1477) **Der Tastenschnelltelegraph** von Siemens & Halske. Lochstreifensender und direktes Senden mit Schreibmaschinentasten. Durch jeden Tastendruck wird das Senderelais auf Zeichenstrom (Anlaßstrom) gestellt und die ruhende Sendebürste magnetisch mit der Motorachse gekuppelt. Der Anlaßstrom setzt im fernen Empfänger die Empfangsbürste im gleichen Augenblick in Bewegung. Über Kontakte an den Tastenhebeln werden an die Fünfersegmente der Sendescheibe +- oder - Spannungen entsprechend der Zeichenkombination gelegt, zum Empfänger gesandt und dort wie beim Schnelltelegraphen in Druck umgesetzt. Nach Beendigung einer Umdrehung werden beide



Abb. 904. Stromverzögerung im Baudotbetrieb.

Bürstenarme festgehalten und es wird Trennstrom in die Leitung gesandt. Statt des Tastenwerks kann auch ein Lochstreifensender benutzt werden. Leistung bis 480 Buchstaben/min. Gleichzeitig mit dem Druckstreifen kann auch ein Lochstreifen empfangen werden.

(1478) **Der Pendeltelegraph** von Siemens & Halske arbeitet ähnlich, hat aber den Vorzug ständiger Betriebsbereitschaft. Als Antrieb dient eine Feder, die von einem Motor aufgezogen wird. Der Motor läuft nur, wenn der Apparat arbeitet. Leistung 240 Buchstaben/min. (Esselborn: Lehrb. f. Elektrot. Bd. 2, S. 598.)

(1479) **Das Baudotsystem.** Es werden zwei bis vier Sektoren durch einen Verteiler nacheinander an die Leitung gelegt. Ein Teil der Sektoren kann in der

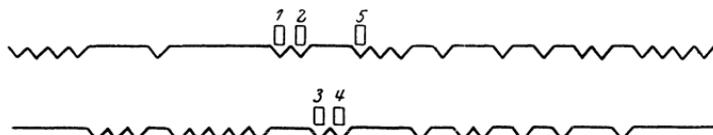


Abb. 905. Buchstabenwähler des Baudotapparats.

einen Richtung arbeiten, während die übrigen in derselben Umdrehung des Verteilers in entgegengesetzter Richtung arbeiten. Es vergeht eine gewisse Zeit, bis der letzte Stromstoß von Segment 5 des Amtes A (Abb. 904) nach B und der erste Stromstoß von Segment 6 des Amtes B nach A gelangt. Dementsprechend muß zwischen Sende- und Empfangssegmenten ein freier, unbenutzter Raum gelassen werden, dessen Länge sich hauptsächlich nach der Länge und den Eigenschaften der Leitung richtet. Bei längeren Kabelleitungen wird wegen zu großer Stromverzögerung zu Duplexschaltungen gegriffen. Vom Staffelbetrieb (14) wird häufig Gebrauch gemacht. Gesandt wird von Hand mit einem Fünftastensender. Neuerdings werden auch Schreibmaschinentastensender und Lochstreifensender benutzt. Im Übersetzer stellen fünf Magnete fünf Nasen ein (1—5, Abb. 905), die auf dem Rande zweier eingekerbter Scheiben schleifen. Jeweils in nur einer Stellung der Scheibe können alle Nasen gleichzeitig in die Kerben einfallen und den Druckvorgang auslösen. Werden zur Übertragung gewöhnliche Relaisübertragungen verwandt, so geht bei jeder Umdrehung die Zeit, um die der Strom auf der ganzen Leitungslänge verzögert wird, verloren.

Um das zu vermeiden, werden umlaufende Übertragungen verwandt. Auf dem Übertragungsamt arbeitet der Verteiler statt auf den Übersetzer auf einen Satz von fünf Relais, die nun an Stelle des Fünfstastensenders die Kombination über einen zweiten Verteilerring in den anderen Leitungszweig weiter geben. Die umlaufende Übertragung hat ferner den Vorteil, daß infolge der kurzen Segmente der neue Stromstoß völlig genau ist, während eine Relaisübertragung einen Teil der Verzerrung und der Störströme aus der ersten Leitung weitergibt. Der Verteiler läuft gewöhnlich mit 180 U/min. Ein Vierfachsatz übermittelt bei voller Ausnutzung 720 Buchstaben/min. Länge des Stromschritts 0,0139 s gegen 0,0167 s beim reinen Fünferalphabet. (Ausführliche Darstellung P. Mercy: *Télégraphie Baudot*, Paris: Dunod 1920; ferner E. Lakey: *Post Office El. Eng. Journ.* Bd. 12, S. 216; *Telegr. a. Teleph. Journ.* 1921, Bd. 7, S. 100.

(1480) Der Mehrfachtelegraph der Western Union Co., entwickelt von Donald Murray: Zwei-, Drei- und Vierfachsätze. 150 bis 300 U/min. Ortsbatterien ausschließlich 110 V. Zur Auffindung der Phase und Aufrechterhaltung des Gleichlaufs bei Leerlauf besondere Umschalter. Kurze Segmente. Seitendrucker. Im Locher stanzt eine selbsttätige Zählervorrichtung in gewissen Abständen den Zeilenschub. Der Streifen kann buchstabenweise im Locher zurückgezogen werden, um falsch gestanzte Zeichen nachträglich in Buchstabenblank zu verwandeln, so daß auf dem Empfangsblatt keine sichtbare Spur bleibt und möglichst wenig Zeit vergeudet wird (unsichtbare Verbesserung). Im Sender wird der Streifen ruckweise in den Pausen vorgerückt. Eine besondere Vorrichtung gestattet, den Lochstreifen festzuhalten, um fortgesetzt dasselbe Zeichen in die Leitung zu senden. Eine weitere Vorrichtung ermöglicht die Übermittlung von 1 bis 5 Glockenzeichen, ohne den Druck eines gerade laufenden Telegramms zu stören. Die beiden letzten Vorrichtungen wiederholen sich in ähnlicher Ausführung bei fast allen amerikanischen Drucktelegraphen. Der Stanzstreifen schaltet durch einen Hebel den Vorschub vorübergehend ab, sobald der Beamte nicht mitkommt und der Streifen zu kurz ist. Es werden Seitendrucker mit einem Papierwagen nach Art der Schreibmaschine verwandt. Die endgültige Form des Übersetzers scheint noch nicht festzuliegen. Es sind Drucker mit Typenrad und mit Typenhebeln (Schreibmaschine) im Betrieb. Einer der Drucker verwendet fünf kreisförmige Wählscheiben. In jeder Lage gelangen an einer Stelle des Umfangs Zahnücken aller fünf Scheiben in eine Reihe und in diese durchlaufende Nute fällt der zugehörige Wählhebel, der die Stellung des Typenrades bestimmt.

Einzelne Wählhebel schließen besondere Kontakte für Buchstaben und Zeichenwechsel, Zeilenschaltung, Wortabstand, Rücklauf des Wagens, Glockenanschlag, Ein- und Ausschalten des Empfangslochers. Es werden auch umlaufende Übertragungen [s. Baudot (1479)] verwandt. Geschwindigkeitsgewinn angeblich 10 vH. Übergang auf eine andere Umdrehungsgeschwindigkeit ist zwar möglich, aber zeitraubend, da die Stimmgabeln sehr sorgfältig eingestellt werden müssen. Wegen mannigfacher Schwierigkeiten im Seitendruckbetrieb wird zum Streifendruck zurückgekehrt. (Sattelberg: *TFT* 1922, S. 1; *ETZ* 1922, S. 1068. — Dommerque: *ZFT* 1923, S. 108. — Rainey, P. M.: *Journ. Télégr.* 1923, S. 198; *Electr. Bd.* 86, S. 74.)

(1481) Amerikanische Drucktelegraphen mittlerer Leistung (Start stop system, Springschreiber). Ein Anlaßstrom setzt die auf einer Fünferscheibe schleifende Bürste in Sender und Empfänger gleichzeitig für eine Umdrehung in Bewegung. Seitendrucker. Vorrichtungen zum Signalisieren, ohne den Druck zu stören, und zum Anhalten des Sendestreifens, um wiederholt das gleiche Zeichen in die Leitung zu senden. Unterschiede im Drucker und Wählmechanismus.

Das Western Electric System leistet 40—65 Wörter/min. Das Morkrumssystem (Teletype) leistet ebensoviel. Der Papierwagen verschiebt nur die Zeilen, während das Typenrad buchstabenweise wandert. Vier Wählscheiben lassen je 2 von 32 Stiften durch, der fünfte Stromstoß bestimmt die Drehrichtung des Typenrades, welches sich bis zum Anschlag an einen der Stifte dreht. Das

Kleinschmidtsystem leistet 40—80 Wörter/min. Geber ganz mechanisch, ähnlich dem Wheatstonesender.

Murray schlägt vor, nach Art des Fernsprechbetriebs Teilnehmer mit Springapparaten auszurüsten und auf Wunsch direkt zu verbinden.

Literatur: Dommerque: ZFT 1923, S. 108. — Reiber, A. H.: Journ. Am. Inst. El. Engs. 1922, S. 79, 597. — El. Review Ldn. 1922, Bd. 91, S. 555. — Electr. 1922, Bd. 89, S. 263. — ETZ 1922, S. 621; Ann. PTT 1924, S. 911. — El. Commun. Bd. 5, S. 216 — Ann. PTT 1926, S. 303.

(1482) Der Ferndrucker von Siemens & Halske (Abb. 906). Durch Drücken jeder Taste wird ein Stift in den Weg des sich mit der Sendescheibe drehenden

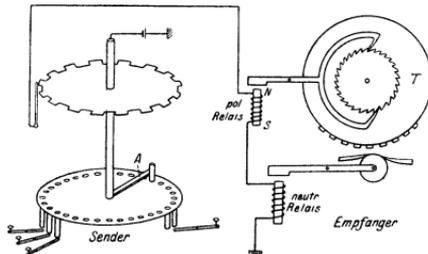


Abb. 906. Ferndrucker von Siemens & Halske.

Arms *A* gestellt. Die Sendescheibe schickt abwechselnd Stromstöße in die Leitung, bis der Arm angehalten wird. Im Empfänger schaltet das polarisierte Relais das mit einem Zahnrad verbundene Typenrad *T* schrittweise vor, solange wechselnde Ströme fließen. Der neutrale Druckmagnet ist so träge, daß er erst auf einen längeren Stromstoß anspricht, wenn die Sendescheibe angehalten wird und auch das Typenrad stillsteht. Der Ferndrucker wird in Nebentele-

graphenanlagen zum Austausch von Börsen-, Handels- und Zeitungsnachrichten zwischen Privaten oder zwischen Privaten und Telegraphenämtern verwandt. Leistung 120 Zeichen/min. (Esselborn: Lehrb. d. Elektrot. 1925, Bd. 2, S. 600; Börsendrucker, ETZ 1888, S. 263; 1889, S. 275, 606, — Ferndrucker von Wright: Journ. Télégraphique 1926, S. 21.

(1483) Ältere Telegraphen von Bedeutung. Der Telegraph von Pollak und Virag. Zwei Fernhörmembranen drehen den Empfangsspiegel um zwei zueinander senkrechte Achsen so, daß ein reflektierter Lichtstrahl kleine lateinische Buchstaben in gewöhnlicher Schrift schreibt. Gesandt wird über zwei Leitungen. Lochstreifen mit einem Komplex großer und kleiner Löcher für jeden Buchstaben. 750 Wörter/min, s. Kraatz: Maschinentelegraphen 1906, — Noebels, Schluckebier und Jentsch: Telegraphie und Telephonie 1907).

Der Mehrfachtelegraph von Delany verwendet gleichlaufende Verteiler mit sehr vielen Segmenten. Jeder *n*-te Kontakt ist auf der Sendeseite mit einem beliebigen Sender, z. B. einer Klopfertaste, auf der Empfangsseite mit dem zugehörigen Empfänger verbunden. Der Empfänger ist so träge, daß er das zerhackte Zeichen als eine Einheit aufnimmt (s. Noebels usw.).

Schnelltelegraph von Buckingham und Murray: ebenda. Rowland: ETZ 1903, S. 779.

Ein Vorgänger des Siemensschnelltelegraphen gab die Buchstaben photographisch mit Hilfe eines elektrischen Funkens wieder und leistete bis zu 2000 Buchstaben/min (s. Kraatz).

(1484) Chiffriermaschinen zur Verhinderung unbefugten Mitlesens, besonders in der drahtlosen Telegraphie. Enigma Chiffriermaschine, Scherbius: ZFT 1923, S. 70; ETZ 1923, S. 1035. Typengeheimschreiber, System Compare, Pohle, O.: ENT 1925, S. 14. — Litinsky, E.: Mols, J.: ZFT 1921, S. 137, 138.

Allgemeine Literatur: Esselborn: Lehrb. d. Elektrot. Bd. 2. Leipzig 1924. — Niendorf, C.: Tel. u. Fernspr.-Techn. Hamburg 1915. — Goetsch: Taschenbuch für Fernmeldetechniker. 2. Aufl. München 1925. — Harrison: Printing Telegraph Systems and Mechanisms. London 1923. — Kraatz, Maschinentelegraphen. Braunschweig 1906. — Strecker: Die Telegraphentechnik. Berlin 1917.

Hilfsapparate.

(1485) **Strommesser.** a) Das Galvanoskop. Der nach Abb. 907 rechtwinklig geformte, um die horizontale Achse x drehbare Anker a , bei älteren Apparaten selbst magnetisch, bei neueren durch einen besonderen U-förmigen Dauermagnet polarisiert, schwingt in einer Spule, deren magnetische Achse parallel zum Nadelzeiger n verläuft. Widerstand 15—30 Ω bei rund 630 Windungen. Der Apparat zeigt Ströme bis 1 mA abwärts an. Das Galvanoskop liegt beim Senden und beim Empfangen in der Leitung, um sowohl den abgehenden als auch den ankommenden Strom anzuzeigen.

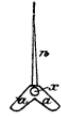


Abb. 907.
Galvanoskop
(Magnet und
Nadel).

b) Das Milliampereometer. In Gegensprechschaltungen und Übertragungen wird in die Leitung ein kleines Drehspulensinstrument von etwa 1 Ω Widerstand mit zwei Meßbereichen (± 50 und ± 250 mA) gelegt.

c) Das Differentialgalvanometer (1023) wird für Gegensprechleitungen benutzt. Die eine Wicklung ist in die wirkliche, die andere in die künstliche Leitung eingeschaltet. Bei richtiger Abgleichung der künstlichen Leitung spricht die Nadel auf den abgehenden Strom nicht an. Widerstand einer Wicklung 32 Ω , hierzu ein abschaltbarer Nebenschluß von 8 Ω , gemeinschaftlicher Widerstand 6,5 Ω Empfindlichkeit ohne Nebenschluß 0,4 mA für ein Skalenteil. Bei neueren Instrumenten Widerstand 15,7 Ω , Nebenschluß rund 4 Ω , gemeinsam rund 3 Ω . Ältere Instrumente haben rund 90 Ω Widerstand, keinen Nebenschluß und eine Empfindlichkeit von rund 2 mA auf einen Skalenteil.

(1486) **Umschalter, Stöpsel-, Kurbel- und Klinkenschalter.** Als Hauptumschalter zum Austausch von Leitungen, Apparaten und Batterien dienen Stöpselumshalter aus sich kreuzenden, voneinander isolierten Messingschienen, die an den Kreuzungspunkten derart durchbohrt sind, daß sie durch einen hier einzusetzenden Stöpsel miteinander verbunden werden können. An den zwölf Längsschienen des „Linienumschalters I“ der RTV liegen z. B. die Außenleitungen. Für gewöhnlich sind sie durch einen Stöpsel mit einem in ihrer Verlängerung liegenden Ansatzstück verbunden, an welches der zur Leitung gehörige Apparat angeschlossen ist. Die Querschienen gestatten die Verbindung der Leitungen mit anderen Apparaten oder untereinander. Bei der Verwendung als Batterieumschalter nehmen die Längsschienen die Zuführungen zu den Apparaten, die Querschienen die verschiedenen Batteriespannungen auf. Kabelumschalter sind ähnlich gebaut, aber mit besserer Isolation durch Verwendung von Hartgummi statt Holz. Zur Raumersparnis werden in Duplexendämmern und ähnlichen Schaltsätzen Kippschalter mit verschiedenartiger Federanordnung verwandt.

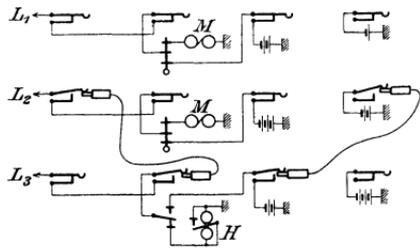


Abb. 908. Klinkenumschalter.

Klinkenumschalter dienen als Hauptumschalter für größere Telegraphenanstalten. Nach dem Schema in Abb. 908 sind die umzuschaltenden Teile (Leitungen, Apparate, Batterien) an Klinkentედern geführt, deren Auflager die normalen Verbindungen herstellen. Schnüre mit zwei Stöpseln ermöglichen alle Umschaltungen für Betriebs- und Untersuchungszwecke.

Zentralanrufschränke. Um Apparate und Beamte zu sparen, werden schwach belastete Leitungen auf einen gemeinschaftlichen Anruflappenschrank geschaltet und hier nach Wunsch mit einer anderen Leitung oder mit einem freien Empfangsapparat verbunden. Hauptsächlich für Morse- und Klopf-

apparate. (Strecker: Telegraphentechnik, Berlin 1917, S. 354.) Der Zentralschalter von Siemens & Halske, s. Esselborn: Lehrb. d. Elektrot. 1924, Bd. 2, S. 627.

(1487) Einzelanrufer. Verabredete Rufzeichen werden in Leitungen mit vielen Anstalten leicht überhört. Es werden verschieden abgestimmte Pendel oder Wähler nach Art der Fernsprechwähler verwandt.

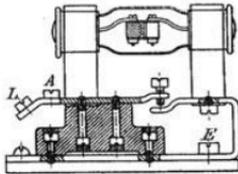


Abb. 909. Luftleerblitzableiter.

(1488) Blitzableiter. Im Plattenblitzableiter stehen zwei gereifelte Messingplatten einander gegenüber mit einem Abstand von 0,25 bis 0,5 mm. Ebenso im Stangenblitzableiter (zum Schutz von Kabeln im Anschluß an Freileitungen) Empfindlichkeit 2000 bis 3000 V. Der Luftleerblitzableiter (Abb. 909) enthält in einem luftverdünnten Glasrohr zwei gereifelte Kohlenblöckchen in geringem Abstand. Empfindlichkeit 300—400 V. Zum Luftleerblitzableiter gehört als grober Blitzschutz eine kleine Metallplatte, welcher eine Schraubenspitze gegenübersteht. Die J. Pintsch A.-G. verwendet statt Kohle Alkalimetall in Edelgas, Ansprechgrenze 80 bis 100 V, besonders als Querschutzbildung bei Doppelleitungen. Auch andere Elektrodenmetalle, z. B. Aluminium, werden verwandt. (Schröter, Edelgassicherungen. ZFT 1922, S. 103).

(1489) Sicherungen. Als Grobsicherung zum Schutz der Amtseinrichtung bei Starkstromberührungen dienen Patronen mit dünnem Rheotandrad in einem Glasröhrchen. 1, 2, 6 und 8 A Ansprechstromstärke. Eingeschaltet wird die Sicherung zwischen Außenleitung und Blitzableiter. Auf dem Sockel gewöhnlich ein einfacher Spitzenblitzableiter.

Zum Schutz der Apparate liegt in jeder Batteriezuführung eine Feinsicherung mit Zusatzsicherheitswiderstand von 80 oder 120 Ω . Ansprechstromstärke 0,25 oder 0,5 A. Eine feine Hitzdrahtspule (etwa 30 Ω) bringt ein leicht schmelzendes Lötmetall zum Erweichen. Bei den älteren Patronen reißt eine Feder einen Stift aus dem Lötmetall heraus, wodurch der Stromkreis unterbrochen wird. Bei Drehsternpatronen sitzt auf einer eingelöteten Achse ein Stern, in dessen Zacken eine Feder eingreift. Beim Ansprechen dreht die Feder den Stern und wird dann freigegeben, den Stromkreis unterbrechend. Nach dem Erkalten und der Beseitigung der Ursache wird die Feder wieder eingedrückt und die Patrone ist wieder brauchbar. Bei der Umkehrpatrone wird der eingelötete Stift in die Patrone hineingedrückt und ragt nun am anderen Ende heraus. Nach Beseitigung der Ursache wird die Patrone umgekehrt wieder eingesetzt. Sicherungslampen s. Teleg.-Praxis 1927, S. 244.

(1490) Induktanzrollen (Gegenstromrollen, induktive Nebenschlüsse, magnetic shunts, Graduatoren) werden im Kabelbetrieb verwandt zur Beseitigung des Rückschlags und zur Verbesserung der Kurvenform (s. Schaltungen). Verschiedene Ausführungsformen, meist Manteldrahtkernspulen. Eine viel benutzte Type mit veränderlichem Luftspalt im Eisenschluß hat 1000 Ω Gleichstromwiderstand und bei 40 mA einen Einstellbereich der Selbstinduktivität von 5 bis 120 H. Im Seekabelbetrieb verwandte Spulen englischen Ursprungs erreichen eine Zeitkonstante von mehr als 1 (40 H, 30 Ω). Durch mehrfache Unterteilung der Wicklung ist fast jeder beliebige kleinere Wert der Induktivität abgreifbar (Gewicht etwa 75 kg).

(1491) Kondensatoren. Durchweg mit Papierisolation, einzelne bis zu 4 μF oder in Sätzen mit Kippschaltern oder Stöpselstreifen. Für besonders hohe Ansprüche in bezug auf Konstanz und Isolation (Duplexnachbildung längerer Kabel) muß Glimmerisolation verwandt werden. — Anwendung in Duplexnachbildungen, zur Funkenlöschung, zur Kurvenversteilerung als Abschlußkondensatoren oder Maxwellerden, als Nebenschluß für Störströme höherer Frequenz und in Simultanschaltungen.

(1492) **Künstliche Widerstände aus Manganin oder Konstantandraht**, meist bifilar gewickelt, zur Vermeidung von Selbstinduktion. Auch Glühlampen, Siliciumstäbe und Edelgasröhren finden Verwendung als Widerstände.

Telegraphenschaltungen.

(1493) **Einzel- und Doppelleitung.** Die Regel bildet heute noch Einzelleitungsbetrieb mit der Erde als Rückleitung. Liegen jedoch Telegraphen- und Fernsprechleitungen im selben Kabel, so wird meist auch die Telegraphenleitung mit metallischer Rückleitung, also zweiadrig betrieben, um induktive Beeinflussung der Fernsprechleitungen zu vermeiden.

Schaltungen für den Einfachbetrieb.

(1494) **Morse- und Klopfer.** a) **Ruhestromschaltung.** Sie verbindet eine große Anzahl von Ämtern durch eine gemeinsame Leitung. Die Batterien liegen stets geschlossen im Leitungskreis. Sie werden nach Maßgabe der Entfernung auf die einzelnen Anstalten verteilt. Besitzen die Endämter Sammler, so übernehmen sie die Speisung der Leitung für das erste Nachbaramt mit, wenn es nicht weiter als 30 km entfernt liegt. Beim östlichen Endamt der Ruhestromleitung liegt in Deutschland der positive, beim westlichen der negative Pol an der Leitung. Für Klopferleitungen mit Ruhestrom werden polarisierte Klopfer verwendet.

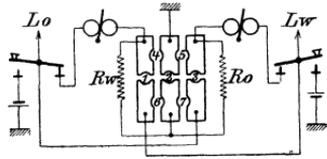


Abb. 910. Trennstelle für Arbeitsstrom.

b) **Arbeitsstromschaltung für Ämter**, deren Verkehr so stark ist, daß ihrer nur zwei bis drei durch eine Leitung verbunden werden können. Schaltung des Endamts vgl. (1466), für ein Zwischenamt s. Abb. 910. Bei Durchsprechstellung ist Loch 1 oder 3, bei Trennung Loch 2 gestöpselt; R_o und R_w ersetzen dabei den Widerstand der Leitungszweige L_o und L_w .

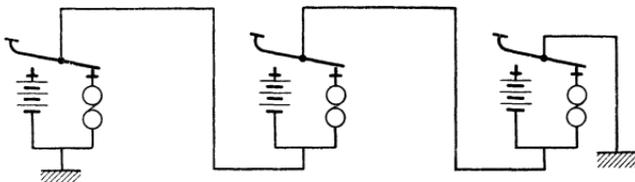


Abb. 911. Arbeitsstrom-Omnibusschaltung.



Abb. 912. Amerikanischer Ruhestrom.

c) In Arbeitsstrom-Omnibusschaltung nach Abb. 911 kann eine Leitung zwischen mehreren kleinen Ämtern mit Arbeitsstrom betrieben werden, ohne Ausrüstung der Zwischenämter mit Trennstellenschaltung. Erfordert auf den Zwischenämtern ungeerdete Batterie.

d) **Amerikanischer Ruhestrom** (Abb. 912). Batterien dauernd geschlossen im Leitungskreis. In der Ruhe ist der Ausschalter U geschlossen, beim Senden mit der Taste muß er offen sein; die Apparate sprechen an wie auf Arbeitsstrom.

e) **Zentralbatterie** (Abb. 913). Die in England bis auf Entfernungen von 600 km angewendete Zentralbatterieschaltung arbeitet mit einer gemeinschaftlichen Batterie beim Zentralamt; die polarisierten Empfangsapparate sprechen auf Kondensatorströme an. Abb. 914 zeigt eine Übertragung beim Zentralamt.

(1495) **Hughesapparate.** a) Mit elektrischer Auslösung (Abb. 915). Der abgehende Strom durchfließt die Rollen des Hughesmagnets.

b) Mit mechanischer Auslösung. Abb. 916 und abgekürzt dargestellt in Abb. 917. Der abgehende Strom geht unmittelbar in die Leitung; das Druckwerk des eigenen Apparats wird durch den Stößler *s* ausgelöst.

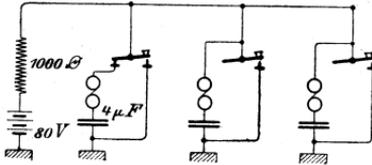


Abb. 913. Zentralbatterie für Telegraphenleitungen.

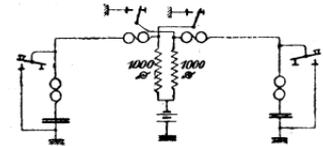


Abb. 914. Übertragung mit Zentralbatterie.

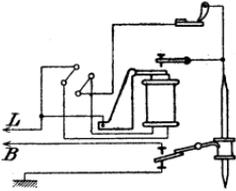


Abb. 915. Hughesapparat mit elektrischer Auslösung.

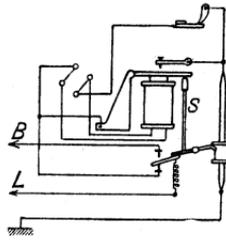


Abb. 916. Hughesapparat mit mechanischer Auslösung.

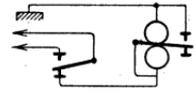


Abb. 917. Hughesapparat mit mechanischer Auslösung, abgekürzte Darstellung.

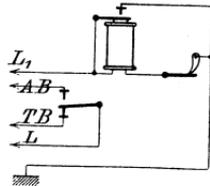


Abb. 918. Hughesapparat für Doppelstrombetrieb.

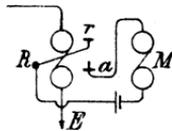


Abb. 919. Relais mit Morse (M im Ortsstromkreis).

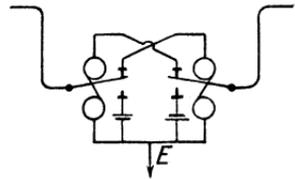


Abb. 920. Einfach-Übertragung für Einfachstrombetrieb.

Zum Betriebe mit Doppelstrom werden der sendende und der empfangende Teil des Hughesapparates getrennt benutzt und dafür nach Abb. 918 eingeschaltet. *AB* Arbeitsbatterie, *TB* Trennbatterie, *L* Sendeleitung, *L₁* Empfangsleitung. In dieser Schaltung kann der Apparat zum Gegensprechen benutzt werden, wenn für den sendenden Teil auf den Druck eines Mitlesestreifers verzichtet wird. Zum Betrieb mit Einfachstrom ist *TB* mit *L₁* zu verbinden.

Zur Verminderung des Widerstandes und der Selbstinduktivität empfiehlt sich für den Kabelbetrieb die Parallelschaltung der Hughesrollen.

(1496) **Relais** (1455). Bei der Verwendung von Relais für Endämter nach der Schaltung in Abb. 919 liegt zwischen dem Körper und dem Arbeitskontakt des Relais der Empfangsapparat und eine Ortsbatterie, welche so zu bemessen ist, dard der Empfangsapparat ausreichenden Strom erhält. Um die Wirkung der Selbstinduktivität im Ortsstromkreise zu vermindern, empfiehlt sich die Einschaltung eines hohen Widerstandes (5000 Ω) und eine entsprechende Erhöhung der Ortsbatterie.

(1497) Übertragungen. a) für Morse-Arbeitsstrom- und Hughesleitungen nach Abb. 920. Am Ruhkontakt des einen Relais liegen die Magnetsumwindingen des andern. Mitleseapparate werden an die Relaishebel angeschlossen, und zwar Morse oder Klopfer in Abzweigung zur Erde über einen Widerstand von 5000 bis 15000 Ω , Hughesapparate über einen Kondensator von 0,5 bis 1 μF , dem 300 Ω vorgeschaltet sind.

b) Für Doppelstrombetrieb nach Abb. 921. Beide Kontakte der polarisierten Relais R_1 und R_2 sind durch die Batterien besetzt.

Um die Leitung je nach der Telegraphierichtung in Sende- oder Empfangsschaltung umzulegen, sind die selbsttätigen Umschalter U_1 und U_2 — neutrale Magnetsysteme mit 2 Anker mit Abreißfedern — hinter die Relais gelegt. Wird z. B. von L_o nach L_w telegraphiert, so kommt in L_o dauernd Strom an, abwechselnd Trenn- und Zeichenstrom; L_w ist zunächst stromlos. U_1 spricht auf Trenn- und Zeichenstrom in gleicher Weise an, zieht also seine Anker dauernd an und schaltet dadurch L_w an den Hebel des Relais R_1 . Die zweiten Anker von U_1 und U_2 werden benutzt, um Mitleseapparate von den Relaishebeln abzuzweigen. Anstatt die selbsttätigen Umschalter unmittelbar in den Leitungskreis zu legen, werden häufig an ihre Stelle sogenannte Switchrelais oder Galvanoskop-Switchrelais ge-

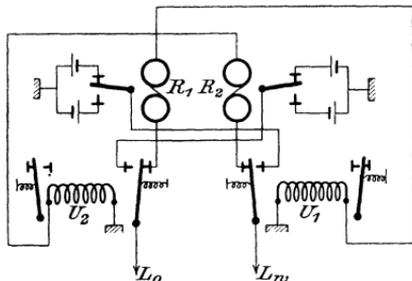


Abb. 921. Einfach-Übertragung für Doppelstrombetrieb

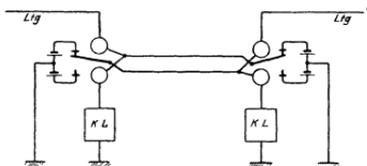


Abb. 921 a. Duplexübertragung.

schaltet, welche die Umschalter und Ortsstromkreise betätigen. Das Switchrelais ist ein polarisiertes Relais, indifferent eingestellt, dessen Anker durch Federn so in der Mittellage gehalten wird, daß er bei stromlosem Elektromagnet keinen der beiden Kontakte berührt. Das Galvanoskop-Switchrelais ist ein polarisiertes Galvanoskop mit 2 Zeigern, von denen der eine auf positiven, der andere auf negativen Strom anspricht.

c) Die Duplexübertragung (Abb. 921 a) ist für Einfach- und Doppelstrom brauchbar. Wegen der einfacheren Bedienung wird sie häufig auch für Doppelstromsimplexleitungen benutzt. Z. B. in der deutsch-englischen Übertragung in Emden und im Bell-System (J. A. I. E. E. 1925, S. 378).

Ausführliche Darstellung amerikanischer Übertragungen Tel. and Tel. Age 1923 und Jones, Pocket Edition of Diagrams, New York.

(1498) Funkenschutz. Öffnungsfunken an Relaiskontakten beeinträchtigen die Zeichengebung und können die Empfindlichkeit des Relais erheblich herabsetzen. Sie werden verhütet durch Überbrückung der im Öffnungskreise liegenden Selbstinduktivität durch einen Kondensator (z. B. 0,2 μF), dem in vielen Fällen zweckmäßig ein Widerstand (z. B. 300 Ω) vorgeschaltet wird. In Abb. 919 wäre dieser Schutz z. B. zwischen Relaishebel und Kontakt a zu legen.

(1499) Erdstromschaltungen. Erdströme können so stark auftreten, daß sie den Betrieb in Einzelleitungen (mit der Erde als Rückleitung) stören. Es werden dann Luttleitungen, Kabelalarn oder Fernsprechleitungen in Simultanschaltung als Rückleitung statt der Erde geschaltet und Batterien ohne Erdverbindung verwendet. Schreiber hat eine Schaltung angegeben, die für Erdstrombetrieb die Beibehaltung der gewöhnlich geerdeten Batterie erlaubt; für Hughesapparate

ist sie in Abb. 922 skizziert. Während der Batteriehebel H zur Absendung eines Zeichens gehoben wird, senkt sich der in seiner Verlängerung liegende Hebel h und gibt der Rückleitung so lange Erde, wie an der Hinleitung die geerdete Batterie liegt. Die Verbindung der Rückleitung mit der Erde ist für die Dauer des Schleifenbetriebes durch die Umlegung des links unten gezeichneten Umschalters aufzuheben.

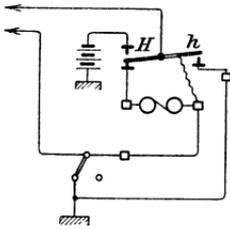


Abb. 922. Schreibersche Erdstromschaltung am Hughesapparat.

(1500) Uhrenzeichen. Zur selbsttätigen Abgabe des Uhrenzeichens täglich um 7 oder 8 Uhr morgens durch eine Zentraluhr in Berlin an alle größeren deutschen Anstalten schließt die Zentraluhr eine Minute lang den Stromkreis für ein Relais; dieses betätigt 20 Relais, von diesen jedes wieder 20 Relais, und deren Anker senden Strom in die Leitungen, so daß alle in Frage kommenden Leitungen pünktlich eine Minute lang Strom erhalten. Die Leitungen sind hinterm Haupt-

schalter zunächst an einen Kurbelumschalter geführt, der sie entweder auf normalen Betrieb oder auf Uhrenzeichen oder auf Nachtzentralschalter legt. Die Kurbeln für je 20 bis 30 solcher Umschalter sind auf einer Achse befestigt, so daß sie gleichzeitig umgelegt werden. Durch Schanzeichen wird der Stromabgang überwacht.

(1501) Erdtelegraphie. Von einer Wechselstromquelle wird zwei möglichst weit entfernten Erdleitungen ein Strom von Tonfrequenz zugeführt. An zwei anderen Erdleitungen kann man einen Teil der Stromfäden auffangen und abhören. Im Kriege auf 10 bis 30 km Entfernung benutzt. Jäger: TFT, Jg. 8, 1919, S. 36. — Arendt: TFT, Jg. 9, 1920, S. 141. — ETZ 1920, S. 1040. — L'Industrie Electr. 1920, S. 119 — ETZ 1920, S. 615.

Schaltungen für Mehrfachbetrieb.

(1502) Arten der Mehrfachtelegraphie. Man unterscheidet Zweifachbetrieb gleicher Richtung (Doppelsprechen, Diplex) und entgegengesetzter Richtung (Gegensprechen, Duplex); beide Verfahren können gleichzeitig angewandt werden (Doppelgegensprechen, Quadruplex); ferner gleichzeitige Mehrfachtelegraphie, bei der die Stromänderungen, welche zur Zeichenübermittlung dienen, gleichzeitig hervorgerufen werden, sich also in der Leitung addieren, und wechselzeitige Mehrfachtelegraphie, bei der die Leitung absatzweise jedem beteiligten Apparatsystem für eine bestimmte kurze Zeit zugewiesen wird, wo also die Stromänderungen in der Leitung einzeln und nacheinander eintreten.

Die älteste Methode des Gegensprechens — Kompensationsmethode (Gintl 1853) — ist verlassen; es kommen nur noch Differentialmethoden, Brückenmethoden und einige andere, welche sich unter jene nicht einreihen lassen, in Betracht.

(1503) Künstliche Leitung. Die Differential- und die Brückenmethode erfordern die Nachbildung der Betriebsleitung durch eine künstliche Leitung aus Widerständen und Kondensatoren (Stearns 1868). Eine vielfach gebrauchte Form zeigt Abb. 923 a. Der „Kurbelleitungsreostat“ R ist dem Widerstande der wirklichen Leitung gleichzumachen. Er enthält je eine Stufe zu 10, 20, 4000 Ω , 10 Stufen zu 40, 10 Stufen zu 400 Ω . Zwei Ausführungen: für geringe Strombelastung und für Dauerbelastung mit 0,1 A (zum Doppelstrombetrieb). Genauigkeit 1 vH. Die „Verzögerungswiderstände“ r sind Stopselreostaten: r_1 zu 1100 Ω , veränderlich in Stufen zu 10 Ω , r_2 und r_3 zu 4050 Ω , veränderlich in Stufen zu 50 Ω . Die Kondensatoren, bisher Glimmerkondensatoren mit Stufen zu 0,125 und 0,25 μF , sind jetzt Papierkondensatoren mit Kippschaltern in Stufen zu 0,25 μF . Für Kabel 3 Abteilungen zu je 10,75 μF ; bei langen Kabeln erhält die erste Abteilung einen Zusatz von 10 μF . Für Luftleitungen 2 Abteilungen zu 3,75 und 3,5 μF in einem Kasten. Die österreichische Verwaltung schließt an einen in

gleiche Abteilungen (zu 50Ω und 200Ω) geteilten Rheostaten R (Abb. 923 b) mit an beliebiger Stelle einsetzbaren Stöpseln feste Kondensatoren von 1, 2 oder $4 \mu\text{F}$ an. Empfindliche Empfangssysteme, wie z. B. in langen Ozeankabeln, erfordern sehr genaue Nachbildung, die erreicht wird durch Herstellung eines Kondensators

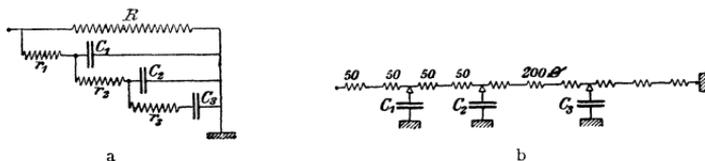


Abb. 923. Künstliche Leitung für Gegensprechschaltungen.

aus sehr schmalen, langen Stanniolstreifen, welche zugleich den Widerstand der Kabellese nachbilden. Halbbrücken-Duplexsystem von Jinzo Kaijura s. Telegr. und Teleph. Age 1920, S. 510. — Milnor: J. Inst. El. Eng. 1922, Bd. 60, S. 111. — J. Am. Inst. El. Eng. 1922, S. 118, 596.

Pupin- und Krarupkabel erfordern eine Nachbildung auch der Induktivität. Die Form solcher Nachbildung steht noch nicht fest. Für geringe Telegraphiergeschwindigkeiten (Klopferbetrieb) wird in Amerika die Schaltung Abb. 924 verwandt.

(1504) Differentialschaltung, nach Frischen und Siemens (1854). Der wesentliche Bestandteil ist das Differentialrelais, Abb. 925 a; abgekürzte Darstel-

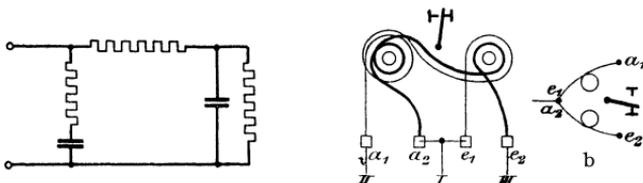


Abb. 924. Duplexnachbildung für Pupinkabel.

Abb. 925. Differentialrelais.

lung in Abb. 925 b. Die Kerne des polarisierten Relais tragen 2 Wicklungen $a_1 e_1$ und $a_2 e_2$, deren Drähte von gleicher Stärke unmittelbar nebeneinander, meist miteinander verdreht, gleichzeitig aufgespult sind, so daß beide Wicklungen gleiche Windungszahl, gleichen Widerstand und stets gleichen Abstand von den Kernen haben und, wenn sie von gleichen Strömen durchflossen werden, gleich große magnetische Wirkung auf den Eisenkern ausüben. Der bei I (Abb. 925 a) eintretende abgehende Strom durchfließt beide Wicklungen in entgegengesetztem Sinne. Bildet die künstliche Leitung die elektrischen Eigenschaften der Betriebsleitung ausreichend genau nach, so heben sich beide Wicklungen in ihrer Wirkung auf den Relaishebel auf, der Hebel bleibt ungestört. Der ankommende Strom durchfließt nur eine Wicklung oder während der Schwebelage des Senders beide Wicklungen gleichsinnig. Die Abgleichung der künstlichen Leitung geschieht mit dem Differentialgalvanoskop (1487) DG , dessen Zeiger angibt, ob der Strom in der wirklichen oder in der künstlichen Leitung überwiegt. Einen Anhalt für die erste Abgleichung bieten folgende Erfahrungswerte: für Kabel r_1 (Abb. 923 a) 200Ω , r_2 und r_3 1000Ω , C_1 $1/5$ bis $1/4$ der Kabelkapazität C ; $C_2 \approx 1/3 C$, $C_3 \approx 1/2 C$; für Luftleitungen r_1 200Ω , r_2 1000Ω , c_1 $1,5 \mu\text{F}$, c_2 $0,5 \mu\text{F}$.

In der Reichstelegraphie wird die Differentialschaltung für den Gegensprechbetrieb bei Endämtern von unterirdischen Leitungen und bei Übertragungsämtern in ober- und unterirdischen Leitungen verwendet.

Die Batterien für den Gegensprechbetrieb in unterirdischen Leitungen werden so bemessen, daß bei Berechnung der Stromstärken nach dem Ohmschen Gesetz die Summe der Ströme in beiden Windungen des Relais auf dem fernen Amte

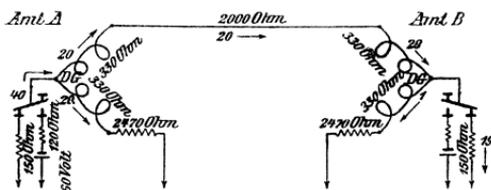


Abb. 926. Differentialschaltung für Gegensprechen.

mindestens 20 mA betragt. In Abb. 926 sind die bei Verwendung einer Batterie von 60 V in den einzelnen Leitungszweigen fließenden Ströme in runden Zahlen in Milliampere angegeben, wenn Amt A dauernd Taste drückt. Beim Gegensenden bleibt der Strom in der Relaiswicklung an der künstlichen Leitung fast unverändert, während er in der anderen je nach der Polrichtung der Telegraphierströme fast verdoppelt wird oder auf Null geht. Die ungleiche Magnetisierung stört mit der Zeit die Relaiseinstellung, besonders im Doppelstrombetrieb, wo dauernd Strom fließt. Zeitweilige Umkehrung der Ströme im Relais ist ein Hilfsmittel. Einfluß des Endamtes s. (1505).

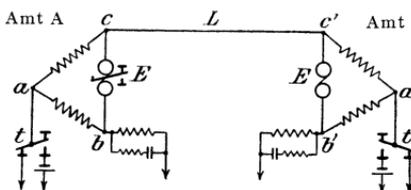


Abb 927. Brückenschaltung zum Gegensprechen.

(1505) **Brückenschaltung** nach Maron (1863) (Abb. 927). Der abgehende Strom läßt die Diagonale cb stromfrei und beeinflusst den eigenen Empfänger E nicht, wenn die künstliche Leitung richtig abgeglichen

ist. Die Abgleichung erfolgt mit Hilfe eines zwischen b und c geschalteten Spannungsmessers. ab meist $= ac = 1000 \Omega$; für sehr lange Leitungen $ac > ab$.

In der Reichstelegraphie wird die Brückenschaltung für den Gegensprechbetrieb bei Endämtern von oberirdischen Leitungen verwendet. Die Spannung der Batterie ergibt sich aus der Formel

$$E = 60 + \frac{l}{35} \text{ Volt,}$$

in der l den Drahtwiderstand der Leitung angibt; der Empfänger des fernen Amtes erhält dann einen Strom von mindestens 9 mA.

Der scheinbare Widerstand der Leitung von Amt A aus gemessen ändert sich, wenn die Taste bzw. das Relais in Amt B sich in der Schwebelage befindet. Im Schnelltelegraphenbetrieb muß diese Änderung berücksichtigt werden. Die Abgleichung geht so vor sich, daß zunächst Amt B seine Batterie durch einen entsprechenden Widerstand ersetzt (Bw -Stellung). Amt A ändert jetzt seine künstliche Leitung so lange, bis das Differentialgalvanoskop bzw. ein in die Brücke geschaltetes Instrument beim eigenen Senden möglichst stromlos bleibt. Die Abgleichung wird wiederholt, wenn Amt B Telegraphierwechsel sendet. Bei der zweiten Abgleichung muß der Widerstand R um 80 bis 200 Ω erhöht werden, je nach der Einstellung des Senderrelais in B. Kupfmüller schlägt vor, die Kontakte des Senderrelais bzw. der Taste durch passende Kondensatoren zu überbrücken.

Über Abgleichung der künstlichen Leitung s. auch Post Off. El. Eng. J. Bd. 9, S. 245, 253; Bd. 10, S. 55, 133 (1918); Electr. (Ldn.) Bd. 81, S. 719.

(1506) **Doppelbrücke** von Schwendler (1874) (Abb. 928). $A = a = R = \frac{1}{2}l$; $r_1 = B + r = R$; l ist der Leitungswiderstand. Die Abstimmung erfolgt durch Regulierung von b . Der ankommende Strom läßt b stromfrei, deshalb kann der Apparat A zur Kontrolle der abgehenden Zeichen benutzt werden. Da in jeder Lage der Taste der Widerstand zwischen S und der Erde der gleiche ist, wird das Gleichgewicht durch das Arbeiten des fernen Amtes nicht gestört.

(1507) **Vergleich der Differential- und der Brückenschaltung.** Die Differentialschaltung gestattet die Verwendung kleinerer Batterien, weil etwa die Hälfte des gesamten Stromes zur Magnetisierung des Empfangsrelais zur Geltung kommt. Soll ein besonderes Relais vermieden werden, so muß der Empfangsapparat selbst differentiale Magnetwicklungen besitzen. Die Verwendung eines Relais erlaubt jedoch die für den Kabelbetrieb sehr günstige Verminderung des Widerstandes und der Selbstinduktivität zwischen Kabel und Erde; vgl. (1511). Die Brückenschaltung vermeidet ein Relais vollständig.

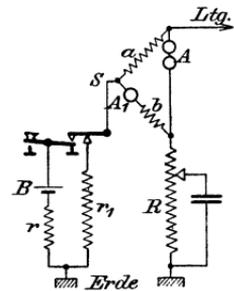


Abb. 928. Doppelbrücke von Schwendler.

(1508) **Andere Methoden für das Gegensprechen.** Fuchs (ETZ 1881, S. 18 ff.). Ferner Vianisi, Gattino und Santano (ETZ 1881, S. 369; 1888, S. 216; 1889, S. 490).

(1509) **Doppelsprechen** wird selten für sich allein, meist in Verbindung mit Gegensprechen als Quadruplex (1510) verwendet. Beim Doppelsprechen verwendet man entweder Ströme von verschiedener Stärke oder man benutzt nebeneinander Ströme von beliebiger Richtung, aber wechselnder Stärke, und Ströme beliebiger Stärke, aber wechselnder Richtung (Edison). Bei dem ersten Verfahren dient zur Aufnahme des mit dem stärkeren Strom gegebenen Telegramms ein gewöhnliches Relais mit genügend stark gespannter Feder; für den schwächeren Strom wird gleichfalls ein neutrales Relais, aber mit einer Hilfsschaltung verwendet. Bei der Edisonschen Methode werden die Ströme wechselnder Stärke von einem neutralen, die wechselnder Richtung von einem polarisierten Relais aufgenommen.

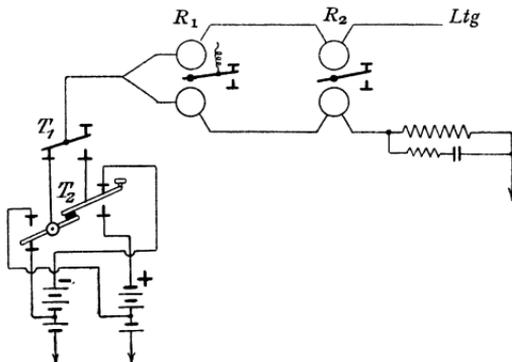


Abb. 929. Doppelgegensprechen.

(1510) **Doppelgegensprechen, Quadruplex**, ist die Vereinigung einer Doppelsprechmethode, vorzugsweise der Edisonschen, mit einer Gegensprechmethode, besonders der Differential- oder der Brückenmethode. Eine derartige Schaltung bei Verwendung der Differentialmethode ist in Abb. 929 dargestellt. R_1 ist ein neutrales, R_2 ein polarisiertes Differentialrelais. Mit der Taste T_1 wird die Stärke und mit der Taste T_2 die Richtung des Telegraphierstromes geändert.

Kabelschaltungen.

(1511) **Thomsonkabel** (mit vernachlässigbar kleiner Induktivität). Ein ankommender Gleichstromstoß verläuft nach Abb. 930 φ_0 (Thomsonkurve). Ein zweites Zeichen kann erst gesandt werden nach etwa $0,3 \cdot C_K \cdot R_K$ Sekunden (C_K Gesamtkapazität, R_K Gesamtwiderstand des Kabels). Die Telegraphiergeschwindigkeit ist umgekehrt proportional dem Produkt $C_K \cdot R_K$ oder dem Quadrat der Kabellänge (CR -Gesetz). Durch Widerstand am Kabelende wird die Empfangskurve noch verflacht.

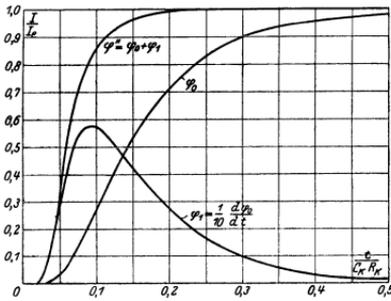


Abb. 930. φ_0 Thomsonkurven.
 φ_1 Differentialquotient der Thomsonkurve.
 φ_2 Gemisch von φ_0 und φ_1 .

(1512) **Der Abschlußkondensator** (Abb. 931) macht den Anstieg der Stromkurve steiler; bei sehr kleiner Kapazität nähert sich ihr Verlauf dem des Differentialquotienten $\frac{d\varphi_0}{dt}$ der

Thomsonkurve. Die Stromkurve erreicht schneller ihren Höchstwert und

erlaubt schnelleres Telegraphieren unter Einbuße von Stromstärke. Für Relaisempfang ist die Schaltung wenig brauchbar, da der langsam abfallende „Schwanz“ die Nulllinie für die nachfolgenden Zeichen verlegt. Langsam verlaufende Erdströme werden durch Abschlußkondensatoren ferngehalten. Abschlußkondensatoren werden gewöhnlich an beiden Enden verwandt und gleich $1/10$ der Kabelkapazität C_K gemacht.

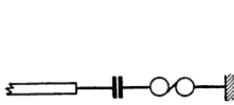


Abb. 931. Abschlußkondensator.

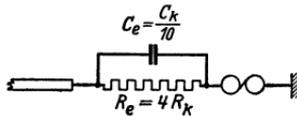


Abb. 932. Maxwellerde.

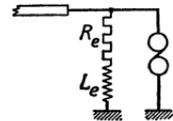


Abb. 933. Induktiver Nebenschluß.

(1513) **Maxwellerde** (Abb. 932). Schaltet man parallel zum Abschlußkondensator einen Widerstand von 4-fachem Wert des Kabelwiderstandes, so erhält man ein Gemisch aus der Thomsonkurve — verflacht durch den Widerstand — und ihrem ersten Differentialquotienten. Auf jeden Fall muß $C_e \cdot R_e = 0,4 C_K \cdot R_K$ sein, wo C_e und R_e die Werte der Schaltung und C_K, R_K diejenigen des Kabels sind. Die Kurve des Gesamtstromes hinter der Maxwellerde ähnelt in ihrem Verlauf der Thomsonkurve selbst, jedoch erfolgt der Anstieg rascher, bei kleinerer Amplitude. Diese Schaltung ist auch für Relaisempfang brauchbar. Geschwindigkeitserhöhung etwa 50 vH. Eine Maxwellerde am Kabelanfang hat, wie jede Schaltung, dieselbe Wirkung wie eine solche am Ende.

(1514) **Der induktive Nebenschluß** (magnetic shunt) (Abb. 933) verbessert die Spannungskurve in ähnlicher Weise wie die Maxwellerde die Stromkurve verbessert. An den Enden des Widerstandes R_e entwickelt sich die Spannung z. B. proportional der Kurve φ_0 , Abb. 930. Wird $L_e/R_e = C_K \cdot R_K/\pi^2$ gemacht, so entsteht an der Spule eine Spannung proportional φ_1 . Beide Spannungen addieren sich zur Spannung φ_2 , die nun auf den Empfangsapparat wirkt. Vorausgesetzt ist dabei, daß der Widerstand des Empfangsapparates mindestens 3 bis 10mal so groß ist als der des Nebenschlusses, so daß er auf den Gesamtstrom keinen großen Einfluß hat; die Geschwindigkeit wird verdoppelt. Am Kabelanfang wird der induktive Nebenschluß bei Einfachstrombetrieb als Godfroy'spule zum Aufheben des Rückschlages d. h. der aus dem aufgeladenen

Kabel zurückfließenden Strommengen benutzt. (Breisig: Theoretische Telegraphie, S. 199, 1924).

Formeln für die Telegraphiergeschwindigkeit an Kabeln und Einfluß der Kunstschaltungen s. Wollin: TFT 1921, S. 49.

(1515) Maxwellketten. Nach Wagner und Küpfmüller (ENT 1924, S. 114) kann man mehrere Maxwellerden nach Abb. 934 hintereinander verwenden. Als Anhalt für die Bemessung: $C_1 R_1 = 0,1 C_K R_K$, $C_2 R_2 = 0,025 C_K R_K$; $C_3 R_3 = 0,01 C_K R_K$ usw., q_n etwa 3 bis 10mal q_{n-1} und R etwa 3 bis 10mal q .

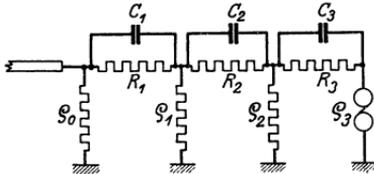


Abb. 934. Maxwellkette.

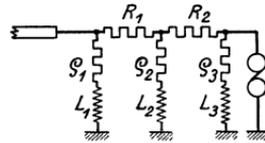


Abb. 935. Nebenschlußkette.

Desgleichen kann man nach Abb. 935 mehrere Nebenschlüsse hintereinanderschalten, auch lassen sich beide Ketten kombinieren. Da die Energie durch jedes Kettenglied stark herabgesetzt wird, können die Ketten nur zusammen mit Verstärkern an störungsfreien Kabeln verwandt werden. Die verbessernde Wirkung wird von Glied zu Glied geringer (s. auch Britisches Patent 153357).

(1516) Curbsender. Eine Empfangskurve ähnlich dem ersten Differentialquotienten wird erreicht durch Senden eines kurzen Impulses. Damit arbeitet der Curbsender, indem er das Kabel während des letzten Teils eines jeden Stromschrittes erdet.

(1517) Schnelltelegraphensender. Ein besonderer Sender von Siemens & Halske überlagert jedem Stromwechsel einen einmaligen stärkeren Impuls und erzielt auf diese Weise die Stromkurve φ'' (Abb. 930). (ENT 1926, Heft 3.)

Literatur über Schaltungen an Thomsonkabeln siehe Malcolm, H. W.: The Theory of the Submarine Telegraph and Telephone Cable. London 1917. — Kunert: Berechnungen über den Stromverlauf in Telegraphenkabeln. TFT 1915, S. 73. — Submarine Telegraphy, American School of Correspondence Chicago, Illinois.

(1518) Kruppkabel; hierfür werden ähnliche Schaltungen vorgeschlagen und an künstlichen Kabeln ausprobiert (Wagner: ENT 1924, S. 124).

(1519) Pupinkabel. Die Bell Telephone Co. hat ein System ausgearbeitet, um auf Pupinfersprechkabeln (entsprechend unseren Normalkabeln) mit Dop-

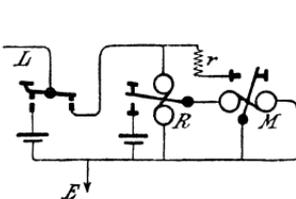


Abb. 936. Zeitweiliger Nebenschluß zur Entladung des Kabels.

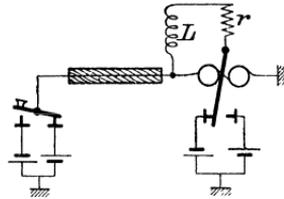


Abb. 937. Hilfsstrom am Ende des Kabels (Vibrationsschaltung).

pelstrom auf weite Entfernung (über 1000 km) ohne Röhrenverstärker zu telegraphieren. Vorwiegend Morse- und Klopferbetrieb. Für diese geringe Telegraphiergeschwindigkeit ist auch eine einfache Duplexnachbildung angegeben. Simultanbetrieb, Gulstadrelais, Duplexübertragung auch für Simplexbetrieb. 89000 km werden insgesamt auf diese Weise betrieben (J. A. I. E. E. 1925, Bd. 44, S. 378).

(1520) Fliegender Nebenschluß. Der Empfangsapparat schließt beim Ansprechen einen Nebenschluß zur eigenen Wicklung und verringert dadurch den Strom in der Spule auf einen Betrag, der zum Festhalten des Ankers gerade noch ausreicht (Abb. 936).

(1521) Hilfsstromschaltung (Abb. 937). Hat das Relais auf den Strom φ_0 (Abb. 938) im Zeitpunkte *A* angesprochen, so fließt aus der eigenen Batterie über die Drossel *L*, *r* ein Strom φ_1 durch die Relaiswicklung von entgegengesetzter Richtung.

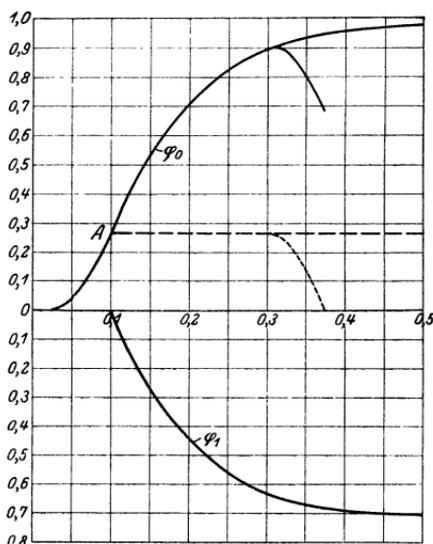


Abb. 938. Stromverlauf in der Hilfsstromschaltung.

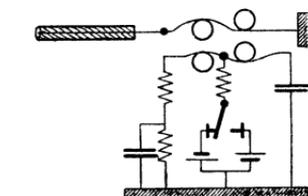


Abb. 939. Gulstad-Schaltung.

dient die Regel, daß die Vibrationsfrequenz gleich der Wechselfrequenz sein muß, doch genügt diese Regel nicht für die erstmalige Einstellung.

(1522) Die Gulstadschaltung (Abb. 939) wirkt ähnlich, doch wird der Hilfsstrom durch eine zweite Wicklung geschickt und genauer nachgebildet. Gleich-

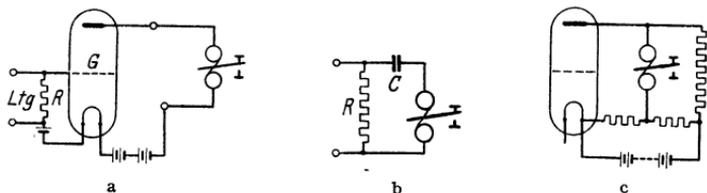


Abb. 940. Telegraphieverstärker. a direkte Schaltung; b CR-Schaltung; c Brückenschaltung.

zeitig wird der Anker des Relais beim Verlassen des Kontakts durch eine Kondensatorentladung beschleunigt. El. Rev. Bd. 42, S. 751; Bd. 51, S. 294. Oszillographische Untersuchung: Richardson: J. Inst. El. Eng. 1922, S. 921.

(1523) Telegraphieverstärker. Sind die ankommenden Ströme zu schwach, um ein Relais oder einen Schreiber zum Ansprechen zu bringen, so werden neuerdings mit Erfolg Vakuumrohrverstärker angewandt. Die zu verstärkende Spannung wird von einem Widerstand *R* (Abb. 940a) auf das Gitter des Verstärker-

rohres gegeben. Die Gitterspannung U wird so gewählt, daß auf dem geradlinigen Teil der Rohrcharakteristik gearbeitet wird. Der verstärkte Strom wird entweder direkt dem Empfangsapparat zugeführt (Abb. 940 a) oder man beseitigt den Anodengleichstrom im Empfangsapparat durch eine CR -Schaltung (Abb. 940 b) oder durch eine Brückenschaltung (Abb. 940 c). Der Kondensator C verhält sich gegenüber Kabelzeichen ähnlich wie ein Abschlußkondensator. Wenn die Zeichen bildgetreu der unverstärkten Spannung wiedergegeben werden sollen, muß der Kondensator groß sein (praktisch vorkommend 1 bis $10\mu\text{F}$). Genügt die einfache Verstärkung noch nicht, so werden nach Abb. 941 zwei oder mehr Röhren in CR -Schaltung hintereinandergeschaltet. Auch hier wird annähernd bildgetreue Wiedergabe durch große Kopplungskondensatoren erzielt. Kleine Kondensatoren kann man

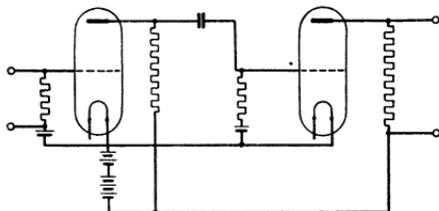


Abb. 941. Zweirohrtelegraphierverstärker.

im Sinne des Abschlußkondensators zur Kurvenverbesserung verwenden. Auch eine Parallelschaltung von Kondensator und Widerstand wird analog der Maxwellerde verwandt. Völlig verzerrungsfrei arbeitet nur ein Verstärker mit reiner Widerstandskopplung. Erreichbar ist mit einem 2-Rohr- CR -Verstärker von Siemens & Halske eine 400-fache Spannungsverstärkung, die sich jedoch mit Rücksicht auf Störströme selten ausnutzen läßt.

Literatur: Kabel Brest-Dakar. Ann. P. T. T. 1921, S. 491, 1922, S. 3, 1923, S. 736. — Versuche an deutschen Kabeln: Kunert: TFT Jg. 7, S. 89.

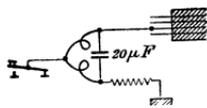


Abb. 942. Querkondensator in Gegensprechleitungen.

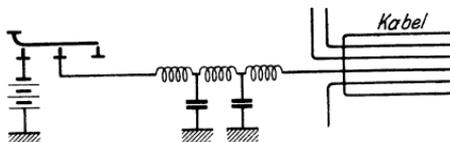


Abb. 943. Drosselkette.

(1524) Seiteninduktionsschutz. In mehradrigen Telegraphenkabeln ohne metallische Rückleitung werden beim Telegraphieren Störströme in die Nachbarnadern induziert. Denkt man sich nach Fourier die Telegraphierströme in Sinusströme zerlegt, so wirken die höheren Frequenzen am stärksten induzierend. Daher sind auch an der Senderseite die Störungen besonders stark, während die Empfangsströme, aus welchen das Kabel den höheren Frequenzanteil verschluckt hat, gewöhnlich nicht mehr schädlich wirken. Soweit der störende Frequenzanteil erheblich (1,6fach) über der Telegraphierwechselfrequenz liegt, kann man ihn durch einen Querkondensator vom Empfänger fernhalten (Abb. 942). Oder man siebt durch eine Drosselkette (Abb. 943) alle Frequenzen, die zur Bildung der Zeichen nicht mehr nötig sind, aus den Sendeströmen heraus, bevor sie in die Leitung gelangen.

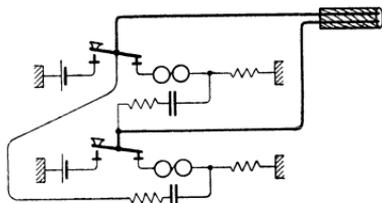


Abb. 944. Seiteninduktionsschutz für Einfachleitungen.

Reichen diese Mittel nicht aus, d. h. also: werden auch Ströme tieferer Frequenz, die für die Bildung der Telegraphierzeichen unentbehrlich sind, in stö-

render Stärke induziert, so muß man zu einer Kompensation der Störströme greifen. Bei jeder Zeichengebung wird über eine Kunstschaltung in die Nachbarader ein Stromstoß gesandt, der dem Induktionsstrom entgegengesetzt ist. Die Kunstschaltung muß so bemessen sein, daß sich die beiden Ströme in ihrem zeitlichen Verlauf gerade aufheben. In erster Annäherung wird das durch einen Kondensator mit Widerstand in Reihe erreicht. Die Werte werden experimentell

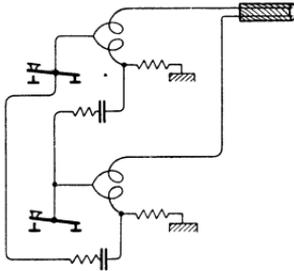


Abb. 945. Seiteninduktionsschutz für Gegensprechleitungen.

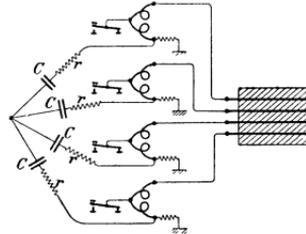


Abb. 946. Seiteninduktionsschutz für Gegensprechleitungen (Sternschaltung).

bestimmt. Die Abb. 944, 945 geben die Schaltung nach Dresing und Gulstad an; Abb. 946 eine Sternschaltung, wie sie für die deutschen 7adrigen Guttaperchatelegraphenkabel verwandt wird.

Die transatlantischen Kabel sind gegen Seiteninduktion außerordentlich empfindlich, da die Empfangsströme im Verhältnis zu den Sendeströmen sehr klein sind. Selbst benachbarte Kabel stören den Betrieb. Man hat versucht, durch Anwendung von Übertragern die Störungen auszugleichen.

A. Kunert: TFT Jg. 8, S. 202, 1920.

Allgemeine Literatur: Strecker: Telegraphentechnik. Berlin: Julius Springer. — Breisig: Theoretische Telegraphie. Braunschweig: Vieweg 1924. — Jones: Pocket edition of diagrams and complete information for telegraph engineers and students. New York. — Mercy: Telegraph Baudot. Paris: Durod 1920. — Malcolm: The theory of the submarine telegraph and telephone cable. London 1917.

Elektrische Bildübertragung.

(1525) Umsetzung des Bildes in Strom (Sender). Ein Bild wird in genügend kleine Quadrate eingeteilt gedacht. Die Helligkeitswerte der einzelnen Elemente werden zeilenweise abgelesen und elektrisch übermittelt. Praktisch wird das Bild häufig zu einem Zylinder zusammengerollt; während der Zylinder rotiert und sich langsam in der Achsenrichtung verschiebt, tastet ein ortsfestes Ableseorgan in feiner Spirale das ganze Bild zeilenweise ab. Ein Bild 9×12 cm enthält bei 0,2 mm Elementbreite (Schärfe) 270 000 Elemente entsprechend 135 000 Wechselstromperioden. Auf einem Pupinkabel stehen 2500 Hertz zur Verfügung. Das Bild kann günstigstenfalls in 54 s übermittelt werden. Freileitung etwa 10000 Hertz, 13 s; 300 m Welle 100 000 Hertz 1,35 s; 30 m Welle 1000000 Hertz 0,135 s. Zum Fernsehen müssen 10 Bilder je Sekunde erscheinen, so daß dieses Problem nur auf kurzen Wellen lösbar ist.

(1526) Umsetzverfahren. 1. Schwarzweißbilder werden aus Metallfolie gestanzt oder mit isolierender Tinte auf leitender Unterlage angefertigt. Das Abtastorgan ist ein einfacher Kontakt.

2. Das Bild wird in ein Relief verwandelt. Das Tastorgan schaltet entsprechend der Reliefhöhe Widerstand (Belin).

3. Das Bild wird Punkt für Punkt durchleuchtet, das durchfallende Licht verändert den Widerstand einer Selenzelle oder beeinflußt eine Photozelle (Hallwachseffekt, Alkalimetalle senden bei Belichtung im Vakuum Elektronen aus).

Selenzellen geben Stromschwankungen bis zu 1 mA, sind aber sehr träge. Zur Verminderung der Trägheit verwendet Korn eine Kompensationszelle. Die Photozelle gibt einige μA her, kommt daher nur in Verbindung mit Verstärkern in Frage, ist aber praktisch trägeheitslos.

(1527) **Umsetzung des Stromes in Bild** (Empfänger). Im elektrolytischen Empfänger führt ein Kontaktstift synchron zum Sender über ein mit besonderen Chemikalien getränktes Papier, welches bei Stromdurchgang seine Farbe ändert.

Im photographischen Empfänger fällt ein Lichtpunkt, dessen Helligkeit durch den Strom beeinflusst wird, auf den zeilenweise fortbewegten Film. Korn verdeckt den Lichtweg durch das Band eines Saitengalvanometers. Unter Strom biegt das Band zur Seite aus und gibt einen Schlitz frei. Karolus verwendet die Kerrzelle (Nitrobenzol ändert im elektrischen Feld seine optischen Eigenschaften, Doppelbrechung). Mihaly, Petersen und andere verwenden Oszillographenschleifen, deren Spiegel bei Ablenkung mehr oder weniger Licht auf den Empfangsfilm fallen lassen.

(1528) **Synchronismus** zwischen Sender und Empfänger wird durch Schrittmotoren (siehe Telegraphenapparate) oder phonische Räder und ähnlich aufrecht erhalten.

(1529) **System Korn**. Rotierende Trommel am Sender und Empfänger. Vorwiegend Selenzelle mit Kompensationsschaltung. Saitengalvanometer (Lichtrelais). Synchronisiert schrittweise, verwendet im Telautographen auch leitend gemachte Bilder.

(1530) **Bell Telephone Co.**, für Pupinkabel. Trägerfrequenz 1300 Hertz, synchronisiert bei 400 Hertz durch phonisches Rad. Photozelle, Saitengalvanometer.

(1531) **System Carolus-Telefunken-Siemens**. Der Sender arbeitet mit der Photozelle, und zwar mit einem vom Bild reflektierten Lichtstrahl, so daß kein durchsichtiger Film hergestellt zu werden braucht. Empfänger mit Kerrzelle. Synchronisierung mit Synchronmotoren bei etwa 1500 Hertz. Im Fernbetrieb wurden Bilder von 1 dm² und 0,2 mm Elementbreite in etwa 1 min übertragen, im Laboratorium in 5 s; vgl. (2122 u. 2239).

Literatur: Korn, A. und Glatzel, Br.: Handbuch der Photographie und Telautographie, Leipzig 1911. — Korn: Naturwissenschaften, Jg. 13, S. 517. — Ders.: ETZ 1925, S. 306. — The Transmission of Pictures over Telephone Lines, Bell System Technical Journal, April 1925, Bd. 4, Nr. 2. — Belin: El. Rev. (Ldn.) Bd. 87, S. 178, 246. Phys. Berichte 1925, H. 7, S. 457. — Baird: Television, Wireless World. Bd. 15, S. 533, 1925; Radio News Bd. 6, S. 1385, 1925; Engineering Bd. 119, S. 661. — Dieckmann: Pat. Anm. D. VIII 46065. — Mihaly: Das elektrische Fernsehen und das Teleher. Berlin: Krays 1923; ferner Helios 4926, S. 1. — Schröter: ENT 1926, S. 41.

Wechselstrom-(Tonfrequenz-)Telegraphie.

(1532) **Historischer Überblick** Eng verwachsen mit dem Begriff Wechselstromtelegraphie sind die Namen Gray(1), Mercadier und Magunna(2), auf deren grundlegenden Arbeiten aus den Jahren 1870/99 sich die Wechselstromtelegraphie aufbaute. Einer der Grayschen Vorschläge ging dahin, die Wechselstromerzeuger am Leitungsanfang und die Wechselstromempfänger am Leitungsende entweder in Reihe mit der Leitung (Abb. 947 a) oder die Sender für sich am Leitungsanfang und die Empfänger für sich am Leitungsende parallel zu schalten (Abb. 947 b). Auch heute stellen diese Schaltungsarten noch die zweckmäßigsten Anordnungen dar.

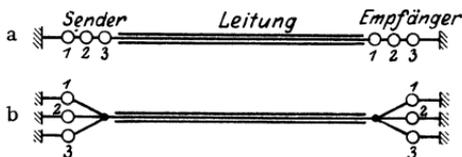


Abb. 947. Sender- und Empfängeranordnung.

Für die Schwingungserzeugung bildete Mercadier besonders konstruierte elektromagnetische Stimmgabeln durch, die er auch zur Erregung von Mikrofonen benutzte und dann als Sender arbeiten ließ. Beim Empfänger zerlegten mechanisch abgestimmte Apparaturen das Frequenzgemisch in seine Einzel Frequenzen. In seinen Aufbauten verwendete Gray mechanisch abgestimmte Zungen, Mercadier und Magunna resonierende Telephone, welche sie Monotelephone nannten. Das Jahr 1890 brachte Anregungen von Pupin, die Auswahl durch elektrische Resonatoren vorzunehmen. Mercadiers Verdienst ist es, viele Betriebsmethoden für die Wechselstromtelegraphie erprobt zu haben. Wenn es ihm trotzdem nicht gelang, einen praktischen Erfolg zu erzielen, so lag das an dem Mangel an technischen Hilfsmitteln der damaligen Zeit. Der Beginn neuer Versuche (3) fällt in Deutschland in die Zeit nach Bekanntwerden der wertvollen Eigenschaften von Hochvakuum-Glukhathodenrohren für die Zwecke der Schwingungserzeugung, Verstärkung und Gleichrichtung. Wertvoll bei der Durchführung der Versuche waren die Wagnerschen (4) und die Campellschen (5) Siebkettenuntersuchungen.

(1533) Neuere Entwicklung. a) Die Leitungen. Zu Beginn der Entwicklungsarbeiten mußte man sich bald darüber klar werden, daß Freileitungen für einen Tonfrequenzbetrieb nicht in Frage kamen, da diese den Witterungsschwankungen und der Beeinflussung durch Starkstromleitungen in so hohem Maße ausgesetzt waren, daß der Betrieb und Gesundheit und Leben der an solchen Leitungen arbeitenden Beamten gefährdet wurde. Die Eigenart der Guttaperchakabel, den Sprachfrequenzen, die man benutzen wollte, eine relativ hohe Dämpfung entgegenzusetzen und die höheren Frequenzen gegenüber den tieferen in hohem Maße starker zu dämpfen, verbot diese Wechselstromtelegraphie in Guttaperchakabel zu verlegen. Die Tatsache aber, daß Deutschland schon ein ansehnliches Pupinkabelnetz besaß, war bestimmend für die Entschliebung, den Telegraphenbetrieb mit Wechselstrom in diese Kabel zu legen. Sie eignen sich besonders deshalb dafür, weil sie über ein breites Frequenzgebiet praktisch frequenzunabhängige Dämpfung haben. Die Wahl von Kabeln, wie sie die Telephonie benutzt, hat betriebstechnisch den großen Wert, daß die Telegraphenverwaltung nur eine Kabelart zu verlegen und zu überwachen hat. Hält man sich mit den Amplituden der einzelnen Frequenzen in den durch die Telephonie gesteckten Grenzen — das sind etwa 1 V Kabelanfangsspannung —, so hat man mit denselben Übersprechwerten für die Telegraphie zu rechnen wie die Telephonie. Eine gegenseitige Beeinflussung beider bei ausreichenden Übersprechwerten war undenkbar.

b) Das Telegraphieverfahren. Die Durchbildung eines für Pupin- und Krarupkabel geeigneten Wechselstromtelegraphiesystems stammt von Siemens & Halske, welche mit ihren Laboratoriumsversuchen Anfang 1919 begannen. Das von ihr entwickelte Sechsfach-Telegraphiersystem (Abb. 949 a, b) erprobte die Deutsche Telegraphenverwaltung seit Ende 1920 auf langen Pupinkabeln und führte es nach dem Gelingen der Versuche im großen ein. Die ersten Dauerbetriebsversuche reichen zurück bis in das Jahr 1922; dabei wurde auf der Strecke Berlin-Hannover-Hamburg in den 2 mm starken Adern des alten Rheinlandkabels der später zu beschreibende Tonfrequenz-Staffelbetrieb gemacht. Da sich das System im Dauerbetrieb bewährte, erprobte man es Anfang 1924 mit Siemens-Schnelltelegraphen auf einem langen Pupinnormalkabel (Strecke Berlin-Frankfurt a. M. 600 km) unter Einschaltung dreier Übertragungssämter (Verstärkerämter) Bitterfeld, Weimar und Fulda.

Ein gleicher Vielfachbetrieb entstand zwischen Berlin und Königsberg unter Einschaltung des durch die Ostsee verlegten Krarupkabels. Im Juni desselben Jahres bewährte sich die Tonfrequenztelegraphie in Duplexschaltung (Abb. 948) im Betrieb mit Hughes-Apparaten zwischen München und Nürnberg. Der Duplexabgleich, der sich in der Gleichstromtelegraphie bei schlechter Leitungsbildung schwierig gestaltet, ließ sich in der hier gewählten Schaltung mit relativ

unvollkommenen Mitteln bequem erzielen. Zur Zeit der Drucklegung sind die Linien Berlin—Emden, Berlin—München, Berlin—Köln mit Tonfrequenztelegraphie ausgerüstet worden. Bis jetzt sind etwa 40 Sechsfachsätze im Betrieb.

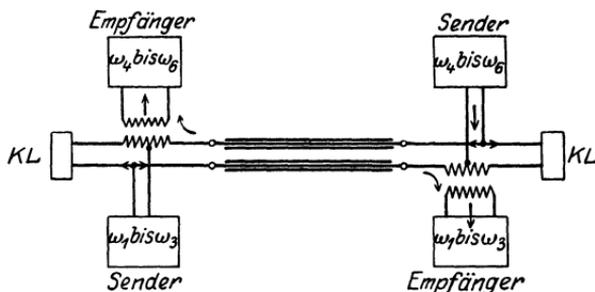


Abb. 948. Duplexbetrieb.

(1534) Das Prinzip der Wechselstromtelegraphie. Der Zweck der Verwendung von Wechselstrom statt Gleichstrom zum Telegraphieren ist die Benutzung einer Leitung zur gleichzeitigen Übermittlung mehrerer voneinander unabhängiger Telegramme, so daß durch die Vielfachausnutzung der Leitung die Wirtschaftlichkeit des Telegraphenbetriebes erhöht wird. Jede Frequenz — wir nennen sie, da sie Träger der Nachricht ist, Trägerfrequenz — stellt eine besondere Telegraphenverbindung dar. Die Erzeugung der einzelnen Frequenzen besorgen Röhrensender (Abb. 949 a). Die von den einzelnen Telegraphensenderapparaten gesteuerten Wechselstrom-Tastrelais legen die Wechselspannung im Takt der gesandten Zeichen an die Leitung. Das beim Betrieb aller Senderrelais über die Leitung laufende Frequenzgemisch wird am Leitungsende durch einen für alle Frequenzen gemeinsamen Verstärker verstärkt, um anschließend unter Zuhilfenahme elektrisch abgestimmter Siebketten (Abb. 949 b) in seine Einzelfrequenzen zerlegt zu werden. Da die bekannten Telegraphenempfangsapparate zur Betätigung Gleichstrom benötigen, müssen die gesandten Wechselstromzüge und -pausen noch gleichgerichtet werden. Das geschieht durch stark negativ vorgespannte Hochvakuum-Gleichrichtröhren (hier Raumlade-Gitterröhren) in Verbindung mit Übertragern im Anodenkreis eines jeden Rohres, durch deren Hilfe es erst möglich wird, neutral eingestellte polarisierte Empfangsrelais zu verwenden.

(1535) Sender. Wie Abb. 949 a zeigt, sind beim Sender die Glühfäden von 2 Reihen zu 3 Hochvakuum-Schwingungserzeugerröhren (Type B.O.) für die sechs Kreisfrequenzen $\omega = 2500, 4000, 5500, 7000, 8500$ und $10000 \text{ Per}/2\pi s$ über einen gemeinsamen Regelwiderstand und Kontrollwiderstand an eine Heizbatterie von 12 V gelegt. Unter Zuhilfenahme eines dem Kontrollwiderstand parallel zu schaltenden Spannungsmessers regelt man mittels eines, je 3 Röhren gemeinsamen Widerstandes den Heizstrom auf den Sollwert. Die Rückkopplungswicklung der Schwingungsspule ist über einen Gitterstrom-Begrenzungswiderstand an das Gitter geführt. Der Begrenzungswiderstand sorgt bei Oxydröhren für gute Sinusform und Unabhängigkeit der erzeugten Schwingung von Heizstromschwankungen. Im Anodenkreis liegt die Schwingungswicklung mit parallel geschaltetem Abstimmkondensator. Die Frequenz wird durch Änderung der Induktivität der Schwingungswicklung geregelt, indem man einen aus Drähten zusammengesetzten Eisenkern mehr oder weniger tief in die Schwingungsspule schiebt. Über der Schwingungswicklung ist eine einseitig geerdete Wicklung als statischer Schutz angeordnet, um kapazitive Unsymmetrien der Tastwicklung zu beseitigen und somit zu verhindern, daß, während die Anker der Senderrelais an den Trennkontakten anliegen, durch die Amplitudenwiderstände im Gitterkreis des Senderverstärkerrohres Wechselstrom fließe. Die einzelnen Tastkreise sind je über einen

hohen Vorschaltwiderstand, einen Regelwiderstand für die Wechselstromamplitude (Amplitudenwiderstand) und den Anker- und Arbeitskontakt des Sende-

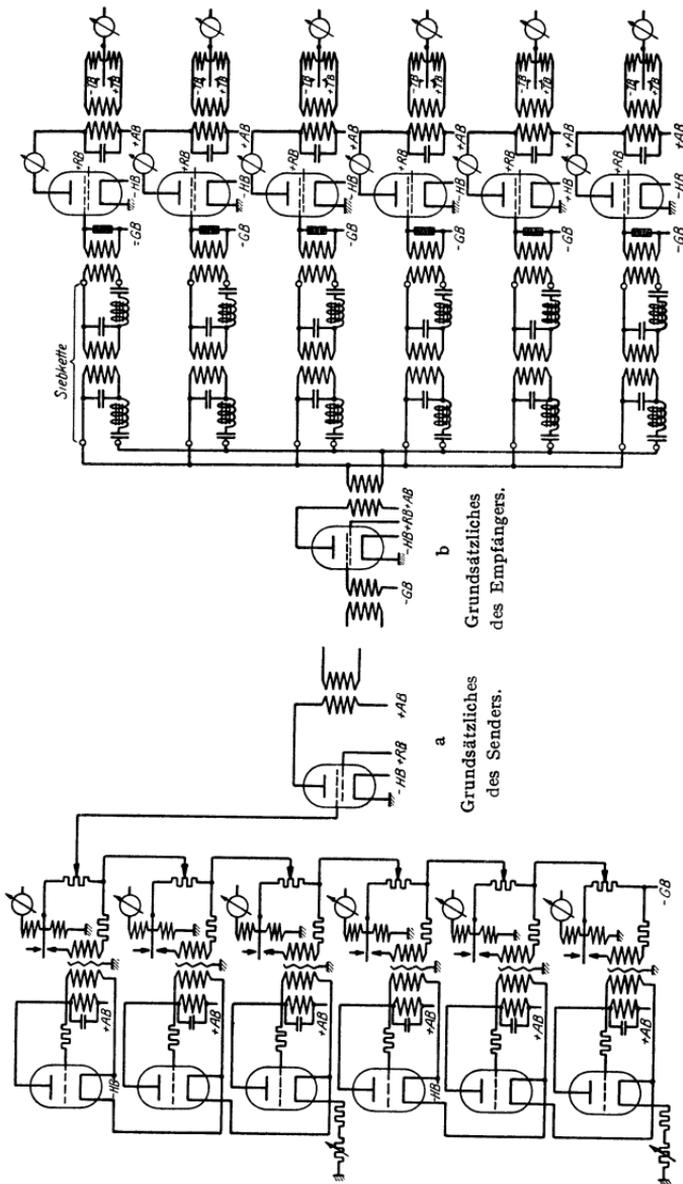


Abb. 949 a u. b. Sechsfache Wechselstromtelegraphie.

relais geschlossen. Die als Spannungsteiler ausgebildeten Amplitudenwiderstände liegen im Gitterkreis in Reihe. Da gute Verstärkerröhren im Gebiete negativer Gittervorspannung ohne Gitterstrom arbeiten, so erzeugt der im Betrieb auf dem

Amplitudenwiderstand einer Frequenz erzeugte Spannungsabfall keinen Wechselstrom im Gitterkreis und demnach keinen Spannungsabfall auf den Amplitudenwiderständen der Nachbarsender, das heißt, die Sender beeinflussen sich untereinander im Schwingen nicht. Durch die beschriebene Reihenschaltung im Gitterkreis wird ferner erreicht, daß die Kabelanfangsspannung einer Frequenz in ihrer Größe nicht beeinflußt wird durch die Offen- und Schlußstellung der Relais der Nachbarsender. Der Widerstand in den einzelnen Tastkreisen ist groß bemessen gegenüber dem Scheinwiderstand der Tastwicklung. Da dann bei Schlußstellung des Tastrelais praktisch keine Leistung vom Schwingungsrohr an diese Widerstände abgegeben wird, ändert sich beim Arbeiten des Tastrelais die Belastung des Schwingungserzeugers und somit die Frequenz nicht. Einschwingvorgänge im Senderohr sind also zur Erzielung hoher Telegraphiergeschwindigkeit peinlichst vermieden. Die an den Amplitudenwiderständen der sechs Schwingungserzeuger hervorgerufenen Spannungsabfälle überlagern sich im Gitterkreis und rufen, soweit man im geradlinigen Bereiche des Verstärkers arbeitet, dieser Spannung proportionale Stromänderungen im Anodenkreis hervor, die durch den Anodenübertrager dem Leitungsanfang aufgeprägt werden.

Um ein zu hohes Übersprechen auf die Nachbarleitungen zu vermeiden, werden die Amplituden der Einzelfrequenzen nie größer als etwa 0,2 V gewählt, so daß man mit etwa 1 V Kabelanfangsspannung beim Betrieb aller Frequenzen zu rechnen hat.

(1536) Empfänger (Abb. 949 b). Das Gemisch der sechs Frequenzen kommt am Leitungsende entsprechend der Kabeldämpfung geschwächt an, und zwar sind die Ströme der hohen Frequenzen, für welche die Kabeldämpfung am höchsten ist, am schwächsten [verzerrt (1615)]. Zur Entzerrung (1634) dient ein Endverstärker. Soweit der Verstärker im geradlinigen Bereich arbeitet und die verwendeten Schaltmittel, wie Übertrager und Drosseln, im benutzten Amplitudenbereich von den Amplituden unabhängig sind, erhält man hinter dem Verstärker ein Gemisch der sechs Frequenzen, deren Amplituden zueinander das gleiche Verhältnis wie die Kabelanfangsströme haben. Dieses Frequenzgemisch wird jetzt auf sechs parallel geschaltete induktiv gekoppelte Siebketten gegeben, deren mittlere Durchlässigkeitsfrequenzen die Betriebsfrequenzen 2500, 4000, 5500, 7000, 8500 und 10 000 Per/2 π s sind. Zur Erzielung einer gewünschten Telegraphiergeschwindigkeit müssen die Ketten neben der Trägerfrequenz noch einen Frequenzspalt links und rechts von der Trägerfrequenz hindurchlassen. Dieser Spalt muß so groß sein, daß ein Wechselstrom-Telegraphierzeichen nach der Zeit eines Stromschrittes — dessen Größe ja durch die Geschwindigkeit des Telegraphenapparates bedingt ist — nach Durchgang durch die Siebkette eingeschwungen ist. Die Einschwingzeit T einer Siebkette beim Anlegen einer sinusförmigen EMK der mittleren Durchlässigkeitsfrequenz Ω ist gegeben durch den Ausdruck $T = 5/\Delta\omega$, wo $\Delta\omega$ die Spaltbreite ist. Man sieht hieraus, daß sich Siebketten mit großer Spaltbreite $\Delta\omega$ schnell einschwingen, so daß mit ihnen große Telegraphiergeschwindigkeiten mit Wechselstromapparaten zu erreichen sind. Soll danach in einem vorgegebenen Frequenzgebiet eine Höchstzahl von Telegraphierfrequenzen untergebracht werden, so ist das um so leichter möglich, je geringer die geforderte Telegraphiergeschwindigkeit der Wechselstrom-Telegraphierapparate ist. Das Produkt, Telegraphiergeschwindigkeit \times Zahl der Frequenzen, scheint für eine bestimmte Siebkettenart eine Konstante zu sein.

Der Aufbau der Siebketten geht ebenfalls aus Abb. 949 b hervor. Um geringe Dämpfung im Spalt zu erreichen, müssen die Spulen auf Massekernen gewickelt und die Kondensatoren möglichst ohne Verluste sein.

Hinter jeder Siebkette liegt eine Gleichrichtapparat, welche aus den Wechselstromwellenzügen und -pausen in Verbindung mit dem Anodenübertrager und dem Gleichrichtrelais Gleichströme negativer und positiver Richtung herstellt. Diese Apparat besteht aus einem an die Siebkette angepaßten Vorübertrager, dessen Sekundärseite auf das stark negativ vorgespannte Gitter arbeitet, so daß

im Anodenkreis, solange nicht gesandt wird, kein Strom fließt. Im Anodenkreis liegt ein für die Stromschrittfrequenz an die Röhre angepaßter Übertrager, dessen Sekundärseite, ebenfalls wieder angepaßt, auf ein polarisiertes, neutral eingestelltes Relais arbeitet. Der Anodenwicklung parallel liegt ein Kondensator. Wird das dieser Telegraphenverbindung zugeordnete Tastrelais am Leitungsanfang an den Arbeitskontakt gelegt, so trifft ein Wechselstromwellenzug das Gitter der Gleichrichterröhre und löst einen pulsierenden Gleichstrom im Anodenkreis aus. Jeder pulsierende Gleichstrom kann in eine Gleichstromkomponente mit darüber gelagerter Wechselstromkomponente zerlegt werden. Die Gleichstromkomponente geht durch den Anodenübertrager und erzeugt in diesem ein elektromagnetisches Feld. Hierdurch entsteht im Sekundärkreis ein Induktionsstoß, der den Relaisanker an den Arbeitskontakt legt. Die Wechselstromkomponente wird vom Anodenübertrager durch den diesem parallel liegenden Kondensator ferngehalten. Beim Zurücklegen des Tastrelais an den Trennkontakt verschwindet die Wechselspannung am Gitter, damit der Anodenstrom und das elektromagnetische Feld des Übertragers. Ein Induktionsstromstoß umgekehrter Richtung legt den Anker des Empfangsrelais an den Trennkontakt. Im Ortsstromkreis dieses Relais liegt dann in der bekannten Doppelstromschaltung die Telegraphenempfangsapparatur.

(1537) Inbetriebsetzung. Zunächst regelt man die Heizung der Sender- sowie Empfängerrohre mittels der dazugehörigen Drehwiderstände unter Benutzung des Heizstromkontrollinstrumentes. Darauf legt man die Kippschalter für die Anoden- und Raumladespannungen in die Betriebslage und prüft die Spannungen unter Zuhilfenahme des Kontrollvoltmeters. Anschließend werden die Gitterspannungen des Sender- bzw. Empfängerverstärkerrohres, sowie die Vorspannungen für die sechs Gleichrichtrohre geprüft. Die richtige Bemessung der Gitterspannungen der Gleichrichter wird durch Beobachtung der Anodenmilliamperemeter kontrolliert. Solange keine Wechselstromzeichen auf das Gitter der Gleichrichterröhre auftreffen, zeigen sämtliche Milliamperemeter auf Null. Darauf fordert man das Gegenamt telephonisch auf, die erste Frequenz 2500 im Dauerstrich zu senden, was durch Umlegen des Ankers des Senderrelais an den Arbeitskontakt geschieht. Jetzt wird sich ein kleiner Ausschlag des Anodenmilliamperemeters des Gleichrichters der ersten Frequenz zeigen. Auf Kommando des empfangenden Amtes ändert das sendende Amt durch Drehen des Frequenzreglers die Frequenz und das empfangende Amt ermittelt, bei welcher Stellung des Frequenzreglers das Anodengalvanometer ein Strommaximum zeigt. Nachdem mittels des Amplitudenwiderstandes auf dem sendenden Amt die Empfangsamplitude auf den vorgeschriebenen Wert gebracht ist, erfolgt die Einstellung der 2., 3. usw. Frequenz. Darauf werden sämtliche Anker der sechs Senderrelais an den Arbeitskontakt gelegt und beobachtet, ob sämtliche Anodengalvanometer ruhigen Ausschlag zeigen, wodurch ein Arbeiten im geradlinigen Bereich der zwischen den Stationen liegenden Verstärker gewährleistet ist. Sind die Ausschläge unruhig, so werden die Gitterspannungen der einzelnen Verstärker kontrolliert. Darauf legt der Sendebeamte abwechselnd den Anker des Senderrelais der Frequenz 1 an den Trenn- und Arbeitskontakt und der empfangende Beamte prüft die Anodengalvanometer auf ruhigen Ausschlag. Nachdem die 1. Frequenz wieder im Dauerstrich gegeben wurde, erfolgt das Strich- und Pausengeben mit der 2. Frequenz usw. Sind die einzelnen Frequenzen durchgeprüft, so werden Telegraphenwechsel (gleichlange Pausen und Zeichen) gesandt. Der Sendebeamte prüft seine abgehenden und der Empfangsbeamte seine ankommenden Wechsel mittels der dafür vorgesehenen, an den Gestellen sitzenden Instrumente. Stehen die Wechsel beiderseits auf Null, so werden Schriftproben gesandt und hiernach der Betrieb aufgenommen.

(1538) Fabrikationsmäßige Ausführung der Sender- und Empfängerapparaturen. Die Siemens & Halske A.G. hat zwei fabrikationsmäßige Ausführungen geschaffen, eine Hoch- und eine Breitgestellanordnung. Letztere stellt die in den

deutschen Telegraphenbetrieb eingeführte Form dar. Den Aufbau des Sendergestells für sechs Frequenzen zeigt Abb. 950, den des Empfängergestells Abb. 951. Wie aus den Abbildungen hervorgeht, sitzen alle einer Frequenz zugeordneten Sender- sowie Empfängerapparateile zusammengehörig auf auswechselbaren Einzelplatten, so daß bei Störung des Betriebes einer Frequenz alle dieser zugeordneten Apparateile leicht entfernt und durch solche auf einer Reserveplatte ersetzt werden können.

Jede der 6 Einzelplatten trägt:

Beim Sendergestell (Abb. 950) ein Senderrelais (*e*), einen links unter diesem sitzenden Amplitudenwiderstand, einen dem Fadenwiderstand des Schwingrohr-

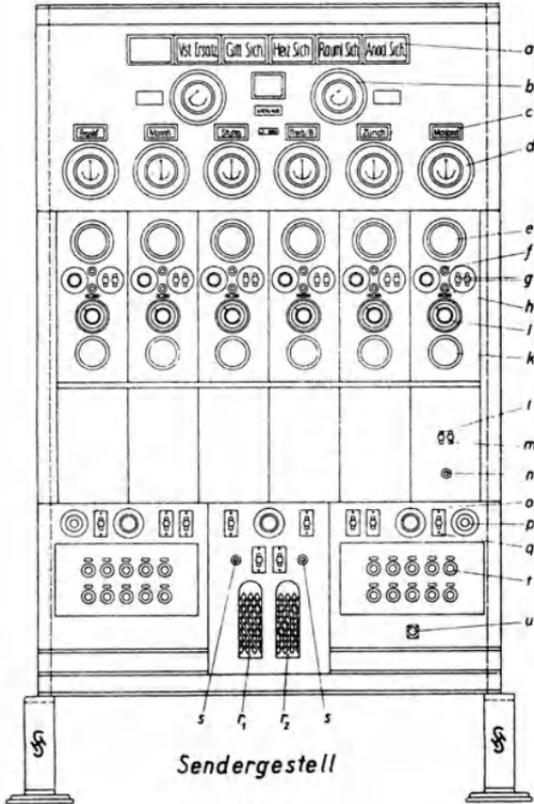


Abb. 950.

res (*k*) entsprechenden Ersatzwiderstand, der dann durch den Druckknopf (*f*) eingeschaltet wird, wenn eins der drei in Reihe geheizten Schwingrohre außer Betrieb gesetzt wird, eine Prüfklinke (*h*), in die entweder ein Stöpsel mit einem Telefon zur Kontrolle der Frequenz oder mit einem Röhrenvoltmeter zur Prüfung der Amplitude der Trägerfrequenz geführt wird, zwei Schalter (*g*), mit denen die vom Telegraphenapparat kommenden \pm -Zeichen entweder auf das Senderrelais gegeben oder unter dessen Ausschaltung direkt über Instrument (*d*) an Erde gelegt werden können. Ferner läßt sich durch Umlegen des rechten Schalters der Anker des Senderrelais bei der Betriebseinrichtung an den Arbeits- und Trenn-

kontakt legen. In der Mittellage des Schalters kann die Neutralstellung des Relais geprüft werden. Gleichfalls ist auf der Einzelplatte ein Frequenzregler (z) mit einer über ihm angebrachten Feststellvorrichtung befestigt.

Beim Empfängergestell (Abb. 951) trägt jede Einzelplatte ein Empfangsrelais (e), einen Regulierwiderstand (p) für die Heizung des Gleichrichtrohres (y),

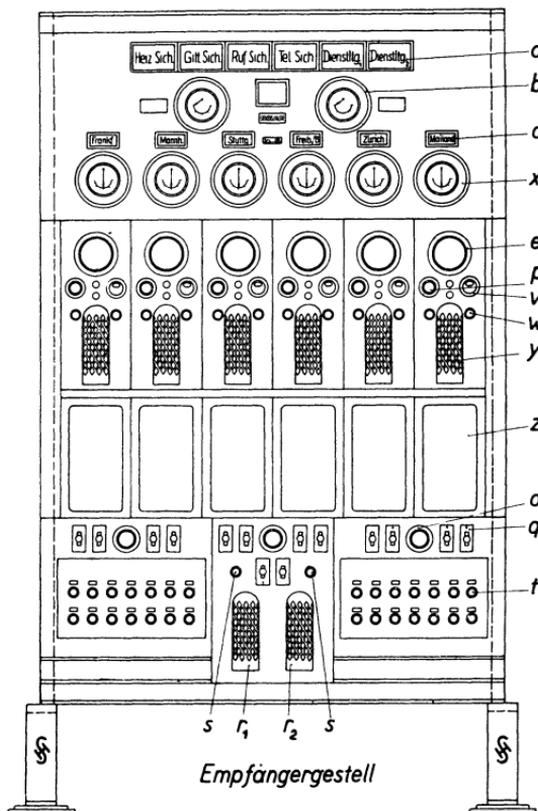


Abb. 951.

ein Gleichrichtinstrument (v) zur Messung des vom Gegenamt gesandten im Gleichrichter gerichteten Wechselstroms, links und rechts von dem unter einer perforierten Kappe sitzenden Richtrohr (y) zwei Sicherungslampen (w), die zwischen Arbeitskontakt und Minuspol bzw. Trennkontakt und Pluspol der Telegraphenbatterie geschaltet sind. Diese Lampen werden jetzt allgemein von der Deutschen Telegraphenverwaltung an Stelle der bei jeder Falschschaltung durchbrennenden Sicherungen verwendet. Ihre Eignung als Ersatz für letztere geht daraus hervor, daß sich der Lampenwiderstand in einem praktisch ausreichenden Spannungsbereich proportional der angelegten Spannung erhöht. Nach Aufheben der Falschschaltung sinkt er auf seinen ursprünglichen Wert. Der Verschleiß an Sicherungen ist hierdurch stark vermindert. Unter den eben beschriebenen Einzelplatten sitzen beim Sender- und Empfängergestell weitere 6 Einzelplatten gleicher Breite. Diese tragen beim Sendergestell diejenigen Schaltmittel (l , m , n), die für den Sprechbetrieb auf dem Vierer erforderlich sind; beim Empfängergestell sind die

Siebketten (z) der Frequenzen $\omega = 2500$ bis 10000 darauf montiert. Als Induktivitäten sind Massekernspulen verwendet. Wegen ihrer geringen Verluste erhält man Siebketten mit geringer Spaltdämpfung. Eine dritte Spule sitzt zusammen mit Papier- und Glimmerkondensatoren auf der Rückwand der Siebkettenplatte. Die linke und rechte Platte der unteren Plattenreihe dient beim Sender- und Empfängergestell zur Aufnahme der Haupt- und Einzelsicherungen (t), der Kippschalter (q) zur Einschaltung der Heizung und der Anoden- bzw. Raumladungsspannungen der Rohre, sowie der beiden Instrumentumschalter (o) für den Betriebsspannungs- und Heizstrommesser. Am Sendergestell sitzt an diesen Platten noch je ein Regelwiderstand (p) für die Heizung der drei Senderöhre. Das Mittelfeld der unteren Reihe trägt beim Sendergestell das Betriebs-Sendeverstärkerrohr r_1 und das, sich beim Durchbrennen des Fadens automatisch einschaltende, Ersatzrohr r_2 . Beim Empfängergestell treten an Stelle dieser Senderöhre die Empfangsverstärkerrohre. Neben diesen sind auf jeder Platte der Heizwiderstand für das Sende- bzw. Empfangsverstärkerrohr, Kippschalter für Heizung, Anoden- und Raumladungsspannung, sowie 2 Klinken (s) zur Prüfung des unverstärkten und verstärkten Stromes. Die oberste Gestellplatte trägt 6 Signaltafeln (a), deren Schrift beim Ausbleiben einer Betriebsspannung oder beim Durchbrennen einer Röhre durch eine dahinterliegende Lampe beleuchtet wird. Das Instrument (b) dient zur Kontrolle der Betriebsspannungen, sein linker Nachbar zur Heizstromprüfung der Rohre. Die Schilder (c) tragen die Namen derjenigen Telegraphenamter, mit denen die einzelnen Frequenzen im Verkehr stehen. Unter den Schildern sind 6 Instrumente (d) zu sehen, die am Sendegestell die von den 6 Telegraphenapparaten kommenden und am Empfängergestell zu ihnen gehenden Telegraphierströme anzeigen.

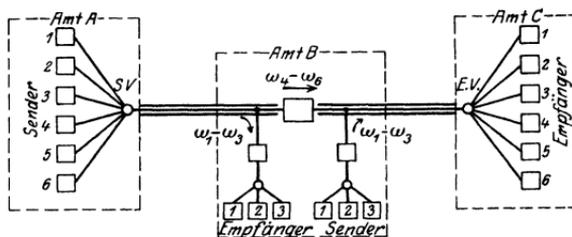


Abb. 952. Staffeltreiben.

(1539) Staffeltreiben (Abb. 952). Zur Inbetriebsetzung eines Sechsfach-Tonfrequenzverkehrs zwischen zwei Stationen A und B sind 2 Paar Doppelleitungen erforderlich, ein Paar für die Richtung A nach B , ein zweites Paar für die umgekehrte Richtung. Sollen nun einige von den auf einer Endstation endigenden Verbindungen weitergeleitet werden, so kann das so geschehen, daß man die \pm -Ströme der Tonfrequenzempfängerrelais über Freileitungen oder Guttaperchakabel entfernten Telegraphenempfängern zuleitet. Die zugehörigen Telegraphensender betätigen dann ebenfalls über Freileitung oder Guttaperchakabel eine entsprechende Anzahl Senderrelais am Sendergestell. Steht statt der Freileitung oder des Guttaperchakabels Pupinkabel zur Verfügung, so kann man die \pm -Ströme der Tonfrequenzempfängerrelais auf die Senderrelais eines neuen Tonfrequenzgestells leiten. Man arbeitet dann mit einer neuen Tonfrequenzapparatur in einem zweiten Kabelabschnitt.

Im letzteren Falle braucht man dann natürlich neue Tonfrequenzsender und Empfänger für die Zwischen- und Endstation. Um sich die Anschaffung zu ersparen, kann man die beiden Kabelabschnitte unter Zwischenschaltung von Kettenleitern verbinden, so daß ein Teil der von Station A abgesandten Fre-

quenzen durch diese Kettenleiter zum fernen Amt, der restliche Teil aber vom zweiten Kabelabschnitt ferngehalten und in die Zwischenstation geleitet wird. In dem Kabelabschnitt Zwischenstation-Endstation fließen dann nicht mehr Wechselströme aller sechs Frequenzen, sondern eine Zahl, die entsprechend den auf der Zwischenstation gebliebenen Frequenzen verkleinert ist. Um auch den letzten Abschnitt auszunutzen, benutzt man Wechselströme der auf dem Zwischenamt ausgeschiedenen Frequenzen, um vom Zwischenamt zum Endamt zu telegraphieren; diese Wechselströme werden hinter dem die beiden Kabelabschnitte verbindenden Kettenleiter eingeführt. Damit jedoch die neue Sendeanlage den das Zwischenamt passierenden Frequenzen keine Energie raube, muß dem Sender ein Kettenleiter vorgeschaltet werden, der zwar die neuen Sendefrequenzen, nicht aber die das Zwischenamt durchlaufenden Frequenzen hindurchläßt.

(1540) Duplexbetrieb. Ist der Bedarf an Telegraphenverbindungen zwischen den beiden Stationen *A* und *B* nur so groß, daß drei Frequenzen in Betrieb gehalten werden können, so wäre die Wirtschaftlichkeit der Anlage gering, wenn man für die drei Sende- und drei Empfangsfrequenzen je eine Doppelleitung benutzen müßte. In solchen Fällen verwendet man nur eine Doppelleitung für den Hin- und Rückverkehr, d. h. man überträgt die Telegramme im Gegensprech- oder Duplexbetrieb. Das geschieht zweckmäßig auf folgende Art:

Jedes Leitungsende wird, wie im Fernsprechbetrieb mit Doppelrohrzwischenverstärkern, durch Abgleichübertrager und Kunstleitung *KL* abgeschlossen (Abb. 948). In der so entstehenden Brückenschaltung liegt in einer Diagonale der dreifache Sender, in der anderen der dreifache Empfänger. Ist die Kunstleitung *KL* mit der wirklichen Leitung für die in Frage kommenden Frequenzen vollkommen identisch, so gehen die Sendefrequenzen nicht in den Empfänger des gleichen Amtes. Selbst wenn aber der Kabelabgleich für die drei Betriebsfrequenzen längere, so könnten doch harmonische Obertöne der drei Frequenzen, für die der Abgleich schlechter ist, auf die Verstärkerröhre des Empfängers gehen und sich hier mit den drei vom Gegenamt gesandten Frequenzen überlagern. Da aber die Verstärkerröhre nur einen begrenzten Geradlinigkeitsbereich hat, so modulieren die vom eignen Amt gesandten Zeichen die vom Gegenamt übermittelten. Das ist natürlich nur bei schlechtem Abgleich für die Obertöne der Fall. Die Erfahrung hat gezeigt, daß es praktisch unmöglich ist, die Kunstleitung gleich der wirklichen Leitung zu machen für Obertöne, die der Eigenschwingung des Kabels sehr nahe kommen. Der Abgleich für die Oberwellen ist aber dann nicht mehr wichtig, wenn man vor den Empfänger eine Spulenleitung schaltet, deren Eigenfrequenz etwas über der höchsten, auf dem betreffenden Amt benutzten Trägerfrequenz liegt. Dadurch werden die Oberwellen vom Verstärker ferngehalten. Versuche mit Duplextelegraphie zwischen München und Nürnberg haben gezeigt, daß bei Anwendung dieses Mittels der Abgleichsfehler ± 50 vH. sein kann, ehe der Empfang gestört wird.

(1541) Gemeinsame Erzeugung der Trägerschwingungen für mehrere Leitungen. Für große Stationen, für welche viele Sechsfachsysteme in Frage kommen, kann die Schaltung vereinfacht werden dadurch, daß sämtliche Schwingungserzeuger einer Frequenz zusammengefaßt werden zu einem Schwingungserzeuger größerer Leistung, so daß dann für eine Station nur sechs Schwingungserzeuger für die sechs Betriebsfrequenzen benötigt werden. Von den Siebketten muß man dann aber fordern, daß ihre mittleren Durchlässigkeitsfrequenzen genau den Frequenzen der Schwingungserzeuger entsprechen, da die Frequenzen in diesem Fall nicht mehr eingestellt werden können. Ob man Zentralschwingungsröhren oder Zentralmaschinen sender benutzt, ist eine Frage wirtschaftlicher Natur; bei der jetzt von den Firmen garantierten Lebensdauer der Röhren scheinen letztere gegenüber den Maschinensendern im Vorteil zu sein. Will man aber letztere verwenden, so kann man sämtliche Generatoren für die sechs Frequenzen auf eine Achse setzen, deren Drehzahl bei Schwankungen der Antriebsspannung des An-

triebmotors um nicht mehr als 2 vH schwankt. Synchronmotoren genügen für den Antrieb. Als Generatoren kann man zweckmäßig Sirenen verwenden. Das sind Zahnräder, die sich an Magnetgestellen vorbeibewegen. Sie sitzen verteilt auf der mit konstanter Drehzahl laufenden Achse; ihre Zähnezahlen verhalten sich zueinander wie die Betriebsfrequenzen. Auf den sechs Magnetgestellen ruhen die Abnahmepulen für die Wechselspannungen der sechs Betriebsfrequenzen. Ihr Scheinwiderstand muß klein sein gegenüber dem des Kabels, da sich sonst die Kabelanfangsspannung im Takte der Telegramme der am gleichen Schwingungserzeuger liegenden Nachbar-telegraphenapparate ändert.

(1542) Wahl der Trägerfrequenzen Die Wirtschaftlichkeit der Tonfrequenztelegraphie ist abhängig von der Zahl der in dem zur Verfügung stehenden Frequenzgebiet unterzubringenden Frequenzen und der mit jeder Frequenz erreichbaren Höchsttelegraphiergeschwindigkeit. Für den Betrieb in Pupinkabeln kommen nur verhältnismäßig weit von der Eigenfrequenz des Kabels entfernt liegende Frequenzen in Frage, weil

1. die Dämpfung des Kabels besonders in der Nähe seiner Eigenschwingung so stark mit steigender Frequenz steigt, daß die eingeschalteten Verstärker den Gang der Kabeldämpfung nicht völlig entzerren können, so daß man die Sendeamplituden der höheren Frequenzen vergrößern muß gegenüber den der tieferen Frequenzen. Macht man sie jedoch zu groß, so werden die Nachbarleitungen durch Übersprechen gestört.

2. die Einschwingvorgänge beim Anregen des Kabels mit Wechselströmen von einer der Eigenschwingung des Kabels sehr nahen Frequenz so langsam vor sich gehen, daß man nur eine geringe Telegraphiergeschwindigkeit erreicht. Mit Rücksicht darauf läßt sich für eine vorgeschriebene Telegraphiergeschwindigkeit nur eine höchste Frequenz benutzen, bei der die Wechselstromzeichen nach einem Stromschritt völlig aufgeschwungen sind. Legt man z. B. eine Telegraphiergeschwindigkeit von 600 Buchstaben je Minute zugrunde und rechnet mit Kabellängen von 1000 km, so kommt unter Berücksichtigung ausreichender Sicherheit als höchste Kreisfrequenz $\omega = 10000 \text{ Per}/2\pi s$ in Frage.

Die tiefste noch benutzbare Telegraphierfrequenz ist bedingt durch den schaltungstechnischen Aufbau der Gleichrichtapparatur. Man würde mit einer solchen, die nur eine Halbwelle des Wechselstromzeichens gleichrichtet, für eine vorgeschriebene Telegraphiergeschwindigkeit auf eine höhere tiefste Frequenz kommen als bei Benutzung eines Gleichrichters nach dem Push-Pull-Prinzip, der beide Halbwellen zur Steuerung des Relais ausnutzt. So wurde z. B. festgestellt, daß man bei Berücksichtigung einer gewissen Sicherheit die Frequenz $\omega = 2500$ nicht wesentlich unterschreiten darf. Nach diesen Erörterungen steht ein Frequenzgebiet von 2500 bis 10000 zur Verfügung, in welches eine Höchstzahl von benutzbaren Telegraphierfrequenzen hineingelegt werden sollen. Daß diese Zahl um so größer ist, je geringer die Telegraphiergeschwindigkeit ist, wird aus den folgenden Untersuchungen hervorgehen.

Es wären folgende Fragen aufzuwerfen:

1. Welche Frequenzen stecken in einem im Takte des gesandten Telegrammes zerhackten Wechselstrom?

2. Welche Frequenzen muß man noch sicher durch das Kabel, Verstärker und die betreffenden Siebketten übertragen, um eine gut lesbare Telegrammschrift wiederzugeben?

3. In welchem Maße regen diese zerhackten Wechselstromzüge die dieser Frequenz zugeordnete Siebkette, sowie die ihr benachbarten Siebketten an? Inwieweit stört diese Anregung der Nachbarketten den Betrieb?

4. Wie verkleinert man diese Störungen auf die Nachbarketten?

5. Wie muß der Gleichrichter bemessen sein, damit bei vorgeschriebener Telegraphiergeschwindigkeit guter Empfang gesichert ist?

(1543) Frequenzspektrum. Zu 1. Zerhackt man einen rein sinusförmigen Wechselstrom derart, daß eine vorgeschriebene Zeit lang ein Wechselstrom

fließt und die gleiche Zeit lang Stromlosigkeit herrscht, so treten, wie eine Zerlegung solcher Zeichen nach Fourier zeigt, neben der Trägerwelle noch links und rechts von dieser liegende Frequenzen auf. Die Fouriersche Reihe lautet, falls eine ganze Zahl von Perioden auf einen Stromschritt entfallen:

$$f(t) = \frac{2A}{\pi} \cdot \left[\frac{m}{m^2-1} \cos \omega t + \frac{m}{m^2-9} \cos 3 \omega t + \dots + \frac{m}{m^2-(m-1)^2} \cos (m-1) \omega \cdot t \right. \\ \left. + \frac{m}{m^2-(m+1)^2} \cdot \cos (m+1) \cdot \omega t + \frac{m}{m^2-(m+3)^2} \cdot \cos (m+3) \omega \cdot t + \dots \right] \\ + \frac{A}{2} \sin \omega_0 \cdot t.$$

Hierbei ist ω_0 die Trägerfrequenz, ω die sich aus der Telegraphiergeschwindigkeit ergebende Stromschrittfrequenz. Sie ist, wenn T die Zeit des Wechselstromgebens ist, $\omega = \pi/T$. A ist ein Amplitudenfaktor, der von der Größe der anregenden Kraft abhängt. Es

treten also, wie obige Funktion zeigt, bei dem hier gewählten einfachen Beispiel als Modulierfrequenzen alle ungeradzahlig Vielfachen der Unterbrechungs- oder Stromschrittfrequenz auf. Die Größen der aus Abb. 953 zu ermittelnden Amplitudenfaktoren geben den Einfluß der einzelnen Frequenzen auf das Gesamtzeichen an. Ein einfaches Zahlenbeispiel zeigt die Zusammenhänge am besten. Nehmen wir als Trägerfrequenz $\omega_0 = 2500$ und schreiben eine Telegra-

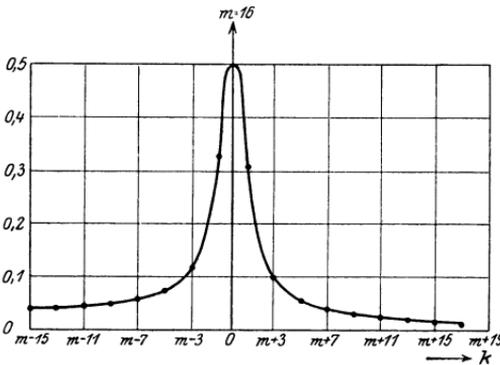


Abb. 953. Amplitudenfaktoren einer Fourierschen Reihe.

phiergeschwindigkeit von 600 Schnelltelegraphenbuchstaben je Minute vor, so würde man, da dann ein Stromschritt 0,02 s Dauer hat, mit einer Periodendauer von 0,04 s oder mit 25 Per/s zu rechnen haben. Da die Stromschrittfrequenz $\omega = 2 \cdot \pi \cdot 25$ ist, so muß man mit einer Kreisfrequenz 157 rechnen, so daß $m = \omega_0/\omega$ rund 16 wird. Wie Abb. 953 zeigt, besitzen die Cosinusklieder ($\omega_0 \pm 3\omega$) treten mit Amplitudenfaktoren von etwa 0,1 A auf. Noch kleiner sind die Glieder ($\omega_0 \pm 5\omega$), wie es die Abb. 953 zeigt. Die hier angegebenen Cosinusklieder müssen zu dem Sinusglied der Trägerwelle ω_0 , welches einen Amplitudenfaktor von 0,5 hat, addiert werden. Abb. 954 zeigt eine Modulationskurve, die aus der Trägerwelle ω_0 und aus Seitenfrequenzen $\omega_0 \pm \omega$ mit den vorhin genannten Amplituden zusammengesetzt ist. Abb. 955 stellt eine Modulationskurve unter Mitwirkung der weiteren Frequenzen $\pm 3\omega$ dar. Ein im Takt eines Telegrammes zerhackter Wechselstrom, worin Kombinationen aus Punkten und Strichen auftreten, enthält nicht nur neben der Trägerwelle die Trägerwelle plus und minus den ungeraden Vielfachen der Punktfrequenz, sondern eine kontinuierliche ineinander übergehende Reihe von Frequenzen, deren Amplituden aus dem Fourierschen Integral ermittelt werden können. Aus diesen hier angestellten theoretischen Untersuchungen ist zu entnehmen, daß es für die Übermittlung von Nachrichten unbedingt wichtig ist, neben der Trägerwelle ω_0 noch die beiden Seitenfrequenzen $\omega_0 \pm \omega$ zu übertragen. Ob es der praktische Betrieb verlangt, auch die noch weiter abliegenden Frequenzen bis $\pm 3\omega$ usf. zu

übertragen, haben praktisch angestellte Untersuchungen entschieden, wie unter 2. dargelegt wird.

(1544) **Betriebsforderung hinsichtlich des Frequenzbandes.** Zu 2. Die Eigenschaft der Siebketten, nur eine beschränkte Zahl von Frequenzen bei zweckmäßiger Bemessung der Spaltbreiten hindurchzulassen, gibt uns ein gutes Mittel an die Hand, die Frage zu prüfen: welche Frequenzen sind unbedingt nötig

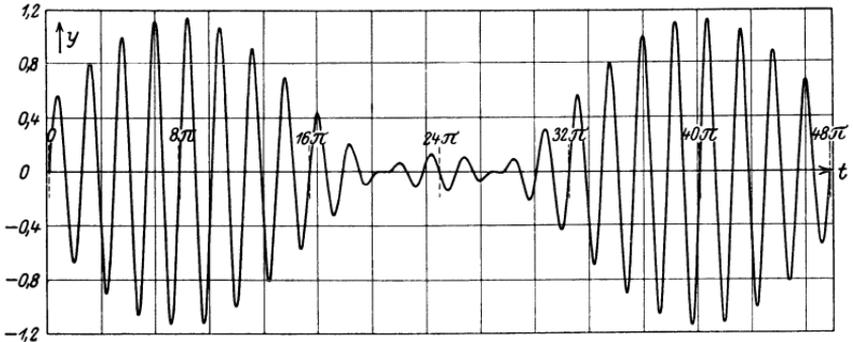


Abb. 954. Modulationskurve der Trägerwelle und einem Paar Seitenfrequenzen.

zur Übertragung einwandfreier Schrift. Es wurden Ketten verschiedener Spaltbreiten hergestellt, von der die erste neben der Trägerwelle noch die Trägerwelle \pm einfache Punktfrequenz, die zweite Trägerwelle \pm dreifache Punktfrequenz und die dritte die Trägerwelle \pm fünffache Punktfrequenz hindurchließ. Ein Telegraphiersender sandte Wechselstromzüge mit einer Telegraphier-

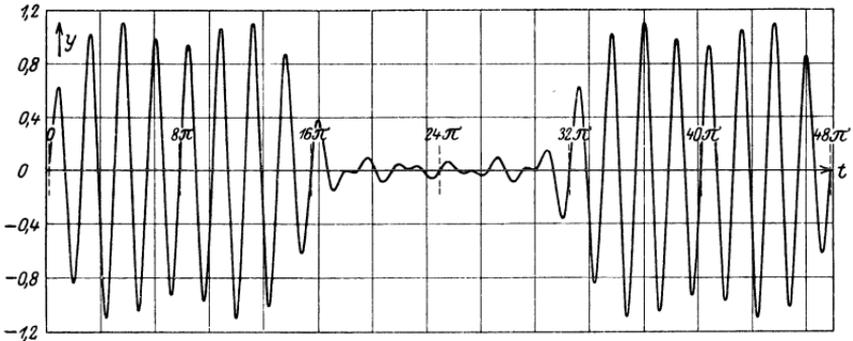


Abb. 955. Modulationskurve der Trägerwelle und zwei Paar Seitenfrequenzen.

geschwindigkeit entsprechend der halben Spaltbreite der ersten Siebkette — das Wort Berlin — auf diese Kette. Hinter diese Kette wurde eine Gleichrichtapparat geschaltet, deren Höchsttelegraphiergeschwindigkeit ein Vielfaches der durch die Ketten bedingten Höchsttelegraphiergeschwindigkeit war. Die Relaisanordnung im Gleichrichter übertrug die Zeichen auf einen Telegraphenempfänger, dessen Konstruktion eine Höchsttelegraphiergeschwindigkeitsgrenze ebenfalls entsprechend einem Vielfachen der hier in Frage kommenden Ketten ($300 \times$ Berlin je Minute) zuließ. Das Ergebnis der Prüfungen mit den Ketten verschiedener Spaltbreiten war, daß nur die Trägerfrequenz \pm der aus der Telegraphiergeschwindigkeit zu errechnenden einfachen Stromschrittfrequenz übertragen zu werden braucht, um noch eine unverstümmelte Schriftübertragung zu erhalten.

Für den Betrieb sicherer ist es, wenn man die Spaltbreiten um etwa 50 vH breiter bemißt, als es die verlangte Höchsttelegraphiergeschwindigkeit bedingt. Zusammenfassend kann man sagen, daß Kabel, Verstärker und Siebketten für Tonfrequenztelegraphie die Eigenschaft besitzen müssen, neben der Trägerwelle ω_0 Frequenzen bis $\omega_0 \pm \omega$ praktisch unverstümmelt hindurchzulassen, andernfalls man die gewünschte Höchsttelegraphiergeschwindigkeit nicht erreichen würde.

(1545) Störung der Nachbarketten. Zu 3. Sind die für den Tonfrequenzbetrieb verwendeten Wechselströme am Empfangsende nicht rein sinusförmig — die Sinusform kann dadurch leiden, daß man zwischen Sender und Empfänger nichtlineare Verzerrungen hat —, so können die höheren Harmonischen der Grundfrequenz in die höheren Nachbarsiebketten des Tonfrequenzbetriebes gehen und erheblich stören. Das wird vermieden, wenn die höheren Harmonischen der tiefen Betriebsfrequenzen nicht in die Durchlässigkeitsgebiete der Siebketten der höheren Frequenzen fallen. Man wähle deshalb die 6 Betriebsfrequenzen als ungerade Vielfache einer bestimmten Grundzahl, die beim Sechsfachtonfrequenzbetrieb 790 ist, und zwar ist dann $\omega_1 \approx 2400$, $\omega_2 \approx 4000$, $\omega_3 \approx 5500$, $\omega_4 \approx 7100$, $\omega_5 \approx 8700$, $\omega_6 \approx 10250$ zu wählen. Tatsächlich werden die Frequenzen $\omega_1 = 2500$, $\omega_2 = 4000$, $\omega_3 = 5500$, $\omega_4 = 7000$, $\omega_5 = 8500$, $\omega_6 = 10000$ verwendet. Hat man sich so frei von Störungen durch Obertöne gemacht, so können beim praktischen Telegraphieren noch die Nachbarsiebketten durch die oberhalb und unterhalb der Trägerfrequenz auftretenden Frequenzen angeregt werden. In dem eingangs geschilderten Betrieb sind die Störströme aber kleiner als 0,1 der Betriebsamplitude. Somit ist eine Betriebsgefährdung ausgeschlossen. Im übrigen kann man zur Verkleinerung dieser Störampplituden noch Sendersiebketten nach (1546) verwenden.

(1546) Verkleinerung der Störungen auf Nachbarketten. Zu 4. Es gibt Mittel, um die in Abb. 953 gezeigte Amplitudenverteilung günstiger zu gestalten derart,

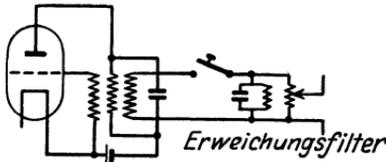


Abb. 956. Schwingkreis und Erweichungsfilter des Senders.

daß man sämtliche zur Übermittlung eines Telegramms unbedingt erforderlichen Frequenzen dem Leitungsanfang aufdrückt, alle hierfür aber unnötigen Frequenzen schon auf der Sendeseite unterdrückt. Es kann das geschehen durch Selektionsmittel, die parallel dem Amplitudenwiderstand (Abb. 949a) liegen, und die die Eigenschaft besitzen, ein gewisses Frequenzspektrum

relativ gut, ein hiervon abweichendes jedoch schlecht hindurchzulassen. Abb. 956 zeigt eine der vielen möglichen Schaltungen.

Wesentlich für die Wirksamkeit eines Selektionsmittels zur Beseitigung der Störfrequenzen ist eine zweckmäßige Bemessung der Konstanten L und C und der Zeitkonstanten L/R im Verhältnis zum Amplitudenwiderstand. Beseitigt man hierdurch die meisten der sonst durch die Nachbarketten gehenden Störfrequenzen, so kann man die Frequenzen dichter zusammenlegen.

Aus den unter 1 bis 4 aufgezählten Ergebnissen ist danach zu entnehmen: In ein vorgeschriebenes Frequenzgebiet können um so mehr Frequenzen hineingezwängt werden, je geringer die Telegraphiergeschwindigkeit des benutzten Systems ist. Das von der Firma Siemens & Halske durchgebildete, hier beschriebene System ist für Schnelltelegraphie gedacht; es eignet sich auch für geringere Geschwindigkeiten, wofür die Zahl der Frequenzen erhöht werden könnte.

(1547) Die Bemessung der Gleichrichtapparat Zu 5. Die Gleichrichtapparat, welche die Aufgabe hat, aus den Wechselstromzügen und -pausen Gleichströme negativer und positiver Richtung zu machen, muß zur Erzielung einer ausreichenden Höchsttelegraphiergeschwindigkeit zweckmäßig bemessen sein. Dies ist dann erfolgt, wenn die Relaiswicklung möglichst starke Stromstöße erhält, die aber nach der Zeit eines Stromschrittes sicher auf $1/10$ der Maximal-

amplitude abgeklungen sein müssen. Um hier Klarheit zu schaffen, kann man sich ausrechnen, wie ein Stromstoß in der Relaiswicklung aussehen muß, wenn die Konstanten L_1 , L_2 und C bei gegebenem Rohr- und Relaiswiderstand verändert werden. Es ergeben sich stärkste Stromstöße beim Anlegen und Abnehmen der Wechselspannung an das Gitter des Verstärkerrohres, wenn die Induktivität L_2 des Übertragers auf der Relaisseite sich zu der auf der Rohrseite L_1 verhält wie der Relaiswiderstand zum Rohrwiderstand. Der Blockkondensator parallel der Anodenwicklung verkleinert und verzögert den Stromstoß; die Schnelligkeit seines Abklings wird wesentlich durch die Größe der Spuleninduktivitäten im Verhältnis zum Rohr- bzw. zum Relaiswiderstand bedingt.

(1548) **Zwölfach-Telegraphie.** In neuerer Zeit ist es gelungen, etwa in demselben Frequenzbereich, der auch der Sechsfach-Telegraphie zur Verfügung stand (300 bis 1700 Hertz), 12 Frequenzen unterzubringen, ohne die Telegraphiergeschwindigkeit für jede Einzelverbindung herabzusetzen. Wie in (1542) erläutert, treten beim Tasten von Wechselstrom einer bestimmten Periodenzahl F Frequenzen links und rechts von dieser auf, die natürlich die Nachbarsiebketten zum Mitschwingen anregen. Zum sicheren Telegraphieren muß aber im wesentlichen ein Frequenzband durch die Leitung und die Siebketten übertragen werden, das von der Trägerfrequenz minus Punktfrequenz bis Trägerfrequenz plus Punktfrequenz reicht. Alle Frequenzen, die außerhalb dieses Bandes liegen, können schon am Leitungsanfang unterdrückt werden und regen demnach die am Ende liegenden Siebketten nicht an. Die Unterdrückung dieser störenden Frequenzen am Leitungsanfang erfolgt durch Erweichungsgebilde, die Erweichungsgebilde benannt werden, da sie aus harten, d. h. scharf berandeten Zeichen weiche Zeichen machen.

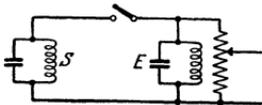


Abb. 957. Erweichungsgebilde E und Schwingkreis S des Senders.

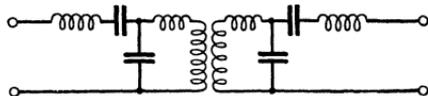


Abb. 958. Siebkette.

Abb. 956 zeigt eine, Abb. 957 eine weitere Ausführungsform solcher Erweichungsgebilde, die den Amplitudenwiderständen in den Sendern vorgeschaltet werden. Die am Ende der Leitungen liegenden 12 Siebketten, die nach Abb. 958 aufgebaut sind, sind durchlässig für Frequenzen, die mit 300 Hertz beginnend immer um 125 Hertz bis etwa 1700 Hertz wachsen. Regt man diese Parallelschaltung der 12 Siebketten mit Telegraphierzeichen einer mittleren Siebkettensfrequenz, beispielsweise mit harten Telegraphierzeichen von 1050 Hertz an, so zeigen sich hinter den Nachbarsiebketten um so größere Stöße, je näher die Durchlässigkeitsfrequenzen dieser Nachbarketten dieser anregenden Frequenz liegen. Schneidet man aber am Leitungsanfang durch die Erweichungsgebilde die zum Telegraphieren unnötigen Frequenzen heraus, so werden die Stöße wesentlich gemildert und man kann dadurch mit den Frequenzen enger aneinander rücken, als es bei der Sechsfach-Telegraphie, die mit harten Zeichen arbeitet, möglich ist. Die Siebketten stellen lose, induktiv gekoppelte Kettenleiter dar, die bei gleicher Spaltbreite wie in der Sechsfach-Telegraphie ein steileres Ansteigen der Dämpfungskurve an den Spaltgrenzen haben. Die an die Siebketten angeschlossenen Gleichrichtapparaturen sind wie in der Sechsfach-Telegraphie bemessen.

Literatur: Gray, E.: *Experimental Researches in Electroharmonic Telegraphy and Telephony 1867...78*, Library United Engineering Society. — Mercadier, E.: *Multiplex Telegraph System, Exposed at the Exposition of Chicago 1893*. — Ders.: *Mehrfachtelegraphie*, ETZ 1894 u. 1899. — Lüschen, F.: *Tonfrequenz-Wechselstromtelegraphie*, ETZ 1923, S. 1, 28. — Clausing, A.: *Stand der Tonfrequenz-Mehrfachtelegraphie*, ETZ 1926, S. 300. — Lüschen, F. und Küpfmüller, K.: *Über die Wahl der Trägerfrequenzen für die Tonfrequenztelegraphie*, ENT 1927, S. 165. — Wagner, K. W.: *Spulen- und Kondensatorleitung*, Arch. f. El., Bd. 3, S. 315; Bd. 8, S. 61. — Campbell: *USP 1227113 und 1227114 v. 15. Juli 1915*; *Bell System Technical Journal* Bd. 1, S. 1, 1922. — Colpitts und Blackwell: *JAIIEE* 1921, S. 301, 410, 517; *Ref. JB f. drahtl. Telegr.* Bd. 18, S. 162.

Die technische Einrichtung des Telegraphenamtes.

Apparate.

(1549) Allgemeines. Der Austausch von Nachrichten mittels elektromagnetischer Telegraphen erfordert außer den eigentlichen Apparaten zum Senden und Empfangen der Nachrichten noch eine Reihe von Hilfsapparaten und Zubehörschritten, die in ihrer Gesamtheit die technische Einrichtung der „Telegraphenanstalten“ bilden, und die zu ihrer Unterbringung und Aufstellung geeigneten Räume. Je nach dem Betriebsumfang einer Anstalt unterscheidet man a) *Telegraphenbetriebsstellen* und b) *Telegraphenämter*.

Der Aufbau beider Arten geschieht nach gleichen Gesichtspunkten unter Verwendung bewährter und genormter Einheiten. Während man aber bei der Ausgestaltung der Betriebsstellen, die zum großen Teil nur rein örtlichen Verkehrsbedürfnissen zu genügen haben, mit einfacheren Betriebsmitteln auskommt, müssen die Ämter, die Sammelpunkte und Umleitstellen des Verkehrs sein sollen, mit den leistungsfähigsten Apparaten ausgestattet sein. Auf jenen werden stets Hand-Telegraphenapparate, meistens sogar Morseapparate und Fernsprecher genügen, denen nur in Ausnahmefällen der eine oder andere Typendrucker zugeteilt zu werden braucht. Bei den Telegraphenämtern dagegen werden die Hauptverkehrsabteilungen ausschließlich aus Typendruckern bestehen, die auf Leitungen mit besonders starkem Verkehr rein maschinenmäßig arbeiten. Dem jeweiligen Umfang dieser dem unmittelbaren Betriebe der Leitungen dienenden technischen Ausstattung müssen die sonstigen Einrichtungen entsprechen, die für die Unterhaltung des Betriebes, für die Unterbringung des Personals und für die Verwaltung erforderlich sind.

(1550) Ausstattung und Aufbau. Die Ausstattung einer Betriebsstelle oder einer Betriebsabteilung eines TA ist von ihrer Betriebsart abhängig. Der Aufbau soll dagegen in allen Betriebsabteilungen eines Amtes einheitlich durchgeführt werden, so daß einerseits überall die gleichen einheitlich durchgebildeten Fördermittel benutzt werden können und andererseits jederzeit ein gegenseitiger Austausch der Abteilungen möglich ist. Deshalb werden die Kanäle für die Innenleitungen im ganzen Betriebssaal einheitlich angelegt und die Apparate in allen Abteilungen in gleichartigen Doppelreihen angeordnet.

Zum Betriebe jeder Telegraphenverbindung gehört ein Apparatsatz, bestehend aus einem Sende- und einem Empfangsapparat. Beim Gegensprechbetrieb werden diese durch Zusatzapparate ergänzt.

(1551) Anrufschränke. Wenn, wie es in früheren Zeiten geschah, streng nach diesem Grundsatz verfahren wurde, so mußte für jede Leitung, selbst wenn ihr Verkehr gering war, ein besonderer Apparatsatz aufgestellt werden, was offenbar höchst unwirtschaftlich war, da es zahlreiche Apparate, viel Raum, Ausstattungsgegenstände, Beleuchtungskosten, Personal usw. erforderte, ganz abgesehen davon, daß mit zunehmendem Umfang die Übersichtlichkeit verloren ging, was für die pünktliche Bedienung sehr nachteilig war. Die wachsende Zahl der Telegraphenleitungen zwang dazu, in Leitungen mit schwächerem Verkehr keine Apparate, sondern nur Anrufzeichen einzuschalten und nur soviel Betriebsapparate bereitzustellen, wie Leitungen gleichzeitig zu bedienen waren. Die Anrufzeichen wurden zu *Anrufschranken* vereinigt, die man so durchbildete, daß an ihnen auch die Verbindungen der Leitungen mit den Betriebsapparaten ausgeführt werden konnten.

Diese Schaltung wird bei der DRP zurzeit allgemein für alle Morseleitungen angewendet. Ein Unterschied besteht nur hinsichtlich der Aufnahmefähigkeit der jeweils benutzten Anrufschränke. Bei den kleineren Anstalten haben diese nur vier Anrufzeichen, bei den größeren dagegen bis zu 60. Die ersteren, die bei Betriebsstellen mit höchstens 12 Leitungen verwendet werden, erhalten ihren Platz auf den Apparatischen und werden von den Apparatbeamten mitbedient, die letzteren dagegen werden bei größeren Ämtern für sich gestellt und mit je

einem besonderen Beamten besetzt. Die kleinen Klappenschränke zu vier Leitungen sollen, da sie neuzeitlichen Anforderungen nicht mehr entsprechen, bald durch Anrufische T 23/20 ersetzt werden, die in ihrer Grundschaltung mit den Anrufschränken T 22 übereinstimmen, aber keines besonderen Vermittlungsbeamten für die Ausführung der Schaltungen mehr bedürfen.

(1552) Empfangsapparate für Morsebetrieb. Bisher wurden ausschließlich Klopfer verwendet. Neuerdings geht man aber aus apparat- und betriebstechnischen sowie wirtschaftlichen Gründen zu dem durch Summerstrom gespeisten Fernhörer über. Zur Niederschrift der mit Summer aufgenommenen Telegramme werden Schreibmaschinen benutzt, die den Forderungen des Telegraphenbetriebes angepaßt sind.

(1553) Aufstellung. Die Anrufschränke und die dazu gehörenden Betriebsapparate werden in Gruppen aufgestellt, und zwar höchstens zu zwei Schränken (für $2 \times 60 = 120$ Ltgn), denen 48 Wechselapparate und die erforderlichen Standapparate, die für Dauerverbindungen stark belasteter Leitungen bestimmt sind, zugeordnet werden. Die beiden Schränke stehen dabei im Mittelpunkt der Gruppe (Abb. 959).

Im Hughesbetriebe, der nur für stärker belastete Leitungen in Frage kommt, muß für jede Leitung ein besonderer Betriebsapparat aufgestellt werden. Wird eine Leitung in Gegensprechschaltung betrieben, so werden die zusammengehörenden Send- und Empfangsapparate so angeordnet, daß der Sendeparat links vom Empfangsapparat steht. Neuerdings kommt man, da der Mitlesestreifen weggefallen ist, mit einem einzigen Apparat aus. Die zu solchen Leitungen gehörenden „Endamtschaltätze“ stehen an den Enden der Tischreihen (Abb. 960).

In gleicher Weise werden die Abteilungen mit Ferndruckerbetrieb¹ gebildet. Auch die Abteilungen für Sprechbetrieb, in denen die Telegramme durch Fernsprecher aufgenommen oder zugesprochen werden, stimmen im Aufbau künftig mit den beiden vorgenannten Abteilungen überein, wenn statt der älteren Telegramm-

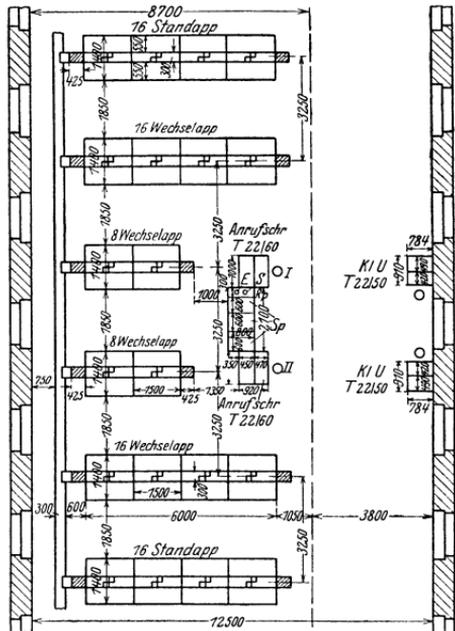


Abb. 959. Morseabteilung.

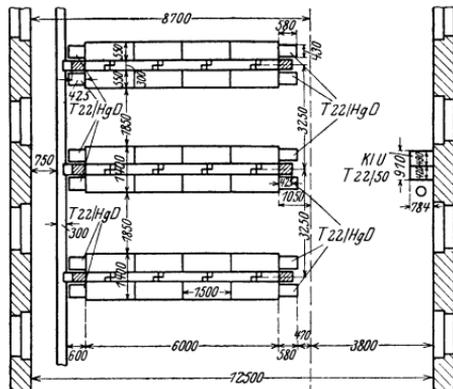


Abb. 960. Hughesabteilung.

aufnahmatische die neueren eingebaut werden, die für die Verwendung der Schreibmaschine T 25 zur Niederschrift der aufgenommenen Telegramme eingerichtet sind.

Eine etwas abweichende Art der Anordnung verlangen die Maschinentelegraphen von Siemens & Halske, weil zu jedem Satz außer einem Sender und Empfänger noch die erforderlichen Streifenlocher gehören. Die Eigenart der

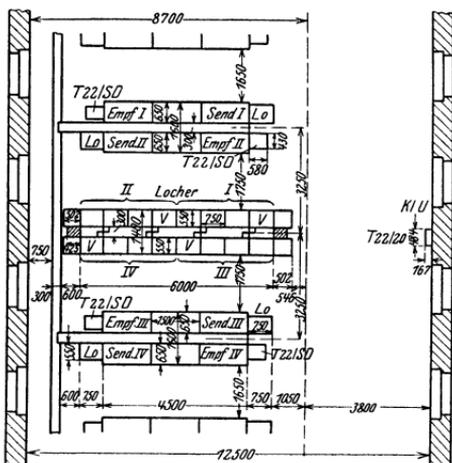


Abb. 961. Vierergruppe einer Siemensabteilung.

Apparate und des Betriebes erfordert, daß die Locher möglichst nahe bei dem zugehörigen Sender aufgestellt werden. Daraus hat sich aus Gründen einer guten Raumausnutzung die Aufstellung in Vierergruppen herausgebildet. Eine solche Gruppe (Abb. 961) umfaßt im ganzen drei Doppeltischreihen. Auf den beiden äußeren stehen je zwei Sender und Empfänger, und zwar so, daß der Sender links vom Empfänger steht. In der mittleren Reihe, die aus Tischen geringerer Höhe gebildet wird, erhalten die Locher ihren Platz, und zwar sind für jeden der vier Apparatsätze drei Locher bestimmt, im ganzen also zwölf. Den drei Lochern jedes Satzes ist ein weiterer Tisch zugeordnet, an dem die Telegramme

verteilt und gestempelt werden. Die für den Betrieb der Leitungen erforderlichen Endamtschaltsätze stehen nebst den besonderen Rückfragelochern an den Enden der Sende- und Empfängerreihen. Alle diese Abteilungen lassen sich nach dem eingangs erwähnten Grundsatz in Doppelreihen aufbauen. Die einzige Ausnahme hiervon macht der Baudotapparat. Sein bisheriger Auf- und Zusammenbau gestattet leider nicht, ihn in gleicher Weise wie die übrigen Apparate in einer bestimmten Einheitlichkeit aufzustellen, er muß vielmehr von Fall zu Fall in die übrigen Einrichtungen eingepaßt werden.

Erwähnt werden muß noch der Aufbau der Übertragungen, der in der dafür vorgesehenen Abteilung ebenfalls in Doppelreihen erfolgt, gleichgültig ob die ältere Tisch- oder die neuere Schalttafel-form verwendet wird. In gleicher Weise werden die Gestelle für die Wechselstromtelegraphie WT 25 angeordnet, die ohne Rücksicht auf den Endpunkt des Fernkabels stets ihren Platz im Telegraphenamt erhalten.

(1554) Gruppenumschalter. Alle Betriebsabteilungen müssen die Möglichkeit haben, selbständig solche Umschaltungen vornehmen zu können, die der Betrieb erfordert, sei es, daß Ersatzapparate eingeschaltet, sei es, daß Ersatzleitungen in Betrieb genommen oder Batteriespannungen geändert werden müssen. Hierfür teilt man den Abteilungen Klinkenumschalter (1486) zu. Während man früher in jeder Abteilung mit einem einzigen Abteilungsumschalter auszukommen suchte, ist man neuerdings aus Gründen der Betriebsbeschleunigung dazu übergegangen, jede Abteilung in Gruppen zu unterteilen und jeder Gruppe einen besonderen Gruppenumschalter zu geben. Je ein Anrufschrank für Morseleitungen, je 24 Hughesapparate oder je eine Vierergruppe der Maschinentelegraphen bilden in der Regel je eine Gruppe, für deren Gruppenumschalter demnach ein Fassungsvermögen von 50, 40 oder 20 Leitungen ausreicht. Die für den Betrieb der Abteilungen erforderlichen Dauerumschaltungen für die Apparate werden an dem im Innern der Klinkenumschalter vorgesehenen Verteiler ausgeführt.

(1555) Batteriespannungen. Die in dem Betrieb der Gruppe verwendeten Spannungen werden innerhalb der Gruppe selbst verteilt und gesichert, also nicht mehr wie früher an einer einzigen Stelle des Amtes. Die für diesen Zweck nötigen Grob- und Feinsicherungen (Sicherungslampen), sowie die Verteiler-Lötösenstreifen sitzen auf Sicherungsgestellen, die ihren Platz neben den Gruppenumschaltern erhalten.

(1556) Hauptumschalter Bei einer solchen Verzweigung des Betriebes auf viele Abteilungen ist es aber unerläßlich, daß eine Stelle vorhanden ist, wo die Zuteilung der Leitungen zu den einzelnen Betriebsabteilungen geregelt und geändert und die Überwachung des Zustandes aller Leitungen und der ganzen Amtseinrichtungen durchgeführt werden kann. Hierfür eignet sich am besten die Stelle, an der die Außenleitungen meistens in Form von Kabelleitungen geschlossen in das Amt treten. Es ist das „die Hauptumschalte- und Störungsstelle“. Hier steht der Hauptverteiler. An seiner senkrechten Seite (Abt. I) endigen die vom Kabelkeller heraufgeführten 10paarigen LPM-Kabel an Grobsicherungen. Hier sitzen auch — falls solche erforderlich sind — die Luftleibitzableiter, andernfalls Lötösenstreifen. Daneben, in der senkrechten Abt. II, sind die zu den Gruppenumschaltern führenden Kabel an den Verteiler angeschlossen, während die gegenüberliegende Seite — die wagerechte — die Zuführungen zu dem gleichfalls in der Hauptumschaltestelle stehenden Hauptumschalter aufnimmt. Der letztere gestattet, in den Außenzweig und Innenzweig jeder Leitung zur Vornahme von Umschaltungen und Messungen einzutreten, während der Hauptverteiler selbst die Ausführung von Dauerumlegungen ermöglicht. Für die Messungen und Untersuchungen sind in der Hauptumschalte- und Störungsstelle die erforderlichen Meßgeräte (T 22 und UMI) nebst den Untersuchungsapparaten bereitgestellt. Hier ist ferner der Platz für den Spannungsverzweiger, an dem sich die von der Stromerzeugungsanlage herangeführten Spannungen in die Weiterführungen zu den einzelnen Betriebsgruppen (Sicherungsgestelle) verzweigen.

Wie alle diese Einrichtungen miteinander in Verbindung stehen, zeigt Abb. 962.

Die Stromversorgungsanlagen werden in (1144) bis (1155) behandelt.

(1557) Die Unterhaltung und Wartung dieser umfangreichen technischen Einrichtungen erfordert erhebliche Vorkehrungen. Die Ingenieurstellen und Werkstätten, denen diese Arbeit obliegt, werden deshalb mit allen neuzeitlichen Einrichtungen an Meßgeräten, Untersuchungs- und Prüfeinrichtungen, Werkzeugen und Werkbänken auszustatten sein. Sie sollen Zuleitungen aller im Amte vorhandenen Betriebsspannungen erhalten, um Apparate usw. betriebsmäßig durchprüfen zu können. Zum mindesten müssen die Arbeitsräume des Ingenieurs Verbindungen mit allen Betriebsgruppen erhalten, damit Betriebsleitungen herübergeschaltet werden können in die Räume, die für Untersuchungen wegen ihrer Ruhe mehr geeignet sind als die Betriebssäle. Eine Dunkelkammer zur Entwicklung oszillographischer Aufnahmen sollte bei den Ingenieurräumen nicht fehlen.

(1558) Telegramm-Annahme und -Abfertigung sind diejenigen Stellen, durch die das Telegraphenamts mit seinen Kunden, dem Publikum, in Verbindung steht.

(1559) Apparatlager und Werkstätten für Tischler, Schlosser u. dgl. bilden in der Regel die Vervollständigung der betriebsmäßigen Einrichtung eines Telegraphenamtes.

Gebäude.

(1560) Raumbedarf. Außer den Betriebsräumen ist noch für das zahlreiche Personal des Amtes durch Schaffung von Kleiderablagen nebst Abstellräumen für Privatfahräder zu sorgen. Da die Arbeitsfreudigkeit und Leistungsfähigkeit des Personals zum großen Teil von dem Grade seines Wohlbefindens abhängt, so sind Einrichtungen, die dieses heben, nicht zu entbehren. Man wird deshalb Erfrischungsräume, Aufenthaltsräume, Brausebäder, Räume für sportliche Be-

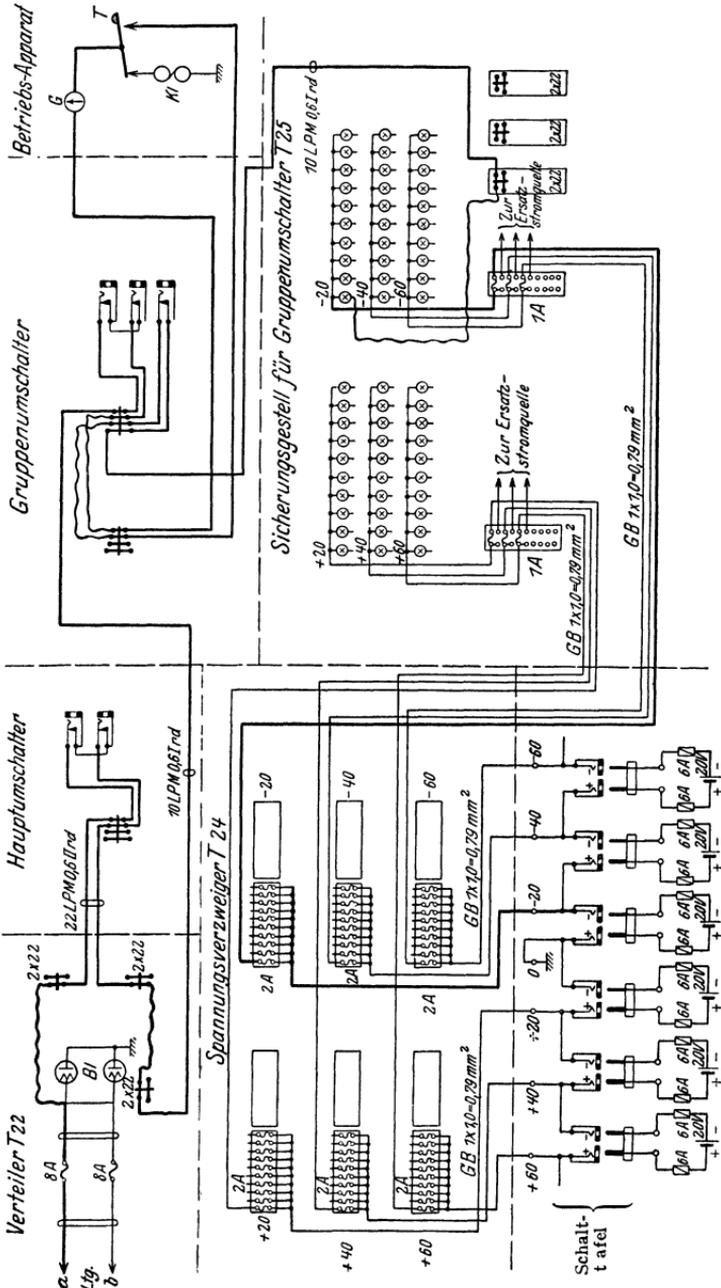


Abb. 962. Schaltbild einer Telegraphenleitung.

tätigung und ein Krankenzimmer vorsehen. Die Erfrischungs- und Aufenthaltsräume sollen die Möglichkeit bieten, sich in frischer Luft aufhalten zu können, wofür sich Grünflächen, Dachgärten oder Hauslauben und Veranden eignen. Die Räume für sportliche Betätigung sollen mit Ringen, Trapez, Hanteln und einer Sprossenwand ausgestattet sein und möglichst einen Platz für die Ausübung des Ballspieles umfassen. Alle diese Räume sollen so ausgestattet sein, daß sich das Personal darin wohlfühlt, wirkliche Erholung findet und Lust zu neuer Arbeit schöpft.

Schließlich muß auch noch an die Unterbringung der Amtsverwaltung gedacht werden, der Räume für die Amtsleitung, für das Kassen- und Personalwesen, für Lehr- und Übungssäle, eine Fernsprechvermittlung usw. zur Verfügung stehen müssen.

(1561) Bauentwurf. Die Hauptaufgabe besteht darin, alle für den Bedarf des Amtes erforderlichen Räume so anzuordnen, daß sich der Telegraphenbetrieb mit größtmöglicher Sicherheit und Schnelligkeit abwickelt. In erster Linie ist deshalb die gegenseitige Lage der eigentlichen Betriebsräume festzusetzen. Hierbei ist der Gesichtspunkt ausschlaggebend, daß der Austausch der Telegramme zwischen den verschiedenen Betriebsabteilungen glatt und mit größter Beschleunigung vorstatten gehen muß. Die Säle sind so auszugestalten und in ihrer gegenseitigen Lage so anzuordnen, daß sich der Telegrammumlauf ausschließlich auf *S a l b a h n e n* (1572) vollzieht.

(1562) Betriebssäle. Das in (1561) beschriebene Ziel läßt sich am sichersten dadurch erreichen, daß der Hauptteil des technischen Betriebes einschließlich der Betriebsleitung zusammenhängend in einem einzigen Stockwerk untergebracht wird. Dieses hätte also folgende Abteilungen aufzunehmen:

- | | |
|--------------------------|--------------------------------------|
| a) Maschinentelegraphen, | e) Morsetelegraphen, |
| b) Baudotbetrieb, | f) Ferndrucker und Nebentelegraphen, |
| c) Wheatstonebetrieb, | g) die Abteilung für Sprechbetrieb, |
| d) Hughesapparate, | h) Übertragungen. |

In jedem Saal ist der Raum für die Unterbringung der erforderlichen Verteilstellen, der Klinkenumschalter nebst Zubehör, der Plätze für die Aufsichtsbeamten vorzusehen.

Für den Grundriß dieses Stockwerkes wird je nach der Größe des betreffenden Amtes entweder die Form eines Rechtecks, eines rechten Winkels, eines Hufeisens oder eines geschlossenen Rechtecks mit einem oder zwei Lichthöfen, im letzteren Falle also mit einem Quersaal zu wählen sein. Abb. 963 zeigt die Anordnung der Abteilungen in einem hufeisenförmigen Betriebssaal.

Die Betriebsapparate (ausgenommen die Baudotapparate) werden in Doppelreihen aufgestellt, quer zur Längsachse des Saales, unter Verwendung von Einheitstischen, an denen jeder Arbeitsplatz 750 mm breit ist. Die Tischplatten (1500×550 mm) ruhen auf eisernen Untergestellen von 1500 oder 3000 mm Länge. Diese einheitliche Form und Anordnung der Apparatreihen gestattet eine gleichmäßige Anlage der Kabelkanäle, wodurch wiederum ein späterer beliebiger Austausch der Betriebsabteilungen ermöglicht wird.

Der Fußboden der Betriebssäle erhält durchweg eine 150 mm starke Auflage von Schlackenbeton, in dem die Kabelkanäle auszusparsen sind. Diese werden (Abb. 963) in der Regel so angelegt, daß der Hauptkanal (400 mm breit, 150 mm tief) für die Schwachstromleitungen parallel zur Innenwand in bestimmtem Abstand von dieser verläuft. Von diesem Hauptkanal führen Stichkanäle (200 mm breit) in die einzelnen Apparatreihen hinein und zwar in jede Doppelreihe zwei. Für die Starkstromzuleitungen zu den Motoren und Tischlampen ist in bestimmtem Abstand von der Außenwand ein zweiter Hauptkanal (300 mm breit) vorzusehen, von dem aus je ein Stichkanal in der Mittelachse jeder Doppelreihe abzweigt, der etwa am Kopfende der Doppelreihe endigt. Außerdem werden

noch Stichkanäle zu den einzelnen Gruppenumschaltern und zu den in das untere Geschoß führenden Deckendurchbrüchen hergestellt.

Die Zimmerdecke muß glatt und aus vollen Steinen hergestellt und mit hellem Anstrich versehen werden. Der Putz darf nicht etwa an Maschendraht hängen. Unterzüge sind möglichst zu vermeiden. Die Zimmerwände sind glatt und ohne jeden Vorsprung auszuführen.

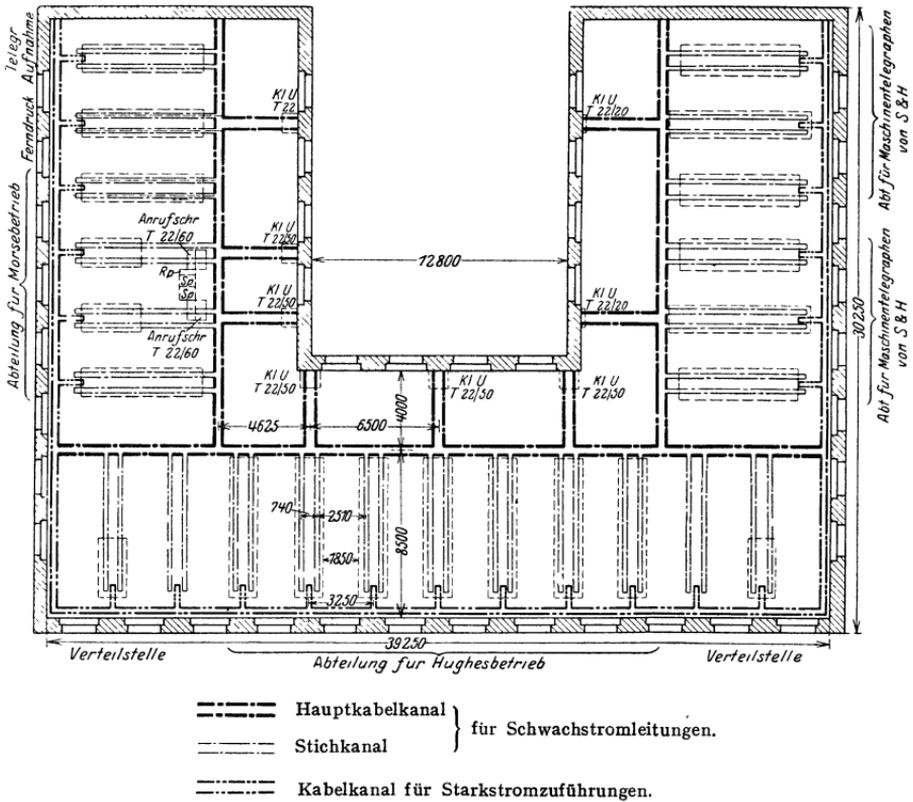


Abb. 963. Betriebsaal in Hufeisenform.

Die Heizkörper sind unterhalb der Fenster aufzustellen, und zwar so, daß weder sie selbst noch die Zuführungsrohre in den lichten Raum hineinragen. In den dafür in Betracht kommenden Sälen sind an geeigneten Stellen der Wände verschließbare, elektrisch heizbare Nischen zur Trocknung der Streifenrollen einzurichten.

Beide Längswände erhalten Doppelfenster mit Holzrahmen. Oberhalb der Fenster soll eine freie Wandfläche von 500 mm Höhe bleiben. Die Breite der Fenster ist so zu bemessen, daß die Apparatschreien, die auf Pfeilerachse gestellt werden und 1400 mm breit sind, von beiden Seiten ausreichend Licht empfangen. Die Achsenbreite der Fenster soll 3,25 m betragen.

Die Säle erhalten Türen von 1,80 m Breite und 2,70 m Höhe, deren Zahl und Lage sich ebenso wie die der Notausgänge nach den baupolizeilichen Vorschriften richtet.

Die Säle sind so anzulegen, daß die Apparataufstellung sich an die Außenwände anlehnt. Zwischen diesen und der technischen Ausstattung soll ein Umgang von 750 mm Breite frei bleiben. Der Hauptgang wird an die Innenwand der Säle gelegt; er erhält eine Breite von 3,8 m. Die gesamte Saaltiefe soll 12,5 m betragen. Für die Apparataufstellung steht alsdann ein Raum von 8,7 m Tiefe zur Verfügung.

Die Deckenkonstruktion muß so durchgebildet werden, daß es der Aufstellung irgendwelcher Stützen nicht bedarf.

Bei der Bemessung der Raumhöhe ist von der Forderung auszugehen, daß für jeden im Saal anwesenden Beamten eine bestimmte Luftmenge zur Verfügung stehen soll. Mit Rücksicht auf die zahlreichen in Bewegung befindlichen Apparate und Maschinen, die dauernd Staub aufwirbeln, ist diese Luftmenge auf 14 m³ festgesetzt worden. Als Mindesthöhe der Säle hat ein Maß von 4 m gewählt werden müssen, das nötig ist, um die Seilposten ordnungsmäßig führen zu können. Kann die unter Zugrundelegung des Mindestbedarfs von 14 m³ errechnete Raumhöhe, wobei die volle Besetzung aller Apparate anzunehmen ist, die der Raum fassen kann, aus irgendwelchen baulichen Gründen nicht erreicht werden, so bleibt nur die Einführung künstlicher Belüftung übrig, für die aber bis heute noch keine befriedigende Lösung gefunden worden ist.

(1563) Die übrigen Betriebsräume. Die Hauptumschalte- und Störungsstelle, die Stromerzeugungsanlage, die Räume für die Zusatzapparate der Wechselstromtelegraphie, für die Sammel- und Nachforschungsstelle und Statistik sind zweckmäßig in dem Geschoß unterhalb der Betriebsäle unterzubringen.

Die Räume des Telegrapheningenieurs und die Apparaturwerkstatt sollen möglichst an die Hauptbetriebsabteilungen angrenzen. Ist dies nicht möglich, so sind sie jedenfalls so zu legen, daß der Weg dorthin trotzdem kurz ist, daß eine Gelegenheit für bequeme und sichere Beförderung von Apparaten aus den Betriebsälen dorthin (e. F. Fahrstuhl) besteht.

Die Hauptumschalte- und Störungsstelle, in der sämtliche Leitungen des Amtes zusammenlaufen, muß möglichst weitgehend durch massive Wände, eiserne Türen und betonierte Decken und Fußböden gegen Gefahren von außen geschützt werden. Die Kabel verlaufen in Kabelkanälen und werden in eisernen Röhren, die je etwa 2...3 Kabel fassen, durch Mauerdurchbrüche zum Kabelkeller und zu den Betriebsräumen geführt. Die Tiefe des Hauptumschalteraumes soll möglichst nicht weniger als 8 m, seine Höhe nicht weniger als 3,40 m betragen. In gleicher Weise sollen auch die besonderen Räume für die Unterbringung von Relais, Wechselstromgestellen usw. hergerichtet werden.

Der untere Teil der Wände ist im allgemeinen mit heller Ölfarbe zu streichen, nur in den Maschinenräumen ist er ebenso wie die Sockel der Maschinen mit hellen Kacheln zu belegen. In den Sammlerräumen werden die Wände mit säurefester Farbe gestrichen.

Besondere Beachtung ist der Herrichtung der Maschinenräume für den Betrieb etwaiger Haus- und Fernrohrposten zu schenken. Als Grundsatz gilt, daß beide Räume möglichst senkrecht unterhalb der Hauptbedienstungen dieser Anlagen liegen sollen, räumlich aber voneinander getrennt sein müssen. Der Maschinenraum der Fernrohrpost muß so liegen, daß er eine möglichst kühle Temperatur besitzt. Er darf sich also nicht in der Nähe etwaiger Heizanlagen befinden und darf nicht von Heizröhren durchzogen werden.

Die Fußböden beider Räume sollen mit Fliesen, der untere Teil der Wände und die Maschinensockel mit hellen Kacheln belegt und der Rest der Wände mit heller Ölfarbe gestrichen werden.

Die Maschinenfundamente und der gesamte Raum sind so anzulegen, daß weder Erschütterungen noch mechanische noch Luftgeräusche nach außen übertragen werden.

(1564) Die Telegrammannahme mit den Schreibräumen für das Publikum und mit den öffentlichen Sprechstellen gehört ebenso wie die Telegrammabfer-

tigung in das Erdgeschoß. Neben der letzteren ist ein Botenzimmer vorzusehen, das den Boten den unmittelbaren Ausgang ins Freie gestattet. Der Unterstand für die Dienstfahräder muß so gelegt werden, daß ihn der Bote auf dem Wege vom Botenzimmer zur Straße ohne Umweg erreichen kann.

(1565) Verwaltungsräume. Die für die Amtsleitung bestimmter Räume werden in dem Geschoß unterhalb der Betriebsräume so untergebracht, daß sie für den Verkehr mit dem Publikum bequemen Zugang von den Treppenhäusern aus haben. Die übrigen Räume der Amtsverwaltung können auf beliebige Geschosse verteilt werden. Für Lehr- und Übungsräume sind helle und besonders ruhige Räume herzurichten. Die Aufbewahrung der erledigten Telegrammblätter und Rollen geschieht in gut beleuchteten, bis auf $+12^{\circ}\text{C}$ erwärmbaren Räumen des Dachgeschosses. Ungebrauchte Streifenrollen sollen in Räumen lagern, deren Luftfeuchtigkeit auf möglichst kleinem Wert gehalten werden kann. Vorratsapparate sollen in der Nähe der Apparaturwerkstatt aufbewahrt werden. Fahrrad-, Schlosser- und Tischlerwerkstätten gehören in den Keller, sofern dort Räume zur Verfügung stehen, die für den dauernden Aufenthalt von Menschen geeignet sind.

Von den Räumen für die Wohlfahrtseinrichtungen muß das Krankenzimmer in unmittelbarer Nähe der Betriebsräume liegen. Auf etwa 20 gleichzeitig im Dienst befindliche Personen soll ein Abort entfallen; sie sind so zu verteilen, daß sie in allen Geschossen leicht erreicht werden können. Die Kleiderablagen, Erfrischungsräume usw. sind zusammen mit den Räumen für körperliche Übungen in eins der oberen Geschosse zu legen, aber so, daß die Wege von den Dienststellen dorthin möglichst kurz sind. Im Keller erhalten die Brausebäder, Heizanlagen und, soweit unbedingte Sicherheit gegen Überschwemmungen besteht, auch die Maschinenanlagen für Rohrposten und die Netzersatzmaschinen ihren Platz.

Die Größe der einzelnen Räume richtet sich nach dem Verkehrsumfang des Amtes. Man wird bei der Planung den voraussichtlichen Bedürfnissen der nächsten 15 Jahre Rechnung zu tragen haben.

Auf die Lehr- und Übungssäle sind zweckmäßig die für die Betriebsäle gegebenen Bestimmungen anzuwenden, damit alle Lehrapparate in betriebsmäßiger Weise aufgebaut und betrieben werden können. Räume für theoretischen Unterricht müssen z. B. Verdunkelungseinrichtungen erhalten, damit Lichtbilder und Lehrfilme vorgeführt werden können.

(1566) Tragfähigkeit. Die Fußböden in den Räumen für die Lagerung der Streifenrollen und Formblätter, sowie für die Unterbringung der Stromerzeugungsanlagen müssen eine Tragfähigkeit von 1000 kg/m^2 , diejenigen für die Aufstellung der Wechselstromgestelle ein solche von 800 kg/m^2 Nutzlast besitzen, während für die übrigen Räume eine solche von 300 kg/m^2 ausreicht. Die Fußböden dieser Räume sind mit 3,6 mm starkem Linoleum zu belegen. Dagegen erhalten die Fußböden der Maschinenräume Fliesen, die der Sammlerräume nach den besonderen Vorschriften säurefesten Asphaltbelag (1129).

(1567) Licht und Kraft. Bei der Eigenart des Telegraphenbetriebes, der in weitem Umfange von dem regelmäßigen Betriebe der öffentlichen Elektrizitätswerke abhängig ist, ist dem Aufbau des Licht- und Kraftnetzes innerhalb der Ämter besondere Sorgfalt zu widmen. Bei größeren Telegraphenämtern sind möglichst zwei voneinander unabhängige Netzanschlüsse herzustellen, die an verschiedenen Stellen in das Gebäude einzuführen sind. Beide sind so zu bemessen und so miteinander in Verbindung zu bringen, daß jeder allein die Speisung der Gesamtanlagen übernehmen kann. Jedes Stockwerk hat besondere Steigeleitungen zu erhalten, die über Verteilafeln die einzelnen Stromkreise des Stockwerks versorgen. Dabei muß es auch möglich sein, daß bei eintretender Störung einzelne wichtige Stromkreise aus benachbarten mitgespeist werden können. Licht- und Kraftkreise sind grundsätzlich zu trennen.

Für die Betriebsssäle ist eine zweifache Beleuchtung vorzusehen. Da nämlich der wechselnde Umfang des Betriebes die Einrichtung einer allen Bedürfnissen genügenden Allgemeinbeleuchtung unwirtschaftlich machen würde, so ist außer einer schwächeren halbindirekten Allgemeinbeleuchtung eine Beleuchtung der einzelnen Arbeitsplätze einzurichten. Für die erstere werden Leuchten mit Opalglasboden und Klarglasabdeckung verwendet, die eine solche Helligkeit (etwa 20 Lux) verbreiten, daß ein geregelter Verkehr möglich ist. Für die Beleuchtung der Arbeitsplätze an den Telegraphenapparaten, an den Anrufschränken, an den Klinkenumschaltern, an den Relaisgestellen usw. werden die Apparatschlampen T 24 verwendet, die einen länglichen Strahlkörper besonderer Form besitzen, der das Licht auch seitlich über zwei nebeneinander liegende Arbeitsplätze ausstrahlt.

Für die Beleuchtung der Treppenhäuser müssen die Lampen so ausgewählt und angeordnet werden, daß sie nicht blenden und keine Schlagschatten erzeugen, damit beim Begehen der Treppen keine Unsicherheit entsteht.

Für das Anschließen von Handlampen und elektrischen Lötkolben müssen ausreichende Anschlußstellen geschaffen werden.

Um für alle Fälle gesichert zu sein, soll bei Ämtern besonderer Bedeutung eine Netzersatzmaschine bereit gehalten werden, die die gesamten Amtseinrichtungen allein speisen kann.

Für die Beheizung der Gebäude wird eine Warmwasserheizung einzurichten sein. Große Anlagen erhalten Fernwärmemesser mit Fernregelung der Wärmezufuhr.

Zur Unterdrückung etwaiger Brände sind in den Betriebsräumen selbsttätige Feuerlöscher (Tetrachlorkohlenstoffapparate) bereit zu halten. Von der Herstellung besonderer Hydranten ist abzusehen. Dagegen werden Feuermelder, die an das öffentliche Feuermeldenetz anzuschließen sind, auf das Gebäude zu verteilen sein.

Für die Zwecke der Entstaubung können je nach dem Umfang der Anlagen fahrbare oder ortsfeste Staubsauger beschafft werden.

(1568) Wasser. Die öffentliche Wasserleitung ist in das Gebäude einzuführen. Die Zapfstellen sind nach den Bedürfnissen auf das Gebäude zu verteilen. Krankenzimmer, Sammlerraum, Dunkelkammer, Werkstätten, Erfrischungsräume usw. erhalten besondere Anschlußstellen; Krankenzimmer, Sammlerraum und die Werkstätten außerdem Zapfstellen für Warmwasser.

(1569) Uhren. Im Telegraphenbetriebe wickelt sich der Verkehr nach Minuten ab. Deshalb muß eine einwandfreie elektrische Uhrenanlage mit Minutenfortschaltung überall die richtige Zeit angeben. Die Mutteruhr gehört in die Hauptumschalte- und Störungsstelle. In den Betriebsräumen sind so viele Nebenuhren anzubringen, daß von jedem Arbeitsplatz aus ohne Mühe eine Uhr erblickt werden kann. Zeitverteilung s. (2092) letzten Absatz.

An die Uhrenanlage sind die Zeitstempel, Zeitstanzen und der Uhrenzeichengeber anzuschließen.

(1570) Fernsprecher. Sämtliche Betriebsstellen eines Telegraphenamtes müssen Anschluß an die Hausfernsprechanlage erhalten. Darüber hinaus soll aber die Betriebsleitung größter Ämter durch eine Fernsprecheinanlage in unmittelbarer Fernsprechverbindung mit den wichtigsten Betriebsstellen stehen.

(1571) Treppen und Aufzüge. Dem Verkehr innerhalb der Gebäude dienen Treppenanlagen, Personen- und Lastenaufzüge. Bei der Planung dieser Anlagen muß berücksichtigt werden, daß sich der Verkehr nicht gleichmäßig abwickelt, sondern sich auf bestimmte Zeiten zusammendrängt. Obwohl durch entsprechende Dienstpläne ein gewisser Ausgleich geschaffen werden kann, so wird es doch nicht immer möglich sein, die Personenaufzüge in solchem Umfang anzulegen, daß sie bei der Ablosung des Personals durch alle benutzt werden können. Treppen sind nötigenfalls für Auf- und Abstieg anzulegen.

(1572) **Saalbahnen.** Von der Beförderungsdauer eines Telegramms nimmt die Beförderung von Ort zu Ort die geringste Zeit in Anspruch; der Hauptteil entfällt auf den Weg, den es innerhalb eines Telegraphenamts zurückzulegen hat. Zur Abkürzung der Gesamtbeförderungsdauer wird es daher darauf ankommen, das Telegramm gerade auf diesem Wege zu beschleunigen. Man ersetzt daher in neuerer Zeit immer mehr die Menschenkraft durch mechanische Einrichtungen, in ihrer Gesamtheit *Saalbahnen* genannt. Je nach dem Zweck, der Belastung und dem Verlauf der Förderstrecken werden verschiedene Arten der Saalbahnen verwendet, nämlich Hausrohrposten, Seilposten, Laufbänder.

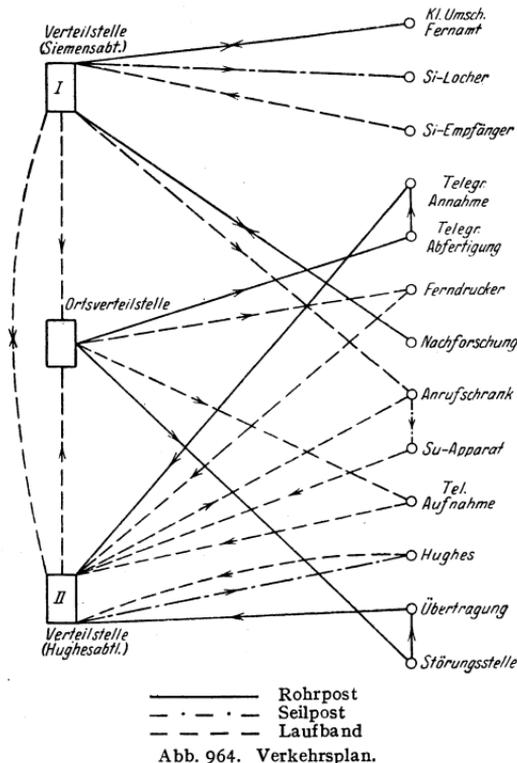
Bei der Planung der Saalbahnen muß unterschieden werden

a) zwischen Verkehrsknotenpunkten, wo die Telegramme weiterverteilt werden müssen und

b) den Arbeitsplätzen, die die Telegramme verarbeiten.

Weiter ist die gegenseitige Lage der miteinander zu verbindenden Stellen zu berücksichtigen.

Je nachdem, ob es sich darum handelt, Telegramme von einem Knotenpunkt nach den einzelnen Arbeitsplätzen zu bringen oder sie an den Arbeitsplätzen einzusammeln und nach einem Knotenpunkt zu befördern, muß die eine oder andere Art der Fördermittel gewählt werden. Leider gibt es noch kein Fördermittel, welches für alle Zwecke gleich gut geeignet wäre, zumal die Telegrammblätter sehr verschieden geartet sind, bald glatt, bald zerknittert, weich, oft steif durch



aufgeklebte Blätter. Mit den Laufbändern kann man die Telegramme an mehreren Arbeitsplätzen einsammeln und von diesen nach einem Knotenpunkt bringen. Sie eignen sich hierfür besonders gut, da sie die Telegramme ohne jede Lagerzeit abbefördern und sie in gleichbleibendem Fluß der Knotenstelle zuführen. Für die Verteilung der Telegramme an die einzelnen Arbeitsplätze sind die Bänder aber nicht brauchbar. Diese Arbeitsleistung wird deshalb der Seilpost übertragen. Handelt es sich aber um den Telegrammaustausch zwischen zwei Knotenpunkten, so können, sofern diese Stellen so zueinander liegen, daß eine glatte Führung möglich ist, Laufbänder benutzt werden, andernfalls ist eine Rohrpost am Platze. Abb. 964 stellt den nach diesen Grundsätzen aufgestellten Verkehrsplan eines Amtes dar.

Die Hausrohrpost wird bei allen neueren Anlagen der DRP ausschließlich mit Saugluft betrieben. Die Bedienungsstellen können zu mehreren über Weichen

an Doppelrohrschleifen angeschlossen werden. Als Empfangsapparate werden solche mit offenem Empfangsbogen mit Empfang von unten genommen. Die mittlere Büchsen geschwindigkeit beträgt 10 m/s. Die Förderluft wird nur im Bedarfsfall erzeugt. Sind an ein Gebläse mehrere Rohrschleifen angeschlossen, so werden die Ansaugstellen der nicht gerade im Betriebe befindlichen zur Verminderung des Kraftbedarfs durch „Kraftsparer“ verschlossen gehalten.

Während bei der Rohrpost die Fördermittel, nämlich die Büchsen, im Innern eines Rohrs laufen und durch Saugluft fortbewegt werden, hat die Seilpost eine aus zwei Rundenisenstaben bestehende Gleisanlage, an der kleine Wagen mit je einem Greifer durch ein Seil oder Stahlband entlang gezogen werden. Jeder Bedienungsstelle ist ein Wagen zugeordnet. Da aber die Höchstzahl der Wagen, um das Auftreten zu großer Spannungen zu vermeiden, begrenzt ist, so müssen bei größeren Anlagen mehrere Gleisringe gebaut werden, die etwa je bis zu 18 Bedienungsstellen umfassen können. Die Gleise werden in wagrechter Richtung durch die Doppeltischreihen hindurchgeführt. Jeder Wagen nimmt von der Hauptstelle in seinem Greifer Telegramme mit, lädt sie an der bestimmten Bedienungsstelle ab und bringt von hier die für den Versand bereitgestellten Telegramme zurück. Die Geschwindigkeit beträgt 0,5 m/s.

Die Laufbänder bestehen aus gewebten Bändern, die in Blechrinnen über Rollen laufen und die Telegramme mit einer Geschwindigkeit von 0,5 m/s fortbewegen. Eine Laufbandanlage besteht aus Quer-, Längs- und Sammelbändern. Die ersteren verlaufen in den Längsachsen der Doppeltischreihen und laden zu mehreren auf ein gemeinsames Längsband ab. Dieses letztere bringt die Telegramme entweder unmittelbar oder unter Zwischenschaltung eines Sammelbandes zur Verteilstelle.

Wägt man die Vorteile und Nachteile des einen Fördermittels gegen die des anderen ab, so ergibt sich

Fördermittel	als Vorteil	als Nachteil
Für die Rohrpost	Große Geschwindigkeit, geringer Kraftaufwand, geringe Betriebskosten, nahezu unbegrenzte Leistungsfähigkeit, stetige Betriebsbereitschaft ohne Lagerzeit.	Nicht verwendbar für die Zuführung der Telegramme zu den einzelnen Arbeitsplätzen.
Für die Seilpost	Möglichkeit der Verteilung auf die einzelnen Arbeitsplätze.	Höhere Anlagekosten, etwas verwickelter Aufbau, Verlängerung der Beförderungsdauer durch Wartezeiten vor der Ankunft des Wagens. Dauernder Betrieb
Für das Laufband	Geringere Anlagekosten, Abbeförderung ohne Lagerzeit.	Höhere Betriebskosten, nicht verwendbar für die Verteilung der Telegramme auf die einzelnen Plätze. Dauernder Betrieb.

Als ideales Fördermittel wäre eine Seilpost anzusprechen, auf der nur dann Wagen laufen, wenn Telegramme zu befördern sind, und bei der jederzeit ein Wagen, der für jede beliebige Empfangsstelle eingestellt werden kann, fahr-

bereit ist. Bei einer solchen Anlage wurden zwar die Anlagekosten erhöht, dagegen die Betriebskosten vermindert und die Förderdauer der Telegramme durch Beseitigung der Lagerzeit herabgesetzt werden. Eine solche Anlage wäre als „mechanischer Eilbote“ anzusprechen, besonders wenn es gelänge, jedes Telegramm auf kürzestem Wege auf parallel abzweigenden Gleisen seinem Beförderungsapparat zuzuführen.

Die oben (1562) beschriebene Anordnung der Telegraphenbetriebsäle ist gewählt worden mit Rücksicht auf eine günstige Anordnung der Saalbahnen, die bei solchem Grundriß und solcher Apparatanordnung möglichst einfach geführt werden können.

Die Saalbahnen sollten, abgesehen von den kleinsten Verhältnissen, überall eingebaut werden, denn sie tragen wesentlich dazu bei, den Umlauf der Telegramme nicht nur zu beschleunigen, sondern auch glatter und stetiger zu gestalten dabei ist ihre Leistungsfähigkeit fast unbegrenzt. Während früher bei jeder außergewöhnlichen Verkehrssteigerung die menschlichen Botenkräfte vermehrt werden mußten, leisten die Saalbahnen das Doppelte, Dreifache, ja vielleicht das Zehnfache ohne wesentliche Erhöhung der Betriebskosten. Die Wirtschaftlichkeit ist schon bei kleinen Betrieben gesichert, wobei zu berücksichtigen ist, daß die Entlohnung der Menschenkraft steigt, dagegen die Sätze für Tilgung und Verzinsung des Anlagekapitals einer Saalbahn unverändert bleiben und höchstens sinken können.

(1573) Verteilstellen. Wenn der Telegrammfluß auf diesen Wegen, die ihm die mechanischen Saalbahnen weisen, durch das Amt strömt, so ist eine Umschlagstelle erforderlich, bei der die Umleitung der Telegramme von dem einen auf den anderen Weg vor sich gehen muß. Diese Stellen sind die „Verteilstellen“. Außer den Saalverteilstellen, denen die Verteilung der Telegramme obliegt, die im Saal zu befördern sind, richtet man bei größeren Anstalten noch besondere Ortsverteilstellen ein, die die ankommenden Ortstelegramme auf die verschiedenen Zustellabteilungen und -ämter zu verteilen haben.

In welchen Abteilungen Verteilstellen einzurichten und wie sie miteinander in Verbindung zu bringen sind, bedarf sorgfältiger Überlegung auf Grund statistischer Ermittlungen. Als Grundsatz gilt, daß alle Telegramme auf ihrem Wege durch das Amt nur durch eine Mindestzahl von Händen gehen dürfen.

Die Verteilstellen, an denen bei größeren Ämtern die Grobordner, die Feinordner und die Leitbeamten ihre Arbeitsplätze erhalten, sind so aufzubauen, daß der Telegrammfluß nur in einer Richtung durch sie hindurchgeht. Demgemäß bildet das eine Kopfende der Tischreihe für die Telegramme die Eingangsstelle, das andere Kopfende die Ausgangsstelle, an der die abgehenden Saalbahnen entspringen.

Die Ortsverteilstelle wird nach gleichen Gesichtspunkten aufgebaut. An ihr werden die ankommenden Auslandstelegramme gebucht, die Kurzanschriften übersetzt und die Telegramme auf die einzelnen Zustellabteilungen geordnet. Sie erhält für den abgehenden Verkehr Verbindung mit der Zusprechstelle, der Ferndruckerabteilung, der Telegrammabfertigung und falls ein Fernrohrpostnetz für die Verbindung mit den Ortspostanstalten besteht, werden auch die Fernrohrpostapparate bei ihr aufgebaut.

Telegraphenbetrieb.

Organisation des Telegraphenbetriebs bei den Ämtern.

Im allgemeinen hat man in einem größeren Telegraphenbetriebe folgende Dienstzweige zu unterscheiden:

(1574) Sammel-, Verteil- und Leitgeschäft. Diese Stelle ist sehr wichtig und hat die Aufgabe, die Bewegung der Telegramme innerhalb des Amtes zu regeln. Von ihrer Arbeit hängt es ab, wieviel Zeit ein Telegramm gebraucht, um den

Weg zwischen den einzelnen Betriebstellen eines Amtes zurückzulegen. In kleineren Verhältnissen, wo diese Betriebstellen (Annahme, Apparatssaal, Telegrammaufnahme und Zusprechstelle für Telegramme, Telegrammbestellgeschäft usw.) örtlich meist nahe beieinander liegen, ist es nicht schwierig, die Laufzeit der Telegramme innerhalb des Amtes mit einfachen Mitteln auf Minuten zu beschränken. In einem größeren Betriebe dagegen, der sich unter Umständen in mehreren Betriebsälen und Stockwerken abwickelt, bedarf es umfangreicher Einrichtungen, um den Weg der Telegramme abzukürzen und sie zu beschleunigen. Zweckmäßig wird bei solchen Verhältnissen für den ganzen Betrieb nicht eine gemeinsame Sammel-, Verteil- und Leitstelle eingerichtet, sondern jede größere Betriebseinheit erhält eine besondere solche Stelle, die im Mittelpunkt des ihr zugeteilten Gebiets liegt. Diese einzelnen Stellen sind mit den Betriebsapparaten, die ihrem Bereich zugewiesen sind, und allen übrigen Betriebstellen durch Förderanlagen (Rohrpost, Förderbänder, Seilpost) so zu verbinden, daß der Weg der Telegramme innerhalb des Amtes denkbar vereinfacht und beschleunigt wird. Die Tätigkeit von Boten zur Bewegung der Telegramme innerhalb eines Amtes ist möglichst zu vermeiden. Dies gilt nicht nur für einen großen, sondern auch für einen kleinen Betrieb. Eine Förderanlage, auch wenn sie nur für kurze Strecken bestimmt ist, ist wegen ihrer gleichbleibenden Zuverlässigkeit und Schnelligkeit sowie ihrer Wirtschaftlichkeit einem Boten vorzuziehen.

Die Förderanlagen können nur dann gut ausgenutzt werden, wenn die Beamten, die die Telegramme zu verteilen und zu leiten haben, gut ausgebildet sind. Das Niederschreiben eines Leitvermerks auf den Telegrammen erfordert Zeit und Kräfte und muß besonders in großen Betrieben gänzlich vermieden werden. Dies läßt sich nur dadurch erreichen, daß die Leitbeamten in der Verkehrsgeographie des In- und Auslands unterrichtet werden und im Leitungsnetz gut Bescheid wissen. Sie müssen in der Lage sein, Telegramme ohne weiteres auf den richtigen Weg zu bringen und, ohne Bücher oder Karten einzusehen, in die den einzelnen Sälen, Apparaten usw. zugeteilten Fächer zu verteilen, von wo aus sie mit den Förderanlagen weiterbefördert werden. Die Ausbildung ist so zu fördern, daß nur in Ausnahmefällen Telegramme einer besonderen Leitstelle zugeführt zu werden brauchen, die auf Grund ihrer Nachschlagbücher die Telegramme mit einem Leitvermerk versieht.

(1575) Störungsdienst. Die Störungsstelle hat im wesentlichen die Aufgabe, die Fehler in gestörten Leitungen festzustellen, ihre Beseitigung zu veranlassen und für die gestörte Leitung einen Ersatz zu schaffen. Ihr Rüstzeug sind vor allem gutes Kartenmaterial mit den nötigen Nachweisungen und Schaubildern, aus denen Art, Stärke, Zusammensetzung, Länge der Leitungen im eigenen und in den fremden Bezirken, Normaleigenschaften usw. hervorgehen. Ferner müssen der Störungsstelle brauchbare Meßinstrumente zur Verfügung stehen, mit denen sich die Fehlerlage durch einfache Messungen schnell bestimmen läßt. Genaue Fehlermessungen, besonders an Kabeln, werden zweckmäßig nicht den Betriebsbeamten, sondern besonders ausgebildeten Kabelmeßbeamten übertragen. Die einzelnen Meßverfahren zur Bestimmung der Fehlerlage in oberirdischen Telegraphenleitungen, deren Länge in Deutschland noch rund 320000 km beträgt, führen oft nicht zum Ziele, weil die elektrischen Werte der oberirdischen Leitung besonders bei langen Strecken unter der Einwirkung der ungleichen Temperatur und Witterung auf den einzelnen Teilstrecken sowie infolge des häufigen Wechsels zwischen oberirdischer und unterirdischer Führung usw. zu unbeständig sind und mit den Regelwiderständen nicht ohne weiteres verglichen werden können. Außerdem bestehen viele Leitungen nicht durchweg aus derselben Drahtsorte und Drahtstärke. Oft wird nur übrig bleiben, die Fehlerlage durch mehrmalige Unterteilung der Leitung zu ermitteln (1021).

(1576) Apparatdienst und Telegraphierleistung. Der Apparatdienst ist besonders in einem großen Amt sehr vielseitig, da viele Apparaten im Gebrauch sind, die fast alle verschiedene Bedienung erfordern. Neben dem Morse, Klopfer

und Summer werden in Deutschland folgende Apparate verwendet: Ferndrucker, Wheatstone, Creed, Schnellmorse von Siemens & Halske, Hughes, Baudot, Schnelltelegraph von Siemens & Halske, Tastenschnellsender von Siemens & Halske, Undulator, Recorder. Im Ausland sind hierneben u. a. vertreten der Western-Union-Mehrfachtelegraph und verschiedene Springsysteme (Morkrum, Teletype, Creed, Kleinschmidt). Welche Spitzenleistungen bei der Bedienung einiger dieser Apparate erreicht werden können, hat sich bei dem dritten Internationalen Telegraphistenwettbewerb, abgehalten im August 1922 in Berlin, gezeigt. Es sind damals folgende Höchstleistungen in Zeichen in der Sekunde erzielt worden:

Klopfer, abgegeben	2,66 Zeichen,
„ aufgenommen	2,12 Zeichen,
Summer, „	2,40 Zeichen,
Hughes, abgegeben	3,31 Zeichen (130 Umdrehungen/min),
Baudot, abgegeben	an einem Sektor, 2,99 Zeichen (180 Umdr./min),
Wheatstone (am Klöppellocher gestantzt)	2,66 Zeichen,
Siemens (am Siemenslocher gestantzt)	7,25 Zeichen.

Für den praktischen Betrieb kann man etwa $\frac{2}{3}$ dieser Höchstleistungen als Durchschnittsleistung ansetzen, abgesehen von der Siemensstanzleistung, die im Wettbewerb besonders hoch war. Die Durchschnittsleistung im Siemensstanzen beträgt 4 bis 5 Zeichen in der Sekunde.

Die Wahl der Betriebsapparate für eine bestimmte Verbindung wird von der Belastung dieser Verbindung in den Hauptverkehrsstunden abhängen. Als Stundenleistung kann man nach Erfahrungssätzen ansehen:

Klopfer (Einfachschtaltung)	30 Tel. (2 Beamte)
Hughes (Einfachschtaltung)	52 „ (2 „)
Hughes (Gegensprechschaltung)	83 „ (4 „)
Baudot (vierfach 180 Umdr./min)	183 „ (8 „)
Siemens (550 Umdr./min Gegensprechschaltung)	281 „ (12 „)
Creed mit Übersetzer (Einfachschtaltung)	180 „ (7 „)

Die Zahlen geben die stündliche Gesamtleistung, also für beide Richtungen zusammen, in der angegebenen und für gewöhnlich angewendeten Schaltung an. Voraussetzung für die Erreichung dieser Durchschnittsleistungen sind zuverlässige Apparate und Leitungen, sowie geübtes Personal. Treffen diese Voraussetzungen nicht zu, müssen die Werte entsprechend verringert werden. Der Berechnung ist ein Einheitstelegramm von 20 Worten einschl. gebührenfreiem Kopf (1 Wort = 7,5 Zeichen einschl. Wortabstand) zugrundegelegt.

Die theoretischen Stundenleistungen, berechnet aus der Zahl der Umdrehungen usw., sind bedeutend höher. So z. B. beim Hughes (Einfach) 77 Telegramme, beim Baudot (Vierfach) 290 Telegramme und beim Siemens (550 Umdrehungen in Gegensprechschaltung) 440 Telegramme. Dieser Unterschied gegen die praktisch erreichbaren Zahlen ist darauf zurückzuführen, daß die Beamten Umdrehungen auslassen oder nicht ausnutzen, daß zwischen der Abgabe und Aufgabe von Telegrammen Nachfragen und Berichtigungen erledigt und daß überflüssige Blank-, Schluß- und sonstige Zeichen gegeben und gestantzt werden. Außerdem geht von der Betriebszeit dadurch viel verloren, daß der Gleichlauf aussetzt, im Gegensprechbetrieb die Abgleichung wiederholt oder die Leitung, besonders wenn mehrere Übertragungen in Frage kommen, öfters eingeregelt werden muß u. dgl. Auf diese Weise wird die Leitung unnütz beansprucht, nicht voll ausgenutzt und so die praktische Telegraphierleistung gegenüber der theoretischen herabgedrückt. Die angegebenen Zahlen für die praktische Stundenleistung an den verschiedenen Apparaten werden in den einzelnen Ländern schwanken je nach der Bedeutung und Verbreitung, die der betreffende Apparat im Betriebe der einzelnen Länder hat. Dies hat sich schon an den Ergebnissen des bereits erwähnten Telegraphistenwettstreits gezeigt, wo z. B. die dänischen

Beamten am Wheatstone, die spanischen und italienischen Beamten am Baudot und die deutschen Beamten am Siemensschnelltelegraphen überlegene Leistungen erzielt haben. Ist nur die Tagesbelastung bekannt, so kann man an folgenden Zahlen ungefähr einen Anhalt gewinnen, welcher Apparat zweckmäßig zu verwenden ist:

Fernsprecher bis zu einer täglichen Belastung von etwa	100 Tel.
Klopfer „ „ „ „ „ „ „ „	300 „
Hughes (Einfachbetrieb) bis zu einer täglichen Belastung von etwa	500 „
Hughes (Gegensprechbetrieb) bis zu einer täglichen Belastung von etwa	850 „

Bei größeren Leistungen wird zunächst ein weiterer Hughesapparat eingestellt oder der Schnelltelegraphenbetrieb aufgenommen werden müssen.

Aus der vorstehenden Nachweisung geht hervor, daß sich der Schnelltelegraphenapparat von Siemens & Halske zur Bewältigung von Massenverkehr gut eignet, zumal seine Geschwindigkeit nach Bedarf auf 600 Zeichen und darüber in der Minute erhöht werden kann. Andererseits ist die Ausnutzung des Personals bei nicht voll belasteter Leitung nicht gewährleistet. In dieser Beziehung ist ein absatzweise arbeitender Apparat günstiger.

Die Hauptverkehrsstunden für den Telegraphenbetrieb liegen in Deutschland zwischen 11 Uhr vormittags und 8 Uhr abends. Von dann ab fällt der Telegrammverkehr gleichmäßig bis gegen 1 Uhr nachts ab und bleibt bis 7 Uhr morgens schwach (etwa 6 vH des Stundenverkehrs am Tage), steigt dann allmählich an, um gegen 11 Uhr vormittags den Anfang der Hauptverkehrskurve zu erreichen.

In den Jahren der deutschen Inflation sah die Verkehrskurve anders aus. Vor allem war eine zweite Verkehrsspitze in der Zeit von 10 bis 12 Uhr abends zu verzeichnen. Dies lag hauptsächlich daran, daß die Banken, mit Arbeit überhäuft, erst spät aufarbeiten konnten und außerdem erst die Schlußkurse der New Yorker Börse — die New Yorker Börsenzeit fällt in die Stunden von 4 bis 9 Uhr nachmittags deutscher Zeit — abwarteten, bevor sie ihre Entschlüsse faßten. So kann sich das Belastungsbild zuweilen durch außergewöhnliche Ereignisse stark ändern.

Bezüglich der Monate besteht gleichfalls ein Unterschied in der Verkehrshöhe in Deutschland. Für gewöhnlich sind die schwächsten Verkehrsmonate der Januar und Februar und die stärksten der September und Oktober.

Bei der angegebenen Verkehrskurve empfiehlt es sich, in vielen Fällen tagsüber leistungsfähige Apparate mit angemessenem Bedienungspersonal in Betrieb zu halten und abends auf Apparate umzuschalten, die einfacher und billiger zu bedienen sind, also z. B. abends von Siemensbetrieb auf Hughesbetrieb oder von Hughesbetrieb auf Klopferbetrieb usw. überzugehen. Im weiteren kommt je nach den örtlichen Verhältnissen noch in Frage, diese Apparate nachts in einer besonderen Nachtzentrale zur gemeinsamen Überwachung und Bedienung zu vereinigen.

(1577) Entwicklung des Telegraphenverkehrs. Die Zahl der im Deutschen Reich beförderten Telegramme hat betragen

im Jahre	Gesamtzahl Millionen	Auslandstelegr. Millionen
1899	45	12
1913	64	21
1919	90	10
1921	84	15
1923	59	12
1924	46	15

Die Jahre nach 1918 weisen bis zur Wiedereinführung einer festen deutschen Währung (November 1923) einen außerordentlich starken Verkehr gegenüber der Vorkriegszeit auf. Der darauf folgende Rückgang des Verkehrs ist auf den Einfluß der festen Währung, die allgemein gespannte wirtschaftliche Lage und darauf zurückzuführen, daß die zunehmende Ausdehnung des Fernsprechverkehrs, eine Folge des großzügig neuangelegten Fernkabelnetzes, die Benutzung des Telegraphen eingeengt hat. Im Verkehr mit Ländern und Orten, die durch Fernsprecher nicht zu erreichen sind, z. B. im Überseeverkehr, und im Geschäftsverkehr in allen den Fällen, wo eine Niederschrift nötig ist, z. B. im Börsenverkehr, Pressedienst, Wetterdienst, sowie im Familienverkehr (Glückwünsche zu Hochzeiten u. dgl.) wird der Telegraph seine Bedeutung behalten.

(1578) Regelung des Zu- und Abflusses der Telegramme im örtlichen Verkehr.

Vor allem in großen Städten gebrauchen die meisten Telegramme auf den Wegen zwischen der Haupttelegraphenanstalt, den Annahme- und Zustellanstalten, sowie den Empfängern oder Aufgebern eines Telegramms mehr Zeit als die eigentliche Beförderung auf der Leitung beansprucht. Zur Milderung dieses Mißverhältnisses werden neben Boten, Rohrpost und Fernsprecher nach Bedarf Ortstelegraphenverbindungen benutzt, die mit Morse, Klopfer, Ferndrucker oder Hughes betrieben werden. In einigen Fällen, z. B. bei starkem Presseverkehr, vermittelt der Schnelltelegraph von Siemens & Halske die Telegramme zwischen Telegraphenanstalt und Teilnehmer. Im übrigen werden solche unmittelbaren Telegraphenverbindungen (Nebentelegraphenanlagen) hauptsächlich mit dem leicht zu bedienenden Ferndrucker betrieben. Zur Beschleunigung der Niederschrift der Telegramme bei der Aufnahme durch Fernsprecher werden zweckmäßig Schreibmaschinen verwendet, die möglichst geräuschlos arbeiten müssen, damit sich die aufnehmenden Beamten nicht gegenseitig stören. Im allgemeinen wird es von den örtlichen Verhältnissen abhängen, welche Beförderungsarten in den einzelnen Fällen am schnellsten und billigsten sind.

(1579) Pressedienst. Für die Abwicklung des starken Presseverkehrs mancher Telegraphenbüros und Zeitungen sind besondere Maßnahmen nötig. Sie können für die Beförderung ihrer Nachrichten besondere Leitungen dauernd oder stundenweise mieten oder sich des Siemenspressedienstes bedienen. Dieser besteht darin, daß der Teilnehmer einen Siemesschnelltelegraphen mietet und bei sich aufstellt. Der Teilnehmer stantzt die Nachrichten selbst und sendet sie auf einer besonderen Leitung zum Telegraphenamt, wo diese Nachricht in besonderer Schaltung auf Stanzapparaten, die nach Bedarf in beliebiger Zahl mit Hebelumschaltern eingeschaltet werden können (in Berlin zur Zeit bis zu 30), in Lochstreifen aufgenommen wird. Die Lochstreifen werden auf den gewöhnlichen Betriebsleitungen an alle Ämter weitergegeben, die im Kopf der Nachricht vom Teilnehmer angegeben sind. Die fernen Ämter sorgen dafür, daß die Nachrichten auf schnellstem Wege, zum Teil wieder durch Siemesschnelltelegraphen, den Empfängern zugeführt werden. Für die Beförderung entrichten die Teilnehmer eine Gebühr, die nicht nach der Zahl der Wörter, sondern nach laufenden Metern Stanzstreifen berechnet wird. Beim Haupttelegraphenamt Berlin werden monatlich etwa 40000 m Lochstreifen auf diese Weise verarbeitet.

(1580) Betriebsforderung an einen modernen Telegraphenapparat. a) Der Apparat muß sowohl als Einzelapparat als auch in Verbindung mit einem Verteiler als absatzweise arbeitender Apparat — auch in Staffelnbetrieb — zu benutzen sein.

- b) Er muß mit dem Fünferalphabet arbeiten
- c) Tastenwerk des Senders nach Art der Schreibmaschinen.
- d) Arbeiten ohne Einhalten eines bestimmten Taktes.
- e) Unmittelbares Senden mit dem Tastenwerk oder durch Lochstreifen, dieser kann bei Bedarf bei unmittelbarem Senden gleichzeitig hergestellt werden und als Kontrollstreifen dienen.

f) Geschwindigkeit des Senders veränderlich in den Grenzen von 150 bis 600 Zeichen/min, und zwar kommt die Geschwindigkeit von 150 bis 360 Zeichen für unmittelbares Arbeiten in die Leitung und bei Anschaltung an einen Verteiler in Frage (anpaßbar der Leistungsfähigkeit der Beamten und der Leitung). Die Geschwindigkeit über 360 Zeichen/min wird in besonderen Fällen (Vermietung, Unmöglichkeit der Verwendung eines Verteilers usw.) bei Benutzung als Einzelapparat mit Lochstreifensendung benutzt.

g) Der Einzelapparat darf keinen Dauergleichlauf verlangen. Die Gleichlaufregelung der Verteiler erfolgt zweckmäßig durch die Telegraphierzeichen selbst.

h) Der Empfänger stellt Streifendruck oder, was anzustreben ist, Blattdruck her und hierneben nach Bedarf auch einen Lochstreifen.

i) Die Geschwindigkeit des Empfängers ist veränderlich in den Grenzen des Senders (s. unter f).

k) Die Geschwindigkeit der Verteiler ist veränderlich in den Grenzen von 150 bis 360 Umdrehungen in der Minute.

l) Verwendung für Einfach-, Gegensprech- und Zweileitungsbetrieb.

m) Der Apparat muß so beschaffen sein, daß er möglichst ohne Änderung vom Publikum in Nebentelegraphenanlagen, Miet- oder Presseleitungen u. dgl. benutzt und selbst bedient werden kann. Je einfacher und billiger Bau, Handhabung und Instandhaltung ist, um so mehr besteht die Aussicht, daß das Publikum sich eines solchen Apparats zum eigenen Verkehr bedient.

Um einen solchen Apparat wirtschaftlich ausnutzen zu können, muß zu seiner Bedienung gut ausgebildetes Personal zur Verfügung stehen, das im Durchschnitt 4 bis 5 Zeichen in der Sekunde fehlerfrei geben oder stanzen kann. Wird gut gegeben oder gestanzt, so wird auch die Zahl der Rückfragen und Berichtigungen, deren schnelle Erledigung bei den Reihenapparaten besondere Aufmerksamkeit erfordert, klein sein. Es läßt sich mit gutem Personal erreichen, daß in 100 Telegrammen etwa nur 4 Nachfragen nötig sind, die auf Stanzfehlern beruhen.

Außerdem sind zur Ausnutzung eines modernen Apparats leistungsfähige Leitungen nötig, die eine Telegraphiergeschwindigkeit von 1500 bis 1800 Fünferzeichen in der Minute zulassen (1 Verteiler mit 4 Sektoren und 360 Umdrehungen in der Minute). Solche Leitungen stehen in den pupinisierten Fernsprechkabelleitungen zur Verfügung, die mit Wechselstrom oder in verfeinerter Simultanographie (Unterlagerungstelegraphie) betrieben werden können.

Telegramme zu ermäßigten Gebühren.

Um die Telegraphenverbindungen in den verkehrsschwachen Stunden und Tagen (an Sonn- und Feiertagen) wirtschaftlicher auszunutzen, sind besondere Arten von Telegrammen gegen ermäßigte Gebühren zugelassen.

(1581) Pressetelegramme (im Inland und mit Ausnahmen auch im Auslandsverkehr zugelassen). Sie werden gegen ermäßigte Gebühr angenommen und befördert.

(1582) Brieffelegramme (nur in Deutschland und im Verkehr mit einigen benachbarten Ländern zugelassen). Sie werden in den verkehrsschwachen Stunden nach den vollbezahlten Telegrammen telegraphisch an den Bestimmungsort befördert und dann wie gewöhnliche Briefe auf dem nächsten Bestellgang abgetragen oder Abholen in der üblichen Weise ausgehändigt. Der Text muß in offener Sprache abgefaßt sein. Die Gebühr beträgt im deutschen Reich 50 Pf. für das Wort.

(1583) Zurückgestellte Telegramme (L.C.-Telegramme). Der Text muß in ganz offener Sprache abgefaßt sein. Die Wortgebühr beträgt die Hälfte der Wortgebühr für gewöhnliche Telegramme. Sie werden erst nach den vollbezahlten Privattelegrammen und nach den Pressetelegrammen befördert.

(1584) Wochenendtelegramme (WLT Telegramme). Sie sind nach den Vereinigten Staaten von Amerika, einem Teil von Britisch-Amerika und mehreren anderen amerikanischen Ländern zugelassen. Sie werden im Laufe der Woche von allen Telegrammannahmestellen während ihrer Dienststunden angenommen. Schluß für die Auflieferung Sonnabend Mitternacht. Telegraphische Beförderung vom Aufgabe- bis zum Bestimmungsort. Zustellung erfolgt nicht vor dem folgenden Montagmorgen. Gebühren sind bedeutend ermäßigt.

(1585) Kabelbriefe (CLT) und Funkbriefe (RLT). Sie sind nach den Vereinigten Staaten von Amerika, nach Mexiko und nach Kuba zugelassen und werden vom Aufgabeort bis zum Bestimmungsort telegraphisch befördert. Zustellung frühestens am Vormittag des auf die Auflieferung folgenden Tages. Gebühren bedeutend ermäßigt.

Fünfter Abschnitt.

Fernsprechwesen.

Grundfragen der Fernsprechtechnik.

1. Umfang und Gebiete der Fernsprechtechnik.

(1586) Verbindung zweier Teilnehmer. Der Fernsprechtechnik fällt allgemein die Aufgabe zu, die für den Sprechverkehr zweier räumlich voneinander getrennten Stellen erforderlichen technischen Einrichtungen zu schaffen. Handelt es sich nur um zwei Sprechstellen, so beschränken sich diese Einrichtungen auf die Bereitstellung der Apparate, die für die Erzeugung der Sprechströme (Mikrophone), für die Aufnahme und Wiedergabe der Sprechströme (Fernhörer), für den Anruf (Wecker) und für die Stromversorgung der Sprech- und Rufstromkreise (Batterien, Induktoren) erforderlich sind, sowie auf die Herstellung einer leitenden Verbindung zwischen beiden Stellen (Einzelleitung mit Rückleitung durch die Erde oder Doppelleitung).

(1587) Mehrere Teilnehmer. Vermittlungsstelle. Ist eine größere Zahl von Stellen vorhanden, die alle miteinander in Sprechverkehr treten wollen, so werden sie entweder an eine gemeinsame Verbindungsleitung angeschlossen, wobei verabredete Rufzeichen (Morsezeichen) oder besonders eingerichtete Anrufapparate den Anruf einer bestimmten Stelle ermöglichen (z. B. bei Überlandleitungen), oder die Leitungen der einzelnen Stellen werden an eine Vermittlungsstelle herangeführt, bei der sie nach Bedarf miteinander verbunden werden können. Größere Vermittlungsstellen bezeichnet man als Fernsprechämter (Fernsprechzentralen), während kleinere Vermittlungsanlagen, wie man sie bei Teilnehmerstellen, die durch eine oder mehrere Leitungen mit einem Fernsprechamt verbunden sind, findet, als Nebenstellenvermittlungen bezeichnet werden. Man unterscheidet ferner öffentliche Fernsprechanlagen und Privatanlagen.

(1588) Fernsprechnetze. Die Gesamtheit der in einer öffentlichen Fernsprechanlage zur Verbindung der Sprechstellen mit der Vermittlungsstelle erforderlichen Leitungsanlagen bezeichnet man als Ortsnetz. Sind in einem Ortsnetz mehrere Vermittlungsstellen vorhanden, so sind sie durch Verbindungsleitungen, deren Zahl nach dem in der Hauptverkehrsstunde abzuwickelnden Verkehr zu bemessen ist, miteinander zu verbinden. Liegen, wie es in Industriegebieten der Fall zu sein pflegt, mehrere Ortsnetze unmittelbar nebeneinander und bestehen enge Verkehrsbeziehungen zwischen ihnen, so werden sie zu Bezirksnetzen zusammengefaßt. Um die Zahl der Verbindungsleitungen hierbei zu verringern, empfiehlt es sich meistens, nicht von jedem Amt zu jedem anderen unmittelbare Verbindungsleitungen zu ziehen, sondern an geeigneten Punkten Knotenämter einzurichten, die die Verbindungen von den Seitenämtern aufnehmen; hierbei werden entweder nur die Knotenämter unmittelbar untereinander verbunden, oder es wird ein gemischtes System eingeführt, bei dem auch einzelne größere Seitenämter die Möglichkeit des unmittelbaren Verkehrs erhalten.

(1589) Fernverkehr. Für den Sprechverkehr weiter voneinander entfernter Ortsämter werden Fernleitungen eingerichtet, die in Fernämtern zusammengefaßt werden. Die elektrischen Eigenschaften der Fernleitungen sind mit besonderer Sorgfalt so abzustimmen, daß sie bei gegebener Länge eine einwandfreie Verständigung ermöglichen. Dies wird häufig dadurch erreicht, daß die kapazitiven Verluste durch Einführung von Selbstinduktivitäten (Pupinisierung) ausgeglichen werden (1237, 1388 u. f.). Bei größeren Leitungslängen, namentlich aber bei den in neuerer Zeit bevorzugten Fernkabeln, werden außerdem Röhrenverstärker eingeschaltet (1614 u. f.). Für die vorübergehende Einschaltung zwischen zwei Fernleitungen hat man Schnurverstärker (1671 u. f.), während die in die Fernkabel dauernd eingeschalteten Verstärker in den auf die Fernkabelstrecke verteilten Verstärkerämtern (1642 u. f.) zusammengefaßt werden.

(1590) Wirtschaftlichkeit. Auf dem vorstehend in großen Zügen umrissenen Gesamtgebiet der Fernsprechtechnik wird man die Aufgaben — soweit sie nicht Gegenstand wissenschaftlicher Forschung sind — ihrer Art nach in konstruktive, schaltungstechnische und betriebstechnische einteilen können. Bei der Durchführung dieser verschiedenartigen Aufgaben muß der Leitgedanke die Erzielung möglichst großer Wirtschaftlichkeit sein, d. h. es muß angestrebt werden, mit dem geringsten Aufwand an Mitteln die größte Wirkung zu erzielen. Dabei kommt es nicht nur darauf an, die ersten Anlagekosten nach Möglichkeit herunterzusetzen, sondern auch die Unterhaltungskosten und die Kosten für die Bedienung gering zu halten.

(1591) Apparatbau. Bei der Konstruktion ist ein Unterschied zu machen zwischen den beiden wesensverschiedenen Hauptgebieten: dem Apparatbau, der sich mit der Einrichtung der Sprechstellen und Ämter befaßt, und dem Leitungsbau, der für die Herstellung der ober- und unterirdischen Leitungsanlagen erforderlichen technischen Hilfsmittel schafft. Im Apparatbau ist die früher vorherrschende feinmechanische Arbeit fast ganz durch die neuzeitliche Massenfabrikation ersetzt worden. Die Fertigung durch Stanzen und Pressen wird dabei bevorzugt, während man die teuren Verfahren des Drehens und FräSENS möglichst vermeidet oder bei geeigneter Formgebung durch erstere zu ersetzen sucht. Daneben wird von Spezialmaschinen weitgehender Gebrauch gemacht. In neuerer Zeit gewinnt auch der Metallspritzguß, namentlich mit Aluminiumlegierungen, da er verwickelte Konstruktionsformen in äußerst genauer und haltbarer Weise billig herzustellen gestattet, immer größere Beachtung. Auch formgepreßte Isoliermaterialien erhöhen vielfach die Wirtschaftlichkeit der Fertigung. Da eine Fernsprechanlage — man denke an ein großes Selbstanschlußamt — oft aus vielen Millionen von kleinen Einzelteilen besteht, die alle mehr oder weniger für die Wirkungsweise der Gesamtanlage ausschlaggebend sein können, so wird auf die zweckmäßige Ausgestaltung jedes einzelnen Konstruktionsteils heute außerordentlicher Wert gelegt. Die richtige Durchbildung der Fabrikationsmethoden, die Benutzung von Prüfleren und die Ermittlung der jeweils günstigsten Baustoffe auf Grund wissenschaftlicher Untersuchungen spielen dabei eine große Rolle. Weitere Fortschritte in der wirtschaftlichen Fertigung sind durch die von den Industrieverbänden in Zusammenarbeit mit den Behörden durchgeführten Normungsarbeiten und durch die Typisierung (Herabsetzung der Zahl und Verbreiterung des Verwendungsbereichs der einzelnen Konstruktionsformen) erzielt worden.

(1592) Im Leitungsbau (1251 u. f., 1300 u. f.), wo es sich meist um umfangreichere Werkstücke von nicht so großer Zahl handelt, tritt die Massenfabrikation in den Hintergrund. Viele Eisenteile für den oberirdischen Bau müssen durch Schmieden und FräSEN hergestellt werden, doch sucht man auch hier durch Verwendung von nach Form gezogenen Materialien die Arbeitsgänge zu vermindern und die Herstellungskosten zu verringern. Im übrigen liegt hier die größte Möglichkeit zur Verbilligung der Anlagen in dem Übergang zum Kabelbau (Luftkabel und Erdkabel), da hierbei der bei oberirdischen Fernleitungen aus Festigkeits-

gründen erforderliche Querschnitt des Kupferleiters wesentlich herabgesetzt werden kann.

(1593) Die **Schaltungstechnik** hat sich in den letzten Jahren außerordentlich weiter entwickelt und ist zu einer Kunst geworden, deren Beherrschung nicht geringe Schwierigkeiten bietet. Man erkennt hier überall das Bestreben, die Anlagekosten dadurch zu verringern, daß man die für einen gegebenen Zweck erforderlichen Schaltmittel in möglichst weitem Umfang und wiederholt auch für andere Zwecke ausnutzt. Konstruktion und Schaltungstechnik müssen dabei Hand in Hand gehen, um alle Möglichkeiten zu verwerten. Durch eingehendes Studium der Ansprech- und Abfallzeiten von Relais und anderen elektromagnetisch betätigten Schaltmitteln, sowie durch oszillographische Untersuchungen über den Stromverlauf in den einzelnen Stromkreisen ist die Sicherheit in der Wirkungsweise der Schaltvorgänge wesentlich erhöht und die kritische Beurteilung gleichartiger Anordnungen erleichtert worden. Neben der Möglichkeit, mehrere Wirkungen gleichzeitig hervorzurufen, indem man entweder getrennte Stromwege (z. B. verschiedene Leitungszweige) benutzt oder mit verschiedenen Stromstärken oder Stromrichtungen arbeitet oder Wechselströme, unter Umständen mehrere Frequenzen, den Gleichstromwegen überlagert, ist neuerdings auch die Hervorrufung der einzelnen Wirkungen in bestimmter Reihenfolge, bei der häufig Ersparnisse an Stromwegen zu erzielen sind, in den Vordergrund getreten. Dabei benutzt man verzögernde Einrichtungen, besonders Relais mit verzögerter Ansprech- oder Abfallzeit (1791, *i, k*; 1819; 18.6; 1839); häufig sind solche Wirkungen schon dadurch zu erreichen, daß die einzelnen Schaltvorgänge in ihrer Zeitfolge (Folgekontakte!) voneinander in Abhängigkeit gebracht werden. Mit Rücksicht auf das Vordringen der Hochspannungsanlagen geht man mehr und mehr dazu über, nur reine Schleifenanordnungen anzuwenden und die gefährdeten Stromkreise durch hochspannungssichere Übertrager abzuschließen. Dadurch kommt die Mitbenutzung der Erde zur Stromrückleitung, die die Schaltungsanordnungen meist außerordentlich vereinfacht, in Fortfall. Die Schaffung von Ersatzanordnungen, bei denen der Wechselstrom eine besondere Rolle zu spielen berufen erscheint, stellt die Schaltungstechnik vor schwierige Aufgaben.

(1594) Der **Betriebstechnik** fällt die Aufgabe zu, auf Grund von Beobachtungen und Messungen des Verkehrs die wirtschaftlichste Form des Betriebes zu ermitteln. Hierbei kommt es darauf an, daß einmal die Anlagen für die Vermittlungsstellen und das Leitungsnetz das für die Abwicklung des stärksten vorkommenden Verkehrs erforderliche Maß nicht überschreiten, und daß die Bereitstellung von Bedienungspersonal mit gewissen Normsätzen und mit dem Auf- und Abschwanken des Verkehrs in Übereinstimmung gebracht wird. Für die Verkehrsmessungen dienen entweder Gesprächszählungen oder Zählung von Verbindungen innerhalb bestimmter Verkehrsgruppen, sowie Feststellungen der Stromstärken durch registrierende Strommesser in solchen Stromkreisen, die Rückschlüsse auf die Zahl der bestehenden Verbindungen usw. zulassen (1842). Auch sind häufig besondere Registrierapparate benutzt worden, die in einer Gruppe von Leitungen den zeitlichen Verlauf der einzelnen Gespräche aufzeichnen. Diese praktischen Beobachtungen werden wesentlich unterstützt durch theoretische Ermittlungen auf Grund der Wahrscheinlichkeitsrechnung, wobei der Fernsprechverkehr als Massenerscheinung mit starken Schwankungen betrachtet werden kann¹⁾. Für die Praxis ergeben sich aus diesen Ermittlungen Zahlen, Tabellen und Kurven, aus denen für bestimmte Verkehrsbedingungen das Leistungsmaß der Beamtinnen, die Belegung der Plätze, die erforderlichen Wählerzahlen (1850), der Bedarf an Verbindungsleitungen u. a. m. festgestellt werden kann.

¹⁾ Dr. Rückle, G. und Dr. Lubberger, F.: Der Fernsprechverkehr als Massenerscheinung mit starken Schwankungen. Berlin 1924. (Vgl. auch die dort angegebene Literatur.) — Frei, K. Zur Theorie des Fernsprechverkehrs. TFT Juni 1925.

2. Neuzeitliche Entwicklung.

(1595) Selbstanschluß. Während in den ersten beiden Jahrzehnten dieses Jahrhunderts die Weiterentwicklung der Fernsprechtechnik im Zeichen des durch Einführung der Zentralbatteriesysteme vervollkommneten Handbetriebes stand, sind seit einigen Jahren alle Länder mit vorgeschrittenem Fernsprechtbetrieb im Begriff oder bereiten sich darauf vor, den Selbstanschlußbetrieb (1794 u. f.) einzuführen. Während langjähriger Versuche hat sich gezeigt, daß der SA-Betrieb nicht nur technisch den Handbetrieb zu ersetzen vermag, vielfach sogar günstigere Lösungen ermöglicht als dieser, sondern daß er auch wirtschaftliche Vorteile bieten kann. Durch Vervollkommnung der Apparatkonstruktionen, Verbesserung der Fabrikationseinrichtungen und zweckentsprechenden Aufbau der Schaltungen ist es gelungen, die Betriebssicherheit der SA-Anlagen so außerordentlich zu erhöhen, daß selbst die Hintereinanderschaltung vieler Wahlstufen, wie sie in Netzen mit mehreren Millionen Anschlüssen nötig wird, keinen Bedenken mehr unterliegt. Die Vorzüge des SA-Betriebes liegen hauptsächlich in der schnellen Herstellung der Verbindung unter der Selbstkontrolle des Teilnehmers, in der sicheren Prüfung auf Besetztsein, in der Möglichkeit der Auswahl einer freien aus einer Gruppe von Leitungen und der Unterscheidung verschiedenwertiger Verbindungen (Orts- und Fernverbindungen), in der Geheimhaltung der Gespräche und nicht zuletzt in der sofortigen Trennung der Verbindung beim Anhängen des Hörers und in der steten Betriebsbereitschaft.

Diese Vorzüge sind von so ausschlaggebender Natur, daß auch eine Erhöhung der Anlage- und Betriebskosten sich dadurch rechtfertigen ließe. Aber auch in wirtschaftlicher Hinsicht sind die Aussichten des SA-Betriebes nicht ungünstig. Allerdings haben bei kleineren Anlagen die höheren Anlagekosten gegenüber den ersparten Bedienungskosten einen merkbaren Einfluß. Nach den Ermittlungen der englischen Postverwaltung ist der SA-Betrieb dem Handbetrieb wirtschaftlich unter allen Umständen überlegen, wenn die durchschnittliche tägliche Gesprächszahl für den Teilnehmer nicht kleiner als 5 und die Gesamtzahl der täglichen Anrufe nicht unter 4000 ist und wenn der Anteil der durch Hand zu erledigenden Verbindungen nicht mehr als 40 vH. beträgt¹⁾. Es kommt aber in Betracht, daß in den meisten Fällen noch andere Umstände die Einführung des SA-Betriebes vorteilhaft erscheinen lassen. Hierbei spielt besonders die Raumfrage eine große Rolle; während der Handbetrieb besondere Anforderungen an die Größe, Lage und Beschaffenheit der Räume stellt, lassen sich SA-Einrichtungen leicht in Räumen von normaler Höhe unterbringen und sich, wenn größere Räume fehlen, auch ohne Schwierigkeit aufteilen. Für die Teilnehmer ist, besonders in kleineren Orten und auf dem flachen Lande die stete Betriebsbereitschaft von besonderer Bedeutung, so daß bei zweifelhafter Rentabilität die Gemeinden oft bereit sind, Zuschüsse zu leisten.

In größeren Netzen steht die wirtschaftliche Überlegenheit des SA-Betriebes außer Frage. Sobald die Teilnehmer in mehreren Ämtern untergebracht werden müssen und Verbindungsleitungsverkehr nötig wird, wachsen die Bedienungskosten des Handbetriebes schnell an. Beim SA-Betrieb ist es dagegen gleichgültig, ob die Teilnehmer in einem Amt liegen oder auf mehrere verteilt sind (1853 u. f.), da der Wählerbedarf derselbe bleibt. Es kommen bei räumlicher Trennung der Amtsgruppen nur die Leitungskosten hinzu, die aber beim SA-Betrieb auch geringer sind als beim Handbetrieb, da nicht wie bei diesem von jedem Amt zu jedem anderen unmittelbare Verbindungen nötig sind.

(1596) Fernverkehr. Wenn es hiernach nicht zu zweifeln ist, daß sich im gesamten Ortsverkehr früher oder später der Selbstanschlußbetrieb durchsetzen wird, so wird es daneben aber immer Betriebsweisen geben, wo die Handbedienung nicht ohne weiteres entbehrt werden kann. Am deutlichsten tritt dies

¹⁾ Purves, T. F.: The Post Office and Automatic Telephone; Journ. of the Inst. of El. Eng., Vol. 63, Nr. 343. London 1925.

beim großen Fernverkehr in die Erscheinung. Hier, wo die Kosten der Leitung einen ausschlaggebenden Einfluß ausüben, können nicht soviel Verbindungen vorgesehen werden, daß ein Zug-um-Zugverkehr ohne Wartezeiten eingerichtet werden kann; andererseits ist es unbedingt nötig, daß die Leitungen bis aufs äußerste ausgenutzt werden. Es sind also Anordnungen zu treffen, daß die Teilnehmer in einer bestimmten Reihenfolge herangeholt werden, daß die Verbindungsdauer wegen der Gebührenberechnung überwacht wird u. a. m. Bei dem kleinen Fernverkehr (etwa bis 100 km) und dem diesem verwandten Bezirksverkehr liegen die Bedingungen schon wesentlich günstiger, da hier mehr Leitungen zur Verfügung stehen; doch bringt hier die Gebührenerrechnung Schwierigkeiten für den Selbstanschlußbetrieb. Es sind aber auch hier bereits Versuche im Gange, mit Hilfe einer „Zeit-Zonenzählung“, bei der je nach Dauer des Gesprächs und Länge der Leitung das Mehrfache der Ortsgebühr selbsttätig verrechnet wird, dieses Gebiet für den Selbstanschlußbetrieb zu erschließen. Zur Zeit ist in diesen Verkehrsbeziehungen jedoch noch der Handbetrieb vorherrschend. Auch für die Nebenstellenzentralen der Teilnehmer bietet der Handbetrieb gewisse Vorzüge, weil die Weiterleitung der Verbindungen an die richtige Nebenstelle leichter durchzuführen ist und zweckdienliche Auskünfte der Vermittlungsstelle die Verkehrsabwicklung erleichtern können. Dies bezieht sich aber nur auf den Verkehr vom Amt zur Nebenstelle. Für den Verkehr der Nebenstellen untereinander und für den Verkehr von der Nebenstelle zum Amt (Auswahl einer freien Amtsleitung) wird wenigstens bei größeren Anlagen schon heute der SA-Betrieb Vorteile bieten. Im allgemeinen ist bei Nebenstellenanlagen wohl das Bestreben zu erkennen, den Handbetrieb auf das geringste mögliche Maß einzuschränken.

3. Anlage der Netze.

(1597) Betriebssicherheit ist die oberste Anforderung, die an ein Fernsprechnetzt gestellt werden muß. Störungsanfällige Außennetze verschlechtern nicht nur den Betrieb außerordentlich, sondern setzen auch die Wirtschaftlichkeit wesentlich herab. Besonders nachteilig wirken sich Störungen im SA-Betrieb aus, da hier durch jede mit Neben- oder Erdschluß behaftete Leitung sogleich eine Verbindungsmöglichkeit belegt wird, so daß bei einer größeren Zahl gleichzeitiger Störungen der Betrieb bis zum Eingreifen des Personals empfindlich leidet. Es muß angestrebt werden, das Leitungsnetz so herzustellen, daß es — von der Einwirkung außergewöhnlicher Naturereignisse u. dgl. abgesehen — praktisch störungsfrei ist. Erreicht wird dies vornehmlich durch die rein unterirdische Führung der Leitungen vom Amt bis zur Sprechstelle und zwischen den einzelnen Ämtern großer Netze. Wo diese Bauweise zu kostspielig wird, also hauptsächlich in den Außenbezirken der großen Netze und in den mittleren und kleineren Netzen, sind Luftkabel zu verwenden. Hierbei muß die Zuleitung vom Verteilungspunkt zur Sprechstelle mit isoliertem Draht erfolgen. Wo oberirdische Freileitungen nicht zu vermeiden sind, vor allem in schwachbelasteten Linien, sind die Leitungsabstände so groß zu wählen, daß Berührungen nach Möglichkeit vermieden werden.

(1598) Kabelanlagen. Die größeren Kabelanlagen werden so angelegt, daß sich die Hauptkabel strahlenförmig vom Amt aus verteilen. Durch Einbau von Kabelverzweignern ist dafür Sorge zu tragen, daß die in den einzelnen Abschnitten vorzusehenden Vorratsadern nicht bis zum Amt durchgeführt zu werden brauchen. Häufig wird es sich empfehlen, die Kabelverzweigner untereinander zu verbinden, um einen Belastungsausgleich unter den einzelnen Linienzügen vornehmen zu können, und um unmittelbare Verbindungen zwischen räumlich getrennten Sprechstellen, wie sie in Nebenstellenanlagen vorkommen, nicht über das Amt führen zu müssen. An den Endverzweigungspunkten der Kabel werden häufig mit Vorteil die Anschlußleitungen über mehrere Verzweigungspunkte geführt, um dem wechselnden Bedürfnis nach Anschlußmöglichkeit leicht folgen zu können. Da ein gewisser Teil der in den einzelnen Unterbezirken (Häuserblocks usw.) vor-

handenen Anschlüsse als fester Bestandteil anzusehen ist und nicht wechselt, so ist es gewöhnlich wirtschaftlicher, in enger bebauten Gegenden nur einen Teil der Leitungen durch Vielfachschaltung beweglich zu machen.

(1599) Planung der Netze. Für den Ausbau der Fernsprechnetze ist eine sorgfältig durchgeführte Planung die Voraussetzung für eine wirtschaftliche Anlage. Man geht hierbei in der Weise vor, daß man in einem Stadtplan die in etwa 15 Jahren voraussichtlich zu erwartende Zahl der Sprechstellen für die einzelnen Häuserblocks einträgt. Hierbei geben Beobachtungen über die geschäftliche und gesellschaftliche Entwicklung der einzelnen Stadtbezirke, Mietspreise, Vergleiche mit dem gegenwärtigen Stand und mit weiter vorgeschrittenen Gemeinwesen einen Anhalt. Geht die ermittelte Endzahl über 10000 hinaus, so wird das Gebiet in zwei oder mehr Amtsbezirke von annähernd gleicher Größe eingeteilt. Für jeden Bezirk ermittelt man durch Feststellung des Schwerpunkts die günstige Lage des Amtes und stellt dann zunächst einen idealen Plan für das ganze Netz und seine Kabelanlage auf. Zwingen dann Rücksichten auf praktische Verhältnisse zu einer Abweichung von dem idealen Plan, so ist es Sache der Berechnung, festzustellen, bei welcher Anlage das günstigste wirtschaftliche Ergebnis erzielt wird.

(1600) Knotenämter. In kleinen Netzen spielt naturgemäß die Netzanlage keine so erhebliche Rolle, so daß hier häufig Rücksichten auf vorhandene und

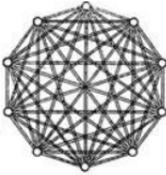


Abb. 965. Verbindungsleitungsnetz für Handbetrieb.

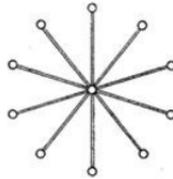


Abb. 966. SA-Betrieb mit einem Knotenamt.

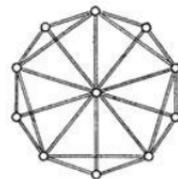


Abb. 967. SA-Betrieb mit Knotenamt und direkten Verbindungen.

mitzubeneutzende Einrichtungen (Post, Eisenbahn u. dgl.) den Ausschlag geben. Um so mehr ist aber in großen Netzen auf die künftige Entwicklung Rücksicht zu nehmen. Auch gewinnen hier die sich aus der Einführung des SA-Betriebes ergebenden Verhältnisse eine besondere Bedeutung. Da hier, wie schon ausgeführt wurde, eine unmittelbare Verbindung von jedem Amt zu jedem anderen nicht mehr erforderlich ist, so bieten sich hier ganz andere Möglichkeiten für die Ausgestaltung des Verbindungsleitungsnetzes. Die Abb. 965 bis 967 zeigen vergleichsweise diese Möglichkeiten. Bei der Annahme von 10 Ämtern in einem Netz zeigt Abb. 965 die Ausführung, wie sie der Handbetrieb erfordert, mit unmittelbaren Verbindungen von Amt zu Amt. Hierbei erhält man 90 Gruppen von Verbindungsleitungen. Abb. 966 gibt die Anordnung wieder, wie sie der reine SA-Betrieb ermöglicht, bei dem alle Ämter nur Verbindungen nach einem zentral gelegenen Knotenamt haben. Hier sind nur 20 Gruppen (ankommender und abgehender Leitungen) erforderlich. Nachteilig wirkt hierbei jedoch, daß alle Verbindungen über ein einziges Amt gehen müssen, wodurch sich eine ungeheure Anhäufung von Apparaten an diesem Punkt ergibt und die Gefahren für Störfälle vergrößert werden, und daß für Verbindungen zwischen benachbarten Ämtern die Leitungslänge erheblich anwächst. Bei einem anderen Plan nach Abb. 967, bei dem die Verbindungen für benachbarte Ämter auf direkten Leitungen, für entferntere über das Knotenamt erfolgen, erhält man 50 Gruppen. Es ist einleuchtend, daß die günstigste Anlage eine Anordnung gewährt, die zwischen denen nach Abb. 966 und 967 liegt und durch Rechnung ermittelt werden muß.

In Bezirksnetzen liegen die Verhältnisse grundsätzlich ebenso wie in den Ortsnetzen, nur mit dem Unterschied, daß man hier in der Festlegung der Netz-

schwerpunkte nicht freie Hand hat, sondern daß sie durch die in dem Bezirk vorhandenen größeren Verkehrszentren von vornherein gegeben sind. Im übrigen wird aber auch hier auf Grund sorgfältiger Ermittlungen und Kostenberechnungen die günstigste Ausgestaltung für das Netz gesucht werden müssen. Für den Fernverkehr tritt, nachdem durch die Anlage des Fernkabelnetzes die Fernamtsknotenpunkte festgelegt sind, dieselbe Entwicklung in die Erscheinung. Man wird allerdings hier, um eine möglichst günstige Ausnutzung der von den Knotenämtern ausgehenden Verbindungen zu erreichen, bestrebt sein, die Zahl der Seitenämter zu verringern, also nahe beieinander gelegene Fernämter kleinen Umfangs zu einem zu vereinigen. Diese Entwicklung wird durch die Einführung des SA-Betriebes, die das unmittelbare Wählen und e. F. Freimachen des verlangten Anschlusses vom fernen Amt aus ermöglicht, wesentlich begünstigt.

4. Technische Einrichtungen.

(1601) Sprechstellen. In der Entwicklung der Sprechstellenapparate ist eine gewisse Stetigkeit eingetreten. Die Apparate für OB-Betrieb werden infolge der immer weiter ausgedehnten Einführung des ZB- und SA-Betriebes in großer Zahl verfügbar, so daß grundlegende Änderungen sich hier nicht mehr lohnen. Die ZB-Apparate werden heute meist so ausgeführt, daß sie nach Hinzufügen der Nummernscheibe ohne weiteres für den SA-Betrieb weiterverwendet werden können. Was die äußere Anordnung anbetrifft, so werden in Deutschland und vielen anderen Ländern die Handapparate, an denen Fernhörer und Mikrophon vereinigt sind, bevorzugt, während man in den von Amerika beeinflussten Staaten gewöhnlich den Säulenapparat mit feststehendem Mikrophon findet. Die Fortschritte in der elektrischen und akustischen Untersuchung der Sprechapparate haben zu einer weiteren Verbesserung der im Sprechstrom wirksamen Teile geführt, so daß die Apparate heute hohen Anforderungen genügen. Es würde ohne weiteres möglich sein, die Leistung über das geforderte Maß hinaus zu steigern, doch ist dies nicht zweckmäßig, da die Lautstärke dann für den Ortsverkehr zu groß und für den Benutzer lästig wird, und da auch für den Fernverkehr bei der durch den Fernkabelbetrieb erreichbaren Güte und Gleichmäßigkeit der Übertragung eine Leistungserhöhung entbehrt werden kann. Für besonders geartete Fälle hat man Apparate mit Röhrenverstärkern in Gebrauch, bei denen entweder nur der ankommende oder auch der ankommende und der abgehende Sprechstrom verstärkt werden kann. Neben dem bisherigen Fernhörer mit Dauermagnet werden neuerdings auch häufig solche ohne Dauermagnet, bei denen die Magnetisierung durch den Mikrophonspeisestrom erfolgt, mit Erfolg verwendet. Der Schwierigkeit, daß sich die Leistung mit dem durch die Leitungslänge bedingten Speisestrom ändert, sucht man durch passende Bemessung und Schaltung der Spulen abzuheilen. Endgültige Erfahrungen liegen noch nicht vor.

(1602) Nebenstellen. Im Nebenstellenwesen, das ja besonders in Deutschland, durch die Tarife begünstigt, eine außerordentliche Bedeutung gewonnen hat, beschränkt sich die neuere Entwicklungsarbeit infolge allmählichen Schwindens des OB-Betriebes auf den ZB- und SA-Betrieb. Grundsätzlich werden für die beiden letzteren gleiche Konstruktionen und Schaltungen verwendet, die nach Bedarf durch Hinzufügen der Nummernscheibe ergänzt werden. Durch die verschiedenartigen Anforderungen, die seitens der Teilnehmer an Nebenstellenanlagen gestellt werden, hatte sich im Laufe der Zeit eine ziemliche Buntscheckigkeit auf diesem Gebiete herausgebildet. Durch eine planmäßig durchgeführte Typisierung ist es gelungen, die Zahl der Apparatausführungen erheblich herabzusetzen. Bei den Klappenschränken, denen die Zwischenstellenumschalter für 1 Amts- und 1 Nebenstellenleitung zuzurechnen sind, hat man im wesentlichen drei Ausführungen: eine kleinere für 1 oder 2 Amtsleitungen und 1 bis 10 Nebenstellen, eine mittlere mit Rückstellklappen, die mit einzelnen Klappenkästen nach Bedarf ausgebaut werden kann, für etwa 10 bis etwa 100 Amts- und Nebenstellenleitungen, und eine große mit Glühlampensignalisierung. Auch bei den

Reihenschaltern hat man künftig nur noch drei Ausführungen für 5, 10 und 30 Nebenstellen. Wie sich die Nebenstellenanlagen mit SA-Betrieb entwickeln werden, ist noch nicht ganz zu übersehen. Der einfachste Weg ist der, daß man die SA-Anlage nur für den inneren Verkehr der Nebenstellen untereinander benutzt, für den ankommenden und abgehenden Verkehr dagegen den Handbetrieb. Der weitere Schritt, auch den abgehenden Verkehr zum Amt durch Auswahl einer freien Amtsleitung selbsttätig zu gestalten, ist verhältnismäßig einfach. Schwieriger ist dagegen der vollselbsttätige Betrieb zu erreichen, da hierbei der Teilnehmer gleich die gewünschte Nebenstelle anrufen muß. Wenn dies auch technisch nicht schwierig durchzuführen ist, so bestehen vom Betriebsstandpunkt aus Bedenken, da der Eigenart des Nebenstellenbetriebes hierbei nicht immer Rechnung getragen werden kann. Von Interesse ist hierbei die in München gezeigte vollautomatische Fernsprechzentrale¹⁾, bei der die Vermittlung nur dann einen Anruf erhält, wenn der anrufende Teilnehmer nicht weiterwählt, Auskunft verlangt od. dgl. Die zusätzlichen Einrichtungen für den Handbetrieb werden hierbei sehr einfach. Die weiteren Erfahrungen können erst Aufschluß darüber geben, welche Einrichtungen hier den Vorzug verdienen.

Eine besondere Rolle spielt bei den Nebenstellenanlagen die Stromversorgung. Bei Anlagen mit Glühlampenschranken oder SA-Betrieb ist eine ortsfeste Sammleranlage in ähnlicher Weise wie bei Ämtern gleichen Umfangs zu schaffen. Auch bei den mittleren Anlagen ist ohne Sammlerbatterie nicht auszukommen; doch wird hier eine transportable Batterie von kleineren Abmessungen gewählt, die entweder über die Amtsleitungen oder an Ort und Stelle unter Mitwirkung des Teilnehmers in einfachster Form über vorgeschaltete Widerstände oder mit Glimmlichtgleichrichtern aus dem Netz aufgeladen wird. Bei kleinen Klappenschranken und Reihenschaltern ist die Speisung aus der Amtsbatterie über einen Zweig der Amtsleitung und Rückleitung durch die Erde allgemein in Verwendung. Die Befürchtung besteht allerdings, daß bei weiterem Vordringen der Hochspannungsanlagen und des elektrischen Bahnbetriebes diese Art der Stromversorgung nicht mehr beibehalten werden kann. Hier erhebt sich eine große Schwierigkeit, da die Aufstellung besonderer Batterien bei den zahlreichen kleinen Nebenstellenanlagen deren Wirtschaftlichkeit stark beeinträchtigen würde.

(1603) Handämter. Die Entwicklung der Handämter kann heute im wesentlichen als abgeschlossen angesehen werden, da angesichts des schnellen Vorschreitens des SA-Betriebes die Bemühungen zur Verbesserung der technischen Einrichtungen oder zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit ihre Bedeutung verloren haben. In kleinen Netzen hat sich der OB-Betrieb mit Schlußklappensignalisierung erhalten, während in den größeren selbsttätige Schlußzeichen in Anwendung kommen. Bei mehr als 1000 Leitungen ist der ZB-Betrieb wirtschaftlicher. Größere Ämter werden entweder nach der Abtrennschaltung (Western-System) oder nach der Brückenschaltung (Ericsson-System) eingerichtet; die erstere Anordnung bietet die größeren Vorteile. In einzelnen Ländern, besonders auch in Amerika, sind Versuche gemacht worden, durch selbsttätige Verteilung der Anrufe auf freie Beamtinnen und dadurch, daß man das An- und Abschalten des Abfrageapparats, das Besetzzeichen, den Anruf und die Trennung ohne Mitwirken der Beamtin selbsttätig einrichtete, die Wirtschaftlichkeit des Handbetriebes zu erhöhen. Auch in Deutschland ist ein ähnlich eingerichtetes Amt (Hamburg-Roland) in Betrieb. Die Erfolge des SA-Betriebes ermutigen nicht zu weiteren Arbeiten in dieser Richtung. Von einiger Bedeutung ist, solange in größeren Netzen noch Handämter in Betrieb sind, der Einbau von Dienstleitungswählern, die das Aufsuchen einer freien B-Beamtin ermöglichen und so die Sicherheit des Dienstleitungsbetriebes erhöhen. Für die Handämter in Netzen mit SA-Ämtern kommen außerdem selbsttätige Nummernanzeiger

¹⁾ Steidle, H. C.: Die elektrische Nachrichtentechnik auf der Deutschen Verkehrsausstellung in München. ENT 1925, S. 239.

mit Glühlampensignalisierung in Betracht, die von dem SA-Teilnehmer unmittelbar durch die Nummernscheibe eingestellt werden können.

(1604) Selbstanschlußämter. In der Technik der SA-Ämter streiten heute noch eine Reihe von Systemen und von besonderen Anordnungen innerhalb der Systeme um die Vorherrschaft. Es ist heute kaum möglich, endgültig Stellung dazu zu nehmen, zumal vergleichbare Zahlen, die die wirtschaftlichen Vorzüge der einen oder anderen Ausführungsform erkennen lassen, noch fehlen. Es gibt beispielsweise Systeme mit Schrittwählern, mit motorisch angetriebenen Wählern und Relaisysteme, ferner Systeme mit direkter Wahl und solche mit Aufspeicherung, dann Systeme mit Vorwählern und mit Anrufsuchern, solche mit Steuerschaltern und mit reinen Relaischaltungen, Systeme mit kleinen Gruppen und solche mit großen Gruppen u. a. m. Da die Möglichkeiten für den konstruktiven Aufbau der Wähler und für die Durchführung der schaltungstechnischen Aufgaben fast unbegrenzt sind, so bieten sich zahlreiche Wege für die Ausgestaltung der Systeme, deren Berechtigung letzten Endes nur durch die erreichbaren Vorteile in den ersten Anlagekosten und in der Unterhaltung der Systeme dargetan werden kann.

(1605) Die Schrittwählersysteme, die aus dem alten Strowgersystem mit Heb- und Drehwählern hervorgegangen sind, haben die längste Entwicklung hinter sich und sind die am meisten verbreiteten. Bei den meisten Ausführungen wird der 100teilige Heb- und Drehwähler mit 10 übereinandergeschichteten, in Kreisbogen angeordneten Kontaktreihen zu je 10 Kontakten benutzt (1817). Neben den an das Strowgermuster sich anschließenden Wählern mit Auslösemagnet (Autelco, Mix & Genest, Dietl) findet man neuerdings auch solche ohne Auslösemagnet, bei denen der Schaltarm über das Ende der wagerechten Reihe hinausgedreht wird und in die Ruhelage zurückfällt (Siemens & Halske, Autofabag, Deutsche Telefonwerke). Auch Wähler mit senkrechter Anordnung der Kontaktflächen zur Verminderung der Staubablagerung, bei denen die Schaltstange erst gedreht und dann gehoben wird, sind ausgeführt worden (Automat, North El. Co.). Im allgemeinen ist bei neueren Konstruktionen das Bestreben zu erkennen, den Raumbedarf der Wähler wesentlich zu verkleinern und für die kostspielige Vielfachverkabelung der alten Strowgeranordnung zweckmäßigere und billigere Ausführungen zu finden. Hierfür kommen hauptsächlich Bandkabel in Betracht, bei denen blanke Drähte in Seidenumspinnung oder Papier so eingebettet werden, daß sie an den für den Anschluß an die Kontaktkränze bestimmten Stellen unbedeckt bleiben. Auch sind Versuche gemacht worden, die Kontaktbänke aus gestanzten, durchlaufenden Metallstreifen herzustellen, so daß jede Lötung der Vielfachkontakte entbehrlich wird, doch ist diese Anordnung für die kreisförmig angeordneten Kontakte der Heb- und Drehwähler weniger geeignet als für flache Kontaktfelder, wie wir sie beim amerikanischen Panelsystem (1606) finden.

Es gibt auch Schrittwählersysteme, bei denen ausschließlich Drehwähler zur Anwendung kommen (z. B. Rochester & Co., Gurlt, Telephon- u. Telegraphenbau A. G. Rochf. a. Main). Hierbei kommen entweder 100teilige Drehwähler zur Anwendung, oder man verwendet 2 50-, 4 25- oder 10 10teilige Wähler, die durch Relais oder Hilfswähler zur Beherrschung einer 100-Gruppe zusammengefaßt werden. Bei kleineren Anlagen verzichtet man auch auf die Bildung von 100-Gruppen und behilft sich mit kleineren Gruppen unter entsprechender Erhöhung der Verbindungsmöglichkeiten. Die Drehwählersysteme sind vielfach bei Nebenstellenzentralen in Anwendung, für den Bau großer Ämter haben sie keine Bedeutung erlangt.

(1606) Die Maschinenwählersysteme¹⁾ unterscheiden sich von den Schrittwählersystemen grundsätzlich dadurch, daß die Wähler bei der Einstellung mit einer — gewöhnlich dauernd umlaufenden — motorisch angetriebenen Welle

¹⁾ Hersen, K.: Wähler mit Maschinenantrieb. TFT April 1925.

elektrisch gekuppelt und nach Erreichung des gewünschten Kontaktes wieder entkuppelt werden. Das älteste System dieser Art war das Lorimer-System, das jedoch nur beschränkte Anwendung gefunden hat. Die neueren Systeme, nämlich das Western Rotary-System, das Western Panel Type-System und das Ericsson-System, sind erst verhältnismäßig kurze Zeit in Betrieb, haben aber gleichwohl schon eine ziemliche Verbreitung gefunden. Die drei genannten Systeme unterscheiden sich in der Bauart der Kontaktfelder und Wähler vollständig voneinander. Während beim Rotary-System im Kreisbogen angeordnete Kontaktbänke verwendet werden, deren Kontakte von den um eine senkrechte Achse rotierenden Kontaktbürsten des Wählers bestrichen werden, besitzt das Panel-System ein flaches aus Metallstreifen mit Isolierzwischenlagen aufgeschichtetes Kontaktfeld mit vorspringenden Kontaktklappen, das von beiden Seiten aus benutzbar ist und dessen Wähler sich nur in senkrechter Linie bewegen. Beim Rotary-System werden Einzelwähler verwendet, die übereinander angeordnet durch Bandkabel verbunden werden. Die Wähler haben ein Fassungsvermögen von 200 Leitungen. Beim Panel-System werden fünf 100teilige Kontaktfelder übereinander angeordnet, so daß sich ein Fassungsvermögen von 500 Leitungen ergibt; auf jeder Seite der Felder können bis zu 30 Wählern untergebracht werden. Beim Ericsson-System werden dagegen 20teilige Kontaktfelder — wie beim Panel-System ebenfalls unter Vermeidung von Lötstellen — aus straff gespannten Drähten gebildet und 25 solche Felder fächerförmig im Kreisbogen zu einem für 40 bis 60 Wähler gemeinsamen Feld von 500 Leitungen zusammengestellt. Diese kurzen Angaben zeigen schon, in wie verschiedener Weise sich die Bauart der Wähler bei Maschinensystemen durchführen läßt. Hierin liegt einer ihrer Vorzüge; allgemein kann man sagen, daß beim Maschinenantrieb infolge der durch ihn ermöglichten größeren Unabhängigkeit vom Kontaktdruck, von Weglänge von Kontakt zu Kontakt, Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit, Gewicht und Stromverbrauch weitergehende Konstruktionsmöglichkeiten gegeben sind als beim Schrittwählersystem. In den erwähnten Beispielen sind diese Möglichkeiten dazu benutzt worden, um Wähler größeren Fassungsvermögens zu bauen. Inwieweit auf diesem Wege auch wirtschaftliche Erfolge zu erzielen sind, müssen die weiteren Erfahrungen lehren.

(1607) Von den **Relaissystemen** ist besonders das der Relay Automatic Telephone Co. bekannt geworden, das in England und seinen Kolonien sowohl bei einer Anzahl von öffentlichen Verkehrsanstalten als auch besonders in Nebenstellenanlagen verwendet wird. Bei diesem System werden die Verbindungen ausschließlich durch Relais hergestellt; auch zur Aufnahme der Wählimpulse finden Relaisketten Verwendung. Für jede Leitung sind 8 oder 9 Relais vorzusehen, von denen 6 den Zugang zu den 6 ankommenden und 6 abgehenden Verbindungswegen vermitteln. In diesen wie auch in den Wählern sind weitere zahlreiche Relais nötig, so daß der Gesamtaufwand an Relais außerordentlich hoch ist. Der Vorteil liegt bei diesem System darin, daß nur eine Apparattypen zur Verwendung kommt, daß es fast geräuschlos arbeitet und daß es von der Impulsteilung der Nummernscheibe und deren schnellerem oder langsamerem Ablauf in weiten Grenzen unabhängig ist. Die Anlagen sollen eine ziemlich hohe Betriebssicherheit aufweisen und die Unterhaltungskosten niedrig sein. Nachteilig wirkt bei diesen Systemen, daß die Verbindungswege nur für kleine Gruppen von 10 Leitungen gemeinsam sind, so daß verhältnismäßig viele Ausgänge vorzusehen sind und bei Besetztsein einer größeren Zahl von Leitungen in einer Zehnergruppe die übrigen keine Verkehrsmöglichkeit mehr haben. Durch Verschränkung der Verbindungswege sucht man diesem Mangel nach Möglichkeit abzuhelfen. Für größere Anlagen dürfte das Relaissystem sich kaum durchsetzen.

(1608) Vorwähler und Anrufsucher. In der Vorwahlstufe der verschiedenen Systeme finden wir zwei grundsätzlich verschiedene Anordnungen verwendet: den Vorwähler und den Anrufsucher. Der Vorwähler ist ein gewöhnlich mit 10 bis 25 Ausgängen versehener Schrittwähler, der nebst dem zugehörigen Anruf-

und Trennrelais jeder Leitung zugeordnet wird und beim Anruf die Verbindung mit einem freien I. Gruppenwähler herstellt. Der Anrufsucher ist dagegen mit dem I. Gruppenwähler fest verbunden und stellt sich beim Anruf auf die anrufende Leitung ein, die in diesem Fall nur Anruf- und Trennrelais besitzt. Die Frage, welcher von beiden Anordnungen der Vorzug zu geben ist, läßt sich nicht allgemein entscheiden. Vorwähler erfordern einen größeren Aufwand von einfacheren Wählern, nehmen mehr Platz ein, stellen sich aber schnell auf den freien Verbindungsweg ein; beim Anrufsucher werden weniger aber größere Wähler gebraucht, der Raumbedarf ist aber geringer, die Einstellzeit im Durchschnitt größer. Die Vorwählerschaltungen sind gewöhnlich einfacher, die der Anrufsucher verwickelter. Man kann aber wohl sagen, daß beide Einrichtungen in gleichem Maße geeignet sind, den Anforderungen des Betriebes zu genügen, so daß also die Bevorzugung der einen oder anderen lediglich von wirtschaftlichen Erwägungen abhängig zu machen ist. Bei Schrittwählersystemen ist bisher im allgemeinen der Vorwähler bevorzugt worden; es gibt aber auch eine Reihe von Systemen, bei denen Anrufsucher benutzt werden. Dabei findet man seltener den gewöhnlichen 100teiligen Heb-Drehwähler verwendet als den 50teiligen Drehwähler, obwohl die Verkleinerung der Gruppen sich für den Wählerbedarf nicht günstig auswirkt. Verschiedene Systeme haben besondere Einrichtungen, um die Einstellzeit der Anrufsucher abzukürzen. Die vorher erwähnten Maschinensysteme benutzen wieder durchweg den Anrufsucher. Hierbei kommt in Betracht, daß diese Systeme mit Speichereinrichtungen (s. unten) ausgestattet sind, auf die der belegte Verbindungsweg erst eingestellt werden muß, ehe mit dem Wahlen begonnen werden darf. Da somit vom Teilnehmer die Beobachtung des sog. Amtszeichens verlangt werden muß, so spielt eine etwas längere Einstellzeit des Anrufsuchers keine Rolle. Übrigens ist bei den meisten Systemen diese Zeit so kurz, daß sie für den Teilnehmer kaum bemerkbar wird; auf der anderen Seite ist es auch bei Vorwählersystemen nötig, daß der Anrufende sich zunächst überzeugt, daß er das Amtszeichen und nicht etwa das beim Belegtsein aller Ausgänge ertönende Besetzzeichen erhält, so daß für die Praxis die mehr oder weniger schnelle Einstellung auf die erste Wahlstufe eine untergeordnete Rolle spielt und besondere Aufwendungen nicht rechtfertigt.

(1609) Die Einteilung und Anordnung der Gruppen in größeren Anlagen hat eine besondere Bedeutung. Bei der ursprünglich von Strowger angewandten Ausführung, bei der an jedem der 100 Ausgänge der ersten Wahlstufe 100 Wähler der nächsten Stufe hingen, erhielt man für ein 10000-Amt je 1000 I. und II. Gruppenwähler und 1000 Leitungswähler. Da aber nach den Beobachtungen bei einem solchen Amt höchstens 450 Verbindungen gleichzeitig bestehen, so ergibt sich ein großer Überschuß an Wählern. Dieser wird durch die aus der Wählerkonstruktion sich ergebenden Zehnergruppen von Verbindungsleitungen bedingt. Mit 450 Wählern würde man auskommen, wenn jeder Wähler die Verbindung mit den 10000 Leitungen unmittelbar herstellen könnte, also wenn gewissermaßen nur eine Gruppe vorhanden wäre. Bildet man mehrere kleinere Gruppen, so braucht man mehr Verbindungswege, z. B. bei 20 Gruppen mit 500teiligen Wählern 600 Wege, bei 50 Gruppen mit 200teiligen Wählern 800 usw. In neuzeitlichen Systemen sucht man daher durch geeignete Anordnungen die Zahl der Verbindungen und damit die Zahl der Wähler möglichst herabzusetzen. Der einfachste Weg hierzu ist die Staffe lung, bei der eine größere Zahl von Wählern zu einer Hauptgruppe zusammengefaßt und dann die Vielfachschaltung der Wähler so ausgeführt wird, daß die Wähler einer Untergruppe nur über die ersten 3 oder 4 Kontakte allein Zugang zur nächsten Stufe haben, dagegen die nächsten Ausgänge für zwei oder mehr Untergruppen gemeinsam sind, während die letzten Verbindungswege allen Untergruppen zugeteilt sind. Hierdurch wird eine wesentlich bessere Ausnutzung der Verbindungswege erreicht, so daß die Leistung sich unter Umständen verdoppelt. Es liegt auf der Hand, daß abgesehen von der Staffe lung, die sich bei jeder Anordnung günstig auswirkt, die

Leistung eines Verbindungsleitungs-bündels um so größer wird, je mehr Leitungen in demselben vorhanden sind. Große Leitungsbündel erreicht man am einfachsten dadurch, daß man das Fassungsvermögen der Wähler vergrößert; dieser Weg ist bei den neueren Maschinenwählern beschritten worden. Man braucht dabei allerdings größere und teurere Wähler, deren Zahl jedoch, da gleichzeitig auch die Zahl der Wahlstufen und somit die der Wähler vermindert wird, geringer ist. Die wirtschaftliche Grenze wird durch die von der Wählerkonstruktion bedingten Amtskosten und durch die gleichzeitig im Außen-(Verbindungsleitungs-)netz möglichen Ersparnisse bestimmt. Bei den Schrittwähler-systemen mit 25-kontaktigen Vorwählern sehen wir einen ähnlichen Weg zur Bildung von großen Gruppen beschritten. Eine andere Anordnung besteht darin, daß man zur Bildung großer Gruppen Hilfswähler, sog. Mischwähler, einschaltet, die an die Ausgänge von Wählern angeschlossen werden und die Verbindungen einer größeren Zahl von Wählern der nächsten Stufe zuzuführen vermögen. Diese Einrichtung ist besonders an der Vorwahlstufe viel verwendet, wo II. Vorwähler die Ausgänge der I. Vorwähler einer großen Gruppe von I. Gruppenwählern zuleiten. Auch in den anderen Verbindungsstufen lassen sich Mischwähler verwenden, doch bietet die Forderung, daß dadurch die Suchzeiten der Wähler nicht verlängert werden dürfen, gewisse schaltungstechnische Schwierigkeiten. In den Zuleitungen zur letzten Wahlstufe — den Leitungswählern — sind Mischwähler nicht zu verwenden, da hier eine Trennung nach den einzelnen Hundertgruppen aufrecht erhalten werden muß. Hier laßt sich die Verminderung der Wählerzahl durch Zusammenfassung in große Gruppen nur mit Hilfe von Wählern größeren Fassungsvermögens lösen.

(1610) Speicherung. So wirksam die Schaffung großer Gruppen für die Wirtschaftlichkeit an sich sein kann, so ergeben sich bei der praktischen Durchführung doch Schwierigkeiten. Bei den gewöhnlichen Systemen mit 100-teiligen Wählern und Zehnergruppen werden die Wähler mit Hilfe der 10teiligen Nummernscheibe unmittelbar vom Teilnehmer gesteuert. Dies Verfahren würde bei größeren Gruppen nur mit Hilfe von Nummernscheiben mit mehr als 10 Ziffern durchführbar sein, was für die Numerierung und den Betrieb wieder Unzuträglichkeiten mit sich bringt. Man hat daher bei den Großgruppensystemen die 10teilige Scheibe beibehalten und sich dadurch geholfen, daß man die vom Teilnehmer entsandten Stromstöße zunächst in einer besonderen Vorrichtung aufspeicherte und sie dann in abgeänderter Form zur Einstellung der großen Wähler wieder aussandte. Diese Einrichtungen — Speicher, Umrechner, Register oder Sender genannt — setzen naturgemäß die Wirtschaftlichkeit des Systems wieder herab, zumal sie meistens ziemlich verwickelt sind und besonders geschultes Personal für die Instandhaltung erfordern. Allerdings können solche Aufspeicherer und Umrechner nebenher noch mancherlei Vorteile mit sich bringen, indem sie z. B. in großen Netzen eine größere Beweglichkeit in der ganzen Netzanlage, die Beibehaltung von Amtsnamen an Stelle der Buchstaben- und Ziffernkennzeichnung, besondere Zählweisen, fortgesetztes Suchen bei besetzten Ausgängen u. a. m. ermöglichen. Einzelne dieser Vorteile hat man z. B. in London für so wichtig gehalten, daß man für das dortige Netz trotz der Verwendung des Schrittwählersystems mit 100teiligen Wählern besondere Aufspeicherer vorgesehen hat. Diese Einrichtung wird als Strowger-Director-System bezeichnet.

(1611) Getrennte Einstell- und Sprechwege. Außer den beiden bereits gekennzeichneten Systemausführungen — mit unmittelbarer Durchwahl von Teilnehmer zu Teilnehmer und mit Aufspeicherung der Stromstöße — gibt es noch eine dritte: mit getrennten Einstell- und Sprechwegen. Bei diesen Systemen werden die Verbindungen auf einem Nebenwege vorbereitet. Die in diesem verwendeten Wähler können sehr einfach sein, da sie keine Sprechwege führen; ferner werden nur soviel Einstellwähler gebraucht, als gleichzeitig in Benutzung sein können (2 oder 3 für die Hundertgruppe). Die eingestellten Verbindungen werden dann durch andere Wähler oder Relaischaltungen aufrecht

erhalten, während die Einstellwähler wieder ausgeschaltet werden. Ein System dieser Art ist u. a. das vorher erwähnte Relaisystem. Sonst haben diese Anordnungen noch keine größere Verbreitung erlangt.

(1612) Die halb selbsttätigen Systeme, bei denen die Verbindungen durch Beamtinnen mit Hilfe von Zahlengebern (Maschinen-, Drehwähler-, Relaiszahlgeber) eingestellt werden, haben als selbständige Betriebsform keinen festen Fuß gefaßt, werden aber als Hilfsmaßnahme, z. B. im Verbindungsleitungsverkehr von Handämtern nach SA-Ämtern, sowie bei der Überleitung zum voll selbsttätigen Betrieb, vielfach verwendet.

(1613) Fernämter. Für die Einrichtung der Fernämter kommen vorzugsweise Vielfachumschalter mit breiterer Tischplatte (Schreibfläche) in Betracht; das Klinkenfeld hat 3 Abteilungen: für die Verbindungsleitungen zum Ortsamt, für die Dienstleitungen zu den anderen Fernplätzen und für die Vielfachschaltung der Fernleitungen. In neuerer Zeit macht sich in verstärktem Maße das Bestreben bemerkbar, durch geeignete technische Vorkehrungen die Wirtschaftlichkeit des Fernverkehrs zu erhöhen. Ein Weg ist hierfür durch die grundsätzliche Trennung des kleinen Fernverkehrs (bis etwa 100 km) von dem großen gegeben. Für den kleinen Verkehr ist die schnelle Ausführung der Durchgangsverbindungen von Bedeutung, die sich durch optische Besetztanzeige (mit kleinen Schauzeichen) im Fernvielfachfeld wesentlich verbessern läßt. Für die großen Leitungen kann es häufig zweckmäßig sein, besondere Durchgangsschranke einzurichten, um die Vielfachführung dieser Leitungen zu ersparen und die Ausführung der Verbindungen zu erleichtern. Wo die Zahl der Leitungen eine Trennung in ankommenden und abgehenden Verkehr ermöglicht, trägt die Einrichtung, die ankommenden Leitungen im Ortsamt endigen zu lassen, wesentlich zur Beschleunigung des Verkehrs und zur Verminderung der Bedienungskosten bei. Die in größeren Anlagen nicht immer zu umgehende Einrichtung von besonderen Arbeitsplätzen für die Bedienung der vom Fernamt zum Ortsamt gehenden Verbindungsleitungen (Vorschaltleitungen) beeinflusst allgemein die Wirtschaftlichkeit des Fernverkehrs ungünstig. Bei kleineren Ämtern (bis etwa 3000 Leitungen) kann man solche Plätze ersparen, indem man das Teilnehmervielfachfeld über die Fernschranke hinwegführt. Noch günstiger liegen die Verhältnisse beim SA-Betrieb, wo die Fernbeamtin mit Hilfe der Nummernscheibe die Teilnehmer selbst heranziehen kann. Besondere — sowohl für den Ortsverkehr oder auch für den Fernverkehr eingerichtete — Leitungswähler ermöglichen hierbei die Vorbereitung der Fernverbindung und Trennung der Ortsverbindung vom Fernamt aus. Bei geeigneter Netzanlage kann es im kleinen Fernverkehr auch von Vorteil sein, vom Ursprungsamt aus unmittelbar den Teilnehmer eines fernen Amtes zu wählen. Da hierbei die Mitbenutzung der Erde zu Schwierigkeiten führen kann und meistens auch die Fernleitungen durch Übertrager abgeschlossen sind, so wird für die Wahlströme zweckmäßig Wechselstrom benutzt.

Bei Ämtern mit geringem Durchgangsverkehr kann man von der Verwendung von Vielfachumschaltern absehen und einfache Tische für die Fernplätze vorsehen. Der Durchgangsverkehr wird dann grundsätzlich über besondere Durchgangsschranke geleitet, während der Ortsverbindungs- und Dienstleitungsverkehr über Wähler geleitet wird, die vom Fernplatz mit Hilfe der Nummernscheibe gesteuert werden.

Große Bedeutung haben in den Fernämtern die mechanischen Fördereinrichtungen für die Gesprächszettel erlangt, die eine schnellere Abwicklung des Verkehrs und Verminderung der Bedienungsarbeit ermöglichen. Vorzugsweise werden Flachrohrposten verwendet, durch die die Zettel von einer zentralen Rohrpostverteilungsstelle den einzelnen Fernplätzen zugeführt werden. Zur Zettelbeförderung von den Meldeplätzen zur Rohrpostverteilung haben sich Förderbänder gut bewährt. Es ist auch vorgeschlagen worden, für die Zuführung der Zettel von der Verteilungsstelle zu den Schränken Förderbänder oder Seilposten zu verwenden, doch zeigen die bisherigen Versuche noch nicht durch-

weg befriedigende Ergebnisse. Erstrebenswert ist die Schaffung möglichst einfacher Förderanlagen, die auch bei kleineren Fernämtern wirtschaftliche Vorteile versprechen.

Verstärkertechnik.

I. Anforderungen an Verstärkerröhren im Fernsprechweitverkehr.

(1614) Allgemeines. Die Erfindung und weitere Entwicklung der Hochvakuum-Elektronenröhre mit Gittersteuerung hat dem Fernsprechweitverkehr neue Bahnen gewiesen. Während man vor dieser Erfindung angewiesen war auf Sprechapparate mit höherer Betriebsspannung (Starkstrommikrophone) und auf die wenig zuverlässigen mechanischen Verstärker, die aus der Verbindung eines fernhörerähnlichen Aufnahmeapparates und eines Mikrophons als Erzeuger der verstärkten Ströme bestanden, brachte die Elektronenröhre einen Verstärker, der ohne mechanische Massenbewegung trägheitslos, im Betriebe zuverlässig arbeitet und dessen Eigenschaften den Bedürfnissen des Fernsprechbetriebs angepaßt werden können.

(1615) Die Anforderungen an Verstärkerröhren, die der Fernsprechbetrieb stellt, sind folgende:

1. Unverzerrte Übertragung. Die Verstärkerröhre muß die größten in Fernsprechleitungen vorkommenden Ströme unverzerrt übertragen, d. h. der Anstieg des Anodenstroms in Abhängigkeit von der Gitterspannung muß in einem genügend weiten Bereich proportional mit der Gitterspannung erfolgen; dabei muß der Arbeitsbereich in einem Gebiet, in dem kein nennenswerter Gitterstrom vorhanden ist, also ganz im Bereich negativer Gitterspannung liegen. Gitterstrom bedeutet eine von seiner Größe abhängige wechselnde Belastung des Vorübertragers (d. h. mit dem Gitter verbundenen Übertragers). Wird der Proportionalbereich der Anodenstrom-Gitterspannungskennlinie durch die zu verstärkenden Sprechströme überschritten, so wird die Röhre überschrien. Es macht sich eine Verzerrung der Sprache bemerkbar, die sich durch das Auftreten von Nebentönen kennzeichnet. Die maximale Leistung, die ein Sprechapparat herzugeben vermag, ist etwa 2 mW. Am Anfang einer Leitung mit dem Wellenwiderstand 1600 Ω wird somit eine Spannung 1,8 V wirksam sein. Am Eingangsübertrager der Verstärker, die an Stellen der Leitungen eingeschaltet werden, an denen die Sprechleistungen bereits eine Dämpfung erfahren haben, z. B. am Ende einer Leitungstrecke mit der Dämpfungszahl $b = 1,5$, werden im ungünstigsten Falle Spannungen wirksam sein in der Größenordnung von 0,3 bis 0,4 V. Auf das Gitter der Röhre wirkt diese Spannung mit einem Betrage, der von dem Übersetzungsverhältnis des Übertragers abhängt. Bei einem Übersetzungsverhältnis von 1 : 20 des Vorübertragers werden somit Effektivspannungen von 7 bis 8 V wirksam sein. Der Proportionalitätsbereich der Kennlinie (Anodenstrom in Abhängigkeit von der Gitterspannung) muß sich also über einen Bereich der Gitterspannung von 16 V im ungünstigsten Fall erstrecken.

2. Gasfreiheit ist die zweite Forderung, die an Verstärkerröhren für den Fernsprechverkehr zu stellen ist; es muß verhindert werden, daß auch im Bereich negativer Gittervorspannung Gitterströme auftreten, die eine Belastung des Vorübertragers bedeuten. In Deutschland wird gefordert, daß der positive Gitterstrom (Ionenstrom) bei einer negativen Gitterspannung von -2 V nicht stärker als $5 \cdot 10^{-7}$ A sein soll. Von englischen Verstärkerröhren (valve thermionic Nr. 25) wird gefordert, daß der positive Gitterstrom (reverse gridcurrent) bei einer negativen Gitterspannung von -5 V und bei sonstigen normalen Betriebsbedingungen den Wert $2,5 \cdot 10^{-7}$ A nicht übersteigt. Dies entspricht einem Gasfaktor (nach Barkhausen) von etwa $4 \cdot 10^{-5}$.

3. Die Lebensdauer der Verstärkerröhren muß möglichst groß, der Verbrauch von Heizstrom gering sein. Aus diesem Grunde werden Oxydröhren und Thoriumröhren bevorzugt.

4. Der Verstärkungsgrad muß in weiten Grenzen unabhängig von Änderungen des Heizstroms, der Anodenspannung und der Gitterspannung sein. In Deutschland wird gefordert, daß die Verstärkungsziffer durch ein Absinken des Heizstroms von 1,1 auf 1,0 A (d. i. 10 vH Änderung) sich um nicht mehr als $s = 0,08$ (in negativen Dämpfungseinheiten gemessen) ändert. In England fordert man, daß die Verstärkungsziffer bei einer Änderung der Fadenspannung von 4,8 auf 4,0 V (d. i. 16 vH Änderung) sich nicht mehr als um eine Standardmeile ($s = 0,106$) ändert.

Im Fernleitungsbetrieb für den Sprechbetrieb werden gegenwärtig folgende Röhren verwendet:

Land	Röhrenbezeichnung	Heizstrom	Heizspannung	Anodenspannung	Gitterspannung
Deutschland	BO (Oxyd)	1,1 A	2,4 bis 1,6 V	220 V	- 6 V
England	Valve thermionic 25 (Thoriumröhre)	0,85 bis 0,78 A	4,5 V	150 V	- 8 V
Amerika (Western El. Co.)	101 DW-tube	1,0 A	5,0 bis 3,9 V	130 V	- 9 V
	208 A	1,3 A	5,5 bis 7,0 V	130 V	- 4,5 V

Land	Durchgriff	Steilheit	Innerer Widerstand	abgebare Leistg.
Deutschland	6-8 vH	$6-7 \cdot 10^{-4} \text{ A/V}$	27000 bis 33000 Ω	90 mW
England	$\frac{1}{D} \cong 5, D \cong 20 \text{ vH}$	$7 \cdot 10^{-4} \text{ A/V}$	$6300 \Omega \pm 12,5 \text{ vH}$	} etwa 150 mW
Amerika (Western El. Co.)	$\frac{1}{D} = 5,9, D = \sim 17 \text{ vH}$	$1,0-1,4 \cdot 10^{-3} \text{ A/V}$	4000 - 5500 Ω	

(1616) Die Verstärkungsziffer wird in der Fernsprechverstärkertechnik in denselben Einheiten gemessen, in denen man die Dämpfung von Strom und Spannung auf einer Leitung mißt. Die Verstärkungsziffer ist dann gleich einer negativen Dämpfungszahl. Wird der Verstärker zwischen zwei lange Leitungen ($b \cong 2,0$) mit dem Wellenwiderstand Z und den Dämpfungszahlen b_1 und b_2 geschaltet, so ist die tatsächliche Dämpfung des ganzen Systems = $b_1 + b_2 - s$. Die Verstärkungsziffer würde sich bei einem Vergleich der Dämpfungszahl des Systems ohne den Verstärker mit der Dämpfungszahl des Systems nach Einschaltung des Verstärkers als Differenz der beiden Dämpfungszahlen ergeben. Diese Verstärkungsziffer ist gleich der natürlichen Verstärkungsziffer (bei vollkommener Anpassung des Verstärkers an die beiden Leitungen) vermindert um die Reflexionsverluste durch mangelnde Anpassung an die beiden Leitungen.

Da der Wellenwiderstand der im praktischen Betriebe verwendeten Leitungen frequenzabhängig ist, müßten für die Messung der betriebsmäßigen Verstärkungsziffer entweder natürliche Leitungen benutzt werden oder Kunstleitungen, deren Wellenwiderstand denselben Frequenzgang hat, wie die natürlichen Leitungen. Dies wird durch das von B. Pohlmann (S & H) angegebene, von H. Schulz weiter ausgebaut Verfahren vermieden, das in (1051) beschrieben wird.

Die Theorie des Verstärkers als Leitungselement wird von Breisig in seinem Buch über „Theoretische Telegraphie“ auf S. 393 eingehend behandelt.

II. Verstärkerschaltungen¹⁾.

(1617) Verschiedene Schaltungen. Der Verstärker in seiner einfachen Form, in der er die ihm zufließenden schwachen Ströme und Spannungen vermöge der Gittersteuerung an den Anodenkreis und weiter an den daran angeschlossenen Stromkreis verstärkt weitergibt, ist für den Sprechverkehr in Leitungen nicht ohne weiteres verwendbar, weil dieser die Möglichkeit eines Hin- und Hersprechens verlangt, wie es bei der unmittelbaren Unterhaltung zweier Personen der Fall ist. Diese Forderung führt zu Sonderschaltungen, deren Ausführbarkeit im wesentlichen durch die Eigenschaft der Verstärkerröhre behindert wird, bei einer ausreichenden und geeigneten Kopplung des Anodenkreises mit dem Gitterkreis als Generator kontinuierlicher Schwingungen zu wirken. Solche Rückkopplungserschneinungen müssen in betriebsmäßigen Verstärkerschaltungen unbedingt vermieden werden. Dies wird erreicht einmal durch Brücken- oder Differential-schaltungen und ferner durch Schaltweisen, bei denen die Sprache selbst die Verstärker in der gewünschten Richtung einschaltet, die nicht gewollte Verstärkerichtung dagegen unwirksam macht. Die größte Bedeutung hat die erstgenannte Gruppe der Schaltungen erreicht.

(1618) Der zweiwegige Einröhrenzwischenverstärker (Abb. 968) stellt die einfachste Schaltung dar. Die Erstwicklung des Vorübertragers U_e des Verstärkers V

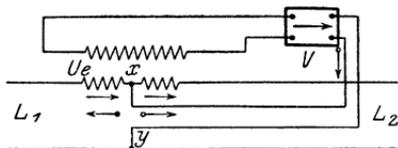


Abb. 968 Der zweiwegige Einröhren-zwischenverstärker.

ist symmetrisch unterteilt; der verstärkte Strom wird auf die beiden Leitungsabschnitte L_1 und L_2 in den Symmetriepunkten x und y übertragen. Sind die beiden Stromteile des verstärkten Stroms nach L_1 und L_2 hin nach Betrag und Phase für das Frequenzband, in dem der Verstärker wirksam ist, einander gleich, so wird die Rückkopplung ver-

mieden, die sich im Eigentönen des Verstärkers kennzeichnen würde. Die Schaltung setzt also voraus, daß die Scheinwiderstände der Leitungsabschnitte L_1 und L_2 für den Bereich des Frequenzbandes, in dem der Verstärker wirksam ist, für jede Frequenz miteinander nach Betrag und Phase übereinstimmen. Diese Bedingung wird erfüllt von langen oberirdischen Leitungen ($b \cong 2$) ohne Spulenbelastung, von langen unterirdischen oder unterseeischen unbelasteten oder nach dem Krarupschen Verfahren mit Induktivität gleichmäßig belasteten Leitungen mit kilometrisch gleichen Werten des Widerstandes, der Kapazität und der Induktivität. Mit Spulen belastete Leitungen erfüllen diese Bedingung, wenn die Anlaufängen beiderseits der Verstärker gleich groß sind und wenn im übrigen die kilometrischen Werte des Widerstandes, der Kapazität und der Induktivität, sowie der Spulenabstände beiderseits des Verstärkers gleich sind. Die Verstärkungsziffer wird sowohl durch die Verluste beim Empfang der zu verstärkenden Ströme als auch bei der Abgabe der verstärkten Ströme etwa um 1,0 herabgesetzt, also von etwa 3,0 auf 2,0. Ein wesentlicher Nachteil der Schaltung besteht darin, daß der verstärkte Strom auch in die Leitung weitergegeben wird, aus der die zugehörigen unverstärkten Ströme kommen. Abgesehen davon, daß diese Eigentümlichkeit zur Geräuschverstärkung beiträgt, wird dadurch auch die Hintereinanderschaltung mehrerer Verstärker in eine Leitung erschwert. In unterirdischen Leitungen mit erhöhter Induktivität, in denen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit infolge der größeren Kapazität und Induktivität erheblich geringer ist als in Freileitungen, würde sich

¹⁾ Vgl. auch „Das Fernsprechen im Weitverkehr“. Deutsche Beiträge zur Frage des europäischen Fernsprechnetzes. Zusammengestellt im RPM Berlin im November 1923 (Einzelveröffentlichungen in der ETZ 1924): Entwicklung und gegenwärtiger Stand der Verstärkertechnik in Deutschland von K. H ö p f n e r, ferner: Sprachübertragung in langen Fernkabelleitungen von K. H ö p f n e r und B. P o h l m a n n.

der Rückfluß der verstärkten Ströme als Echo störend bemerkbar machen und die Reichweite der Leitungen erheblich herabsetzen. Endlich erleichtert der Rückfluß der verstärkten Ströme die Rückkopplung zwischen den Verstärkern in einer Leitung und beschränkt damit die Anwendbarkeit der Schaltung weiter.

(1619) Der Zweiröhrenzwischenverstärker vermeidet die Nachteile der Einrohrenschtaltung. Hierbei wird für jede Richtung eine Verstärkerröhre benutzt,

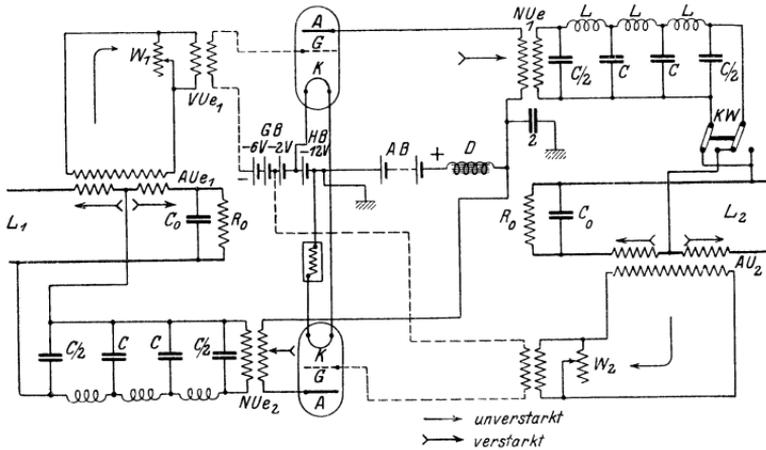


Abb. 969. Der Zweiröhrenzwischenverstärker, deutsches Muster.

Abb. 969 zeigt die in Deutschland gebräuchliche Schaltung, Abb. 970 die von der Western El.Co. bevorzugte¹⁾. Ihre wesentlichsten Merkmale sind die Verwendung zweier Differentialschaltungen und der Ausgleich hierin durch künst-

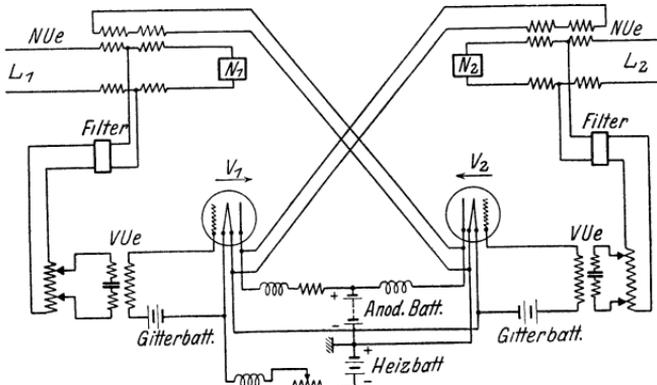


Abb. 970. Der Zweiröhrenzwischenverstärker der Western El. Co.

liche Leitungen (Leitungsnachbildungen). Der aus der Leitung 1 kommende schwache Strom wird von der Röhre 1 verstärkt und auf die Leitung 2 und deren Nachbildung übertragen. Umgekehrt überträgt die Röhre 2 aus der Leitung 2 in die Leitung 1. Die deutsche und die amerikanische Schaltung unterscheiden

¹⁾ Gherardi und Jewett: „Telephone Repeaters“. Transactions A. I. E. E. 1919, Bd. 28, Teil 2, S. 1287.

sich im wesentlichen nur durch die Vertauschung der Symmetriepunkte in ihrer Lage zu der Eingangs- und Ausgangsseite der Verstärker. In beiden Schaltungsarten ist wesentlich, daß die Scheinwiderstände der Leitungsnachbildungen und zugehörigen Leitungen für den Bereich des Frequenzbandes, in dem die Verstärker wirksam sind, möglichst gut übereinstimmen. Je besser die Übereinstimmung, um so größer die erreichbare Verstärkungsziffer.

(1620) Pfeifgrenze. Zwischen dem Grad der Übereinstimmung von Leitung und Nachbildung und der erreichbaren Verstärkungsziffer besteht folgende Beziehung

$$e^s = \frac{P}{\sqrt{\mathcal{A}_1 \cdot \mathcal{A}_2}},$$

worin s die Verstärkungsziffer bedeutet, bei der die Pfeifgrenze erreicht ist, \mathcal{A}_1 und \mathcal{A}_2 die relativen Nachbildungsfehler bedeuten. P ist eine Ziffer, die von der Art der Schaltung abhängt. Deutschmann hat sie zu 1,9 ermittelt.

\mathcal{A} ist gleich $\left| \frac{3 - \Re}{3 + \Re} \right|$ 2; hierin bedeuten 3 und \Re die Scheinwiderstände der Leitung und ihrer Nachbildung¹⁾. Sind \mathcal{A}_1 und \mathcal{A}_2 z. B. = 0,1, so ist $s = \log$ nat 19 = 2,94. Wenn also die Verstärkungsziffer bei der Übertragung von L_1 nach L_2 und von L_2 nach L_1 auf den Wert 2,94 gesteigert wird, ist bei einem relativen Nachbildungsfehler von 0,1 die Pfeifgrenze erreicht. Im praktischen Betrieb soll man mindestens um etwa 0,4 unterhalb der Pfeifgrenze bleiben, um Sprachverzerrungen, die durch die Neigung zum Eigentönen entstehen können, zu vermeiden.

Auch in den Zweiröhrenzwischenverstärkern selbst kann die Gefahr einer Rückkopplung bestehen. Das CCI²⁾ in Paris empfiehlt daher, zu fordern, daß der Verstärker nicht pfeifen darf, wenn die eine Differentialschaltung leitungs- und nachbildungsseitig durch genau gleiche induktionsfreie Widerstände abgeschlossen wird, deren Wert gleich dem Scheinwiderstand ist, für den der Verstärker berechnet ist, wenn die andere Differentialschaltung leitungsseitig geöffnet und nachbildungsseitig kurzgeschlossen wird oder umgekehrt.

(1621) Verluste. Die Differentialschaltungen verringern ebenso wie bei der zweiwegigen Einröhrenschaltung durch die Verluste, die in ihnen sowohl bei der Aufnahme der unverstärkten Energie als auch bei der Abgabe der verstärkten Energie entstehen, die Verstärkungsziffer um zusammen etwa 1,1, so daß die wirksame Verstärkungsziffer einer Röhre für jede Richtung von etwa 3,4 auf 2,3 herabgesetzt wird. Im allgemeinen kann in Leitungen mit gleichmäßig verteilten Eigenschaften (gewöhnliche Freileitungen, Krarupleitungen, gewöhnliche Kabel) mit einer solchen Verstärkungsziffer gerechnet werden. Gelegentlich kann in solchen Leitungen, wenn die relativen Nachbildungsfehler kleiner als 10 vH sind, auch mit größerer Verstärkungsziffer gearbeitet werden, was aber in der Regel nur mit Stufenschaltung je zweier Röhren für jede Sprechrichtung erreichbar ist. In Leitungen mit punktweise verteilter Induktivität (Pupinleitungen), in denen man mit relativen Nachbildungsfehlern, die größer als 8 vH sind, rechnen muß, ist die erreichbare Verstärkungsziffer geringer.

Wesentlich verwickelter werden die Vorgänge, wenn mehrere Verstärker in eine Leitung eingeschaltet werden. Dann entstehen um so mehr Rückkopplungswege, je mehr Verstärker im Zuge einer Leitung liegen (Abb. 971).

Zunächst sind die beiden Rückkopplungswege innerhalb jeder einzelnen Schaltung vorhanden:

¹⁾ Vgl. Leitungsnachbildungen in der Fernsprech- u. Telegraphentechnik von F. L u s c h e n und K. K u p f m u l l e r: Wiss. Veröffentlichungen aus dem Siemenskonzern 2. Bd., S. 411 und Z. Fernmeldetechn., Werk- und Gerätebau 1925, Heft 3; D e u t s c h m a n n: Über den Zusammenhang zwischen Abgleichfehlern und Selbsterregungsgrenze bei Doppelrohrzwischenverstärkern.

²⁾ Comité Consultatif International des Communications téléphoniques à grande distance.

1. 1 über V_1 , 2, V_2 nach 1; ferner 2. 3 über V_3 , 4, V_4 nach 3.

Dann bildet sich 3. der Rückkopplungsweg aus:

1 über V_1 , 2, L_2 , 3, V_3 , 4, V_4 , L_2 , 2, V_2 nach 1.

Die Rückkopplung auf den Wegen 1 und 3 wird durch das Zusammenwirken der Übergänge bei 2 und 4 verstärkt, so daß zwischen s und den relativen Nachbildungsfehlern \mathcal{A}_1 , \mathcal{A}_2 , \mathcal{A}_4 sich folgende Beziehung errechnen läßt:

$$e^s = \frac{1,9}{\sqrt{\mathcal{A}_1 (\mathcal{A}_2 + \mathcal{A}_4)}},$$

desgleichen für die Rückkopplungswege 2 und 3

$$e^s = \frac{1,9}{\sqrt{\mathcal{A}_4 (\mathcal{A}_1 + \mathcal{A}_3)}}.$$

Diesen Beziehungen ist allgemein zu entnehmen, daß durch die Einschaltung mehrerer Verstärker in eine Leitung die Verstärkungsziffer jedes einzelnen Verstärkers um so mehr herabgesetzt wird, je mehr Verstärker eingeschaltet werden.

Die oben angegebenen Formeln enthalten eine wesentliche Vernachlässigung; sie sind unter der Annahme aufgestellt worden, daß die Rückkopplungsströme auf dem Weg 1 und 3 phasengleich sind und arithmetisch addiert werden können. Tatsächlich darf nur eine vektorielle Addition erfolgen, so daß die obigen Formeln nur Extremwerte darstellen; sie kennzeichnen aber das Verhalten mehrerer Verstärker des Zweiröhrenmusters in einer Leitung. Die Herabsetzung der Verstärkungsziffer jedes einzelnen Verstärkers bei Zunahme der Zahl der Verstärker ist der wesentlichste Grund für die in der Praxis beobachtete Beschränkung der Zweiröhrenzwischenverstärker auf 5 oder 6 in Pulinleitungen. In glatten Leitungen ermöglicht die bessere Nachbildungsfähigkeit jedoch die Hintereinschaltung einer größeren Zahl von Verstärkern¹⁾.

Die obigen Formeln sind unter der weiteren Annahme aufgestellt, daß die Verstärker in gleichmäßigen Abständen von $b = s$ über die Leitung verteilt werden. Ist $s > b$, so kommt noch eine weitere Erhöhung der Rückkopplungsgefahr hinzu. Im allgemeinen soll man vermeiden, die Verstärkungsziffer der einzelnen Verstärker über die Dämpfungszahl der End- und Zwischenstrecken zu treiben. Die Vorgänge in einer Leitung mit mehreren Zweidrahtzwischenverstärkern werden von R. Feldtkeller in zwei Veröffentlichungen über Rückkopplungsverzerrungen eingehend behandelt²⁾.

Die obigen Formeln sind unter der weiteren Annahme aufgestellt, daß die Verstärker in gleichmäßigen Abständen von $b = s$ über die Leitung verteilt werden. Ist $s > b$, so kommt noch eine weitere Erhöhung der Rückkopplungsgefahr hinzu. Im allgemeinen soll man vermeiden, die Verstärkungsziffer der einzelnen Verstärker über die Dämpfungszahl der End- und Zwischenstrecken zu treiben. Die Vorgänge in einer Leitung mit mehreren Zweidrahtzwischenverstärkern werden von R. Feldtkeller in zwei Veröffentlichungen über Rückkopplungsverzerrungen eingehend behandelt²⁾.

(1622) Sprachfrequenzen. Für eine kommerzielle Verständigung genügt es, ein Frequenzband von 300 Hertz bis mindestens 2000 Hertz zu übertragen. Für den Bereich dieses Frequenzbandes braucht also nur die Übereinstimmung zwischen Leitungsnachbildung und Leitung herbeigeführt zu werden. Die Aufgabe, eine gute Nachbildung zu finden, kann daher dadurch wesentlich erleichtert werden, daß man den Verstärker oberhalb 2000 Hertz in seiner Verstärkungsziffer beschränkt. Das geschieht durch Einschalten einer Spulenkette mit einer Grenzfrequenz, die etwas oberhalb 2000 Hertz liegt, etwa bei 2300 Hertz,

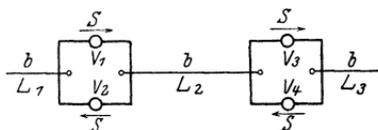


Abb 971. Rückkopplungswege

¹⁾ Some very long telephone circuits of the Bell System von H. H. Nance A. T. and T. Co. in „The Bell System Technical Journal“ Bd. 3, Nr. 3, Juli 1924. — Weitverkehr im deutschen Fernkabelnetz von K. H ö p f n e r in der Zeitschrift „Das Fernkabel“ Nr. 5, S. 27, März 1924.

²⁾ Feldtkeller, R. Die Berechnung der Rückkopplungsverzerrungen bei Leitungen mit Zweidrahtzwischenverstärkern TFT Jg. 14, Heft 10, S. 269 und vom gleichen Verfasser, Über die kleinsten Rückkopplungsverzerrungen bei einer Zweidrahtverbindung mit Zweidrahtzwischenverstärkern, TFT Jg. 15, Heft 1, S. 97

in jeden der beiden Sprechwege des Verstärkers. Die Spulenreihe erhält gewöhnlich drei Glieder. Die verminderte Verstärkung oberhalb 2000 Hertz ist besonders notwendig in Pupinleitungen, weil der Scheinwiderstand solcher Leitungen in der Nähe ihrer Grenzfrequenz (gewöhnlich $\omega_0 = 17000$ Hertz) schwer nachzubilden ist, um so mehr, als der Scheinwiderstand in der Nähe der Grenzfrequenz große Unregelmäßigkeiten zeigen kann, die von Ungleichmäßigkeiten in der Spulenausrüstung oder im Kabel herrühren. In Leitungen mit höherer Grenzfrequenz, z. B. in den schwächer belasteten Vierern ($\omega_0 = 21000$ oder $f_0 = 3500$ Hertz), kann natürlich die Grenzfrequenz der Spulenketten höher gesetzt werden, etwa auf 3000 Hertz; dies bietet die Möglichkeit, die bessere Übertragungsfähigkeit solcher Leitungen zum Vorteil der Sprachgüte besser auszunutzen. In Freileitungsverstärkern sind die Spulenketten überhaupt entbehrlich.

Bei Verwendung geeigneter Verstärker genügt es, statt der Spulenketten einfache Spannungsresonanzkreise parallel zur Anodenwicklung der Nachüber-

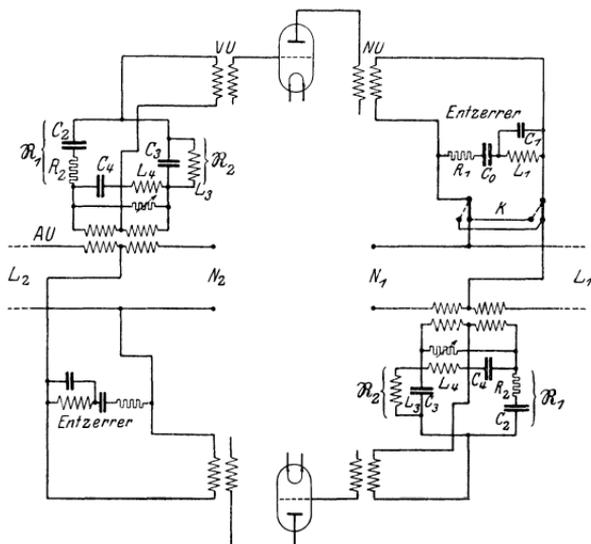


Abb. 972. Doppelbrückenverstärker.

trager zu schalten und die Resonanz dieser Kreise so zu legen, daß der Verstärker in der Grenzfrequenz der Leitung keine Verstärkung zeigt. Voraussetzung ist dabei, daß der Verstärker oberhalb der Resonanzfrequenz keine wesentliche Verstärkungsfähigkeit mehr besitzt.

(1623) Doppelbrückenverstärker. Die A.G. Siemens & Halske hat eine Zweiröhren-Zweidrahtschaltung (Abb. 972) angegeben. Die Wechselstromwiderstände \mathfrak{R}_1 und \mathfrak{R}_2 sind so bemessen, daß sie in dem Bereich des zu übertragenden Frequenzbandes die aus den Leitungen L_1 und L_2 kommenden Sprechströme über die Symmetriepunkte durchlassen, nicht aber die Sprechströme, die oberhalb des Frequenzbandes liegen. Unterstützt wird diese Siebwirkung noch durch die Spannungsresonanzkreise $L_4 - C_4$. Diese Schaltung zeichnet sich durch eine den praktischen Bedürfnissen gut entsprechende Frequenzabhängigkeit der Verstärkungsziffer aus.

Die zweiwegige Zweiröhrenschtaltung hat gegenüber der Einröhrenschtaltung den wesentlichen Vorzug, daß Leitungen beliebiger Art miteinander verbunden werden können und daß die verstärkten Ströme immer nur in einer Richtung

weitergegeben werden; letzteres vermeidet die Fremdverstärkung in dem Leitungsabschnitt, an den der hörende Teilnehmer unmittelbar angeschaltet ist.

(1624) Kopplungswechsler. In sämtlichen Zweidrahtschaltungen des deutschen Musters ist ein Kopplungswechsler K (a/b -Vertauscher, vgl. Abb. 972) vorgesehen, der den Zweck hat, die Phase der etwa vorhandenen Rückkopplung um 180° zu drehen. Es kann nämlich vorkommen, daß nur in einer Stellung des Kopplungswechslers eine Rückkopplung vorhanden ist, die zum hörbaren Eigenton führt. Der Kopplungswechsler dient also nur dazu, festzustellen, ob eine störende Rückkopplung vorhanden ist; er wird nur beim Ermitteln der Leitungsnachbildung benutzt.

(1625) Der Gütegrad der Nachbildung wird bewertet nach dem Verhältnis zweier Widerstände, die auf der einen Seite der Zweidrahtschaltung an Stelle der Leitung und ihrer Nachbildung angeschaltet werden. Je größer der Unterschied zwischen den beiden Widerständen ist, je kleiner also das Verhältnis der beiden Widerstände, z. B. 600:1000, um so besser die Nachbildung.

Die Western El. Co. hat ein anderes Verfahren entwickelt; sie schließt die Leitung am Verstärker kurz und öffnet die Nachbildungsseite. Dann erhöht sie die Verstärkungsziffer bis zur Pfeifgrenze und bewertet die Güte der Nachbildung nach der Größe der zulässigen Verstärkung als Summe der Verstärkungsziffern der beiden Richtungen vermehrt um den Verlust in einer Brücken- oder Differentialverzweigung, d. i. 0,7. Durch den Kurzschluß der Leitung und das Öffnen der Nachbildungsseite werden nämlich beide Röhren hintereinandergeschaltet. Die Prüfmethode des Kopplungswechslers wird hier dadurch ersetzt, daß Kurzschluß und Öffnen miteinander vertauscht werden (negatives oder positives Polen).

(1626) Vierdrahtschaltung. Sollen größere Entfernungen mit dem Fernsprecher überbrückt werden, als mit der Zweiröhren-Zweidrahtschaltung erreichbar ist, so wird die sogenannte Vierdrahtschaltung verwendet. Hierin ist für jede Sprechrichtung eine Sprechleitung vorgesehen, die an geeigneten Unterwegsorten mit einseitig wirkenden Verstärkern ausgerüstet werden kann. Da die Teilnehmerleitungen nur zweidrahtig ausgeführt werden können, müssen an den Enden der Vierdrahtleitung besondere Schaltungen für den Übergang von der Vierdraht- auf die Zweidrahtleitung vorgesehen werden. Der holländische Telegrapheningenieur Van Kesteren schlug vor, die Vierdrahtleitung an den Enden in sich zu schließen und die Zweidrahtleitung daran galvanisch leitend oder induktiv gekoppelt anzuschließen (DRP 283134, 17. XII. 1913) Abb. 973.

Die Pfeifgefahr in der Vierdrahtleitung, in der alle Verstärker im gleichen Sinne wirken, vermeidet Van Kesteren durch entsprechende Bemessung der Summe aller Verstärkungsziffern. Diese muß nämlich etwas kleiner sein als die Summe der Dämpfungszahlen der in der Vierdrahtleitung enthaltenen Einzelstrecken zuzüglich der Verluste, die die Anschaltung der Zweidrahtstrecken an die Vierdrahtleitung mit sich bringt. Ohnesorge (DRP 301772 17. XII. 1915) und später Campbell (USP 1352786) lösten die Aufgabe der Anschaltung der Zweidrahtstrecke anders; sie verbanden die Zweidrahtleitung mit der Vierdrahtleitung durch je eine Brücken- oder Differentialschaltung (Abb. 974). Durch sorgfältige Nachbildung der Zweidrahtleitungen sollte es gelingen, die beiden Sprechwege voneinander zu trennen, so daß man mit beliebiger Verstärkung arbeiten kann. Diesem Ziel ist jedoch eine praktische Grenze durch die Genauigkeit gezogen, mit der Leitungen, besonders Teilnehmerleitungen, nachgebildet werden können. Die Vierdrahtleitung nach Ohnesorge oder Campbell kann

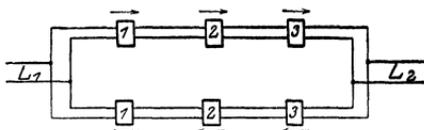


Abb 973. Vierdrahtschaltung nach Van Kesteren.

als ein Zweiröhren-Zweidrahtzwischenverstärker angesehen werden, bei dem die beiden Brücken oder Differentialschaltungen mit je einem Verstärker an die voneinander entfernt liegenden Enden der Leitung gelegt werden und in der der Verstärker auf der einen Seite mit der fernen Brücken- oder Differentialschaltung durch Leitungen verbunden werden kann, die mit Hilfe geeignet eingeschalteter

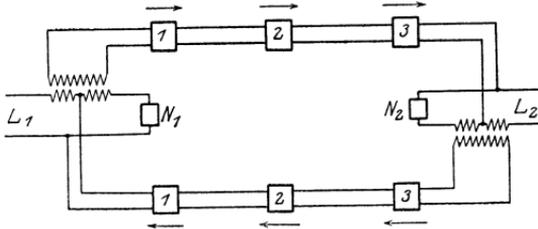


Abb. 974. Vierdrahtschaltung mit Brückenschaltung.

Verstärker dämpfungslos gemacht sind. Hieraus geht hervor, daß die Ringleitung zunächst ganz entdämpft und darüber hinaus eine zusätzliche Verstärkungsziffer erzielt werden kann, wie sie im Zweidrahtbetrieb möglich ist.

(1627) Vergleich der Zwei- und der Vierdrahtschaltung. In der Vierdrahtschaltung arbeiten sämtliche Verstärker, mit Ausnahme der am Ende liegenden, ohne Differentialschaltungen und ohne Leitungsnachbildungen. Die Gefahr der Rückkopplung und der damit zusammenhängenden Sprachverzerrung ist daher viel geringer als in der Zweidrahtschaltung. Die in den Rückkopplungserscheinungen begründete Reichweitenbeschränkung der Zweidrahtschaltung entfällt bei der Vierdrahtschaltung; sie ist also für den Weitverkehr besonders geeignet. Jedoch sind es andere Vorgänge wie Echoerscheinungen, Einschwingvorgänge und Nebensprecherscheinungen, die der Reichweite von Vierdrahtleitungen eine Grenze setzen. Hierüber folgen weiter unten ausführlichere Angaben. Bei einer Untersuchung an Hand von Kostenangaben für Überlandkabel und für Verstärkerkosten läßt sich berechnen, daß die Vierdrahtleitung ein Minimum an Kosten verursacht, wenn hierfür in den Kabeln dünnere Leiter von etwa 0,7 bis 0,9 mm Durchmesser verwendet werden und daß für die Zweidrahtleitung stärkere Leiter von 1,2 bis 1,4 mm Durchmesser vorgesehen werden müssen. Ferner läßt sich an Hand von Kostenberechnungen zeigen, daß die Vierdrahtschaltung in dünnen Leitern weniger Kosten verursacht bei Leitungslängen von mehr als 600 bis 700 km gegenüber einer Zweidrahtschaltung in stärkeren Leitern, abgesehen davon, daß die Reichweitengrenze der Zweidrahtschaltung aus rein technischen Gründen bei $b = 7$ bis 8 liegt, d. i. in den stärkeren Leitern eines Fernkabels bei etwa 700 bis 800 km. Diese Ausführungen zeigen im übrigen auch, inwieweit die Erfindung eines brauchbaren Verstärkers es ermöglicht hat, Fernkabel mit zahlreichen Betriebsstromkreisen für den Weitverkehr zu bauen. Erst der Verstärker in Verbindung mit der Pupinschen Erfindung hat die Grundlage für einen betriebssicheren Fernsprechweitverkehr geschaffen. Oberirdische Leitungen ohne Spulenbelastung werden stets wirtschaftlicher in Zweidrahtleitung betrieben. Die bessere Nachbildfähigkeit dieser Leitungsart gestattet ohnehin die Einschaltung einer größeren Zahl von Verstärkern, wie es die amerikanischen und deutschen Erfahrungen zeigen.

(1628) Umschaltverfahren. Die Gruppe der Verstärkerschaltungen, in denen die Sprechströme selbst Schaltorgane betätigen, die ihrerseits die Verstärker in die gewünschte Richtung umsteuern, haben bisher keine praktische Bedeutung erlangt. Diese Schaltungen, die Leitungsnachbildungen entbehren und die Gefahr der Rückkopplungen vollständig ausschließen, haben den wesentlichen Vorzug, daß die Verstärker in denselben größeren Abständen eingesetzt

werden können wie in Vierdrahtleitungen, ohne daß zwei Doppelleitungen für ein Gespräch beansprucht werden. Sie haben aber alle den wesentlichen Nachteil, daß ein kleiner Teil vom Anfang des Gesprochenen durch die Betätigung der Schaltorgane verloren geht. Aus diesem Grunde verbietet sich die Einschaltung mehrerer sprachgesteuerter Verstärker in eine Leitung. Diese Verstärkerart leidet ferner unter dem Mangel, daß Fremdstörungen die Schaltorgane betätigen können. Es ist aber nicht ausgeschlossen, daß es gelingt, in Kabelleitungen für Sonderschaltungen sprachgesteuerte Verstärker betriebsmäßig zu verwenden. Es gibt bereits Schaltungen, in denen sprachgesteuerte Organe die Aufgabe übernehmen, Sprechwege entgegengesetzter Richtung unwirksam zu machen. Diese Schaltungen werden in dem Abschnitt über Echosperrer behandelt.

III. Leitungsnachbildungen.

(1629) Anforderungen. Eine Leitungsnachbildung muß in ihrem Scheinwiderstand mit der Leitung übereinstimmen, und zwar in dem ganzen Bereich des zu übertragenden Frequenzbandes.

Nachbilden für den Verstärkerbetrieb lassen sich im allgemeinen nur Leitungen von solcher Länge, daß Schaltvorgänge am Ende der Leitung den Scheinwiderstand, vom Anfang aus gemessen, nicht wesentlich beeinflussen.

Eine dritte Forderung allgemeiner Natur besteht darin, daß die nachzubildenden Leitungen homogen sein sollen. Inhomogenitäten bringen mehr oder weniger starke Schwankungen in der Frequenzkurve des Scheinwiderstandes hervor, die sich im allgemeinen nicht nachbilden lassen.

Die Frage der Nachbildung von Leitungen mit stetig verteilter Induktivität (glatten Leitungen) und von Leitungen mit punktweise verteilter Induktivität ist von Ray S. Hoyt ausgiebig behandelt worden^{1), 2)}.

(1630) Nachbildungsschaltungen. Glatte Leitungen lassen sich in erster Annäherung und mit meist ausreichendem Erfolge durch eine Reihenschaltung von Widerstand und Kapazität nachbilden. Der Widerstand ist etwa gleich $\sqrt{L/C}$ zu wählen, die Kapazität gleich $2\sqrt{LC}/R$. Diese Werte lassen sich herleiten aus der allgemeinen Formel $\sqrt{\frac{R + i\omega L}{A + i\omega C}}$, wobei A gegenüber ωC zu vernachlässigen ist und $R/\omega L$ klein ist gegenüber 1. Genauere Nachbildungen, namentlich für tiefere Frequenzen, bei denen auch der Wirkwiderstand einen mit abnehmender Frequenz ansteigenden Frequenzgang zeigt, werden von Hoyt angegeben; sie bestehen aus den verschiedensten Kombinationen von Widerständen und Kondensatoren²⁾.

Leitungen mit überragender Kapazität am Anfang, z. B. in nicht belasteten Stadtkabeln eingeführte Freileitungen, lassen sich in der Regel durch zweimaschige Gebilde aus 2 Widerständen und 2 Kondensatoren nachbilden (Abb. 975). Leitungen dieser Art zeigen sowohl im Wirkwiderstand als auch im Blindwiderstand einen mit der Frequenz fallenden Verlauf, wobei der Blindwiderstand negativ ist. Sind a_1 und a_2 die zu zwei Frequenzen ω_1 und ω_2 gehörigen Wirkwiderstandswerte, b_1 und b_2 die zugehörigen Blindwiderstandswerte, so lassen sich die Zwischenwerte

$$m = \frac{\omega_2 b_1 - \omega_1 b_2}{\omega_2 b_2 - \omega_1 b_1}; \quad \varepsilon = \frac{\omega_2 b_2 - \omega_1 b_1}{a_1 - a_2}$$

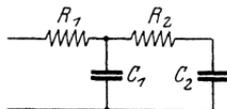


Abb. 975. Nachbildung einer Leitung mit starker Kapazität.

¹⁾ Hoyt, Ray S.: Impedance of smooth lines and Design of Simulating Networks. The Bell System Technical Journal April 1923, Nr. 2, S. 1.

²⁾ Derselbe: Impedance of loaded lines, and Design of Simulating and Compensating Networks. Ebenda Juli 1924, S. 414.

und $\delta = 1 + \frac{(\varepsilon^2 + \omega_1^2)(\varepsilon^2 + \omega_2^2)}{\omega_1 \cdot \omega_2 (\varepsilon^2 m - \omega_1 \cdot \omega_2)}$ berechnen und hieraus

$$\tau_2 = \frac{\delta}{\varepsilon}; \quad \tau_1 = \frac{1}{\tau_2} \cdot \frac{\delta - 1}{a_1 - a_2} \left(\frac{a_2}{\omega_1^2 + \varepsilon^2} \right) - \frac{a_1}{\omega_2^2 + \varepsilon^2}.$$

Nunmehr ergibt sich

$$R_1 = b_2 \cdot \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \omega_2 \cdot \frac{\omega_2^2 + \varepsilon^2}{\omega_2^2 \delta + \varepsilon^2}; \quad C_1 = \frac{\tau_1}{R_1}; \quad C_2 = C_1 (\delta - 1) \quad \text{und} \quad R_2 = \frac{\tau_2}{C_2}.$$

(1631) Pupinleitungen. 1. Frequenzabhängigkeit. Die Nachbildung langer punktweise belasteter Leitungen (Pupinleitungen) bereitet größere Schwierigkeiten, weil der Scheinwiderstand solcher Leitungen im wesentlichen sowohl von der Frequenz des Meßstroms als auch vom Abstand der ersten Spule (vom Meßende aus gesehen) in hohem Maße abhängt. Der Scheinwiderstand einer langen, mit halbem Spulenabstand beginnenden Pupinleitung zeigt eine Frequenzabhängigkeit des Wirkwiderstandes

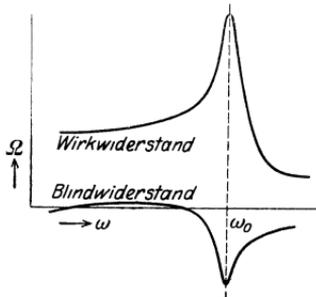


Abb. 976. Frequenzabhängigkeit einer Pupinleitung.

$$Z = \frac{Z}{\sqrt{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}},$$

worin $Z = \sqrt{L/C}$, ω_0 die Grenzfrequenz der Pupinleitung, L und C die kilometrischen Werte von Induktivität und Kapazität bedeuten. In Abb. 976 ist dieser Frequenzgang dargestellt. In der Nähe der Grenzfrequenz steigt der Wirkwiderstand erheblich an, erreicht in der Grenzfrequenz selbst seinen Höchstwert, um oberhalb der Grenzfrequenz wieder abzufallen. Der Blindwiderstand ist unter derselben Voraussetzung

bis nahe an die Grenzfrequenz Null. In der Grenzfrequenz steigt er ebenfalls auf sehr große kapazitive Werte an, um oberhalb der Grenzfrequenz wieder auf kleinere Werte zu sinken. Ganz allgemein wird die Abhängigkeit des Wirk- und des Blindwiderstandes von der Frequenz ω und Anlaufflänge (Abstand der 1. Spule) $x \cdot s$, worin x eine zwischen 0 und 1 liegende Zahl bedeutet, durch die von Ray S. Hoyt (USP 1124904/1915) gefundenen Beziehungen gekennzeichnet.

$$\Re_{\text{Wirkw.}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \frac{1}{1 - 4x(1-x)\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}$$

$$\Re_{\text{Blindw.}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \frac{(1-2x)\frac{\omega}{\omega_0}}{1 - 4x(1-x)\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}.$$

Diese Beziehungen sind in Abhängigkeit von $\frac{\omega}{\omega_0}$ in den Abb. 977 dargestellt.

2. Ausgezeichnete Werte sind die für $x = 0,5$, $x = 0,17$ und $0,83$. Auch $x = 1,0$, wenn eine Spule mit der Hälfte der normalen Leitungsspuleninduktivität vorgeschaltet wird, ist ein ausgezeichneter Wert. Die wesentlichste Bedeutung kommt dem Wert $x = 0,17$ zu. Hierfür ist der Wirkwiderstand bis nahe an die Grenzfrequenz frequenzunabhängig, während der Blindwiderstand induktiver Art ist und mit der Frequenz etwa so ansteigt, wie der Blindwiderstand

einer Parallelschaltung von Induktivität und Kapazität. In diesem Zustand kann die Leitung ausreichend nachgebildet werden durch eine Reihenschaltung eines Widerstands $=\sqrt{L/C}$ und eine Parallelschaltung einer Induktivität $L_0 = 0,33 \cdot L_{sp}$ und $C_0 = x \cdot \frac{1-x}{0,35-x} [C_{km} \cdot s + C_{sp}]$, wenn $x = 0,17$, $C_0 = 0,43 \cdot [C_{km} \cdot s + C_{sp}]$

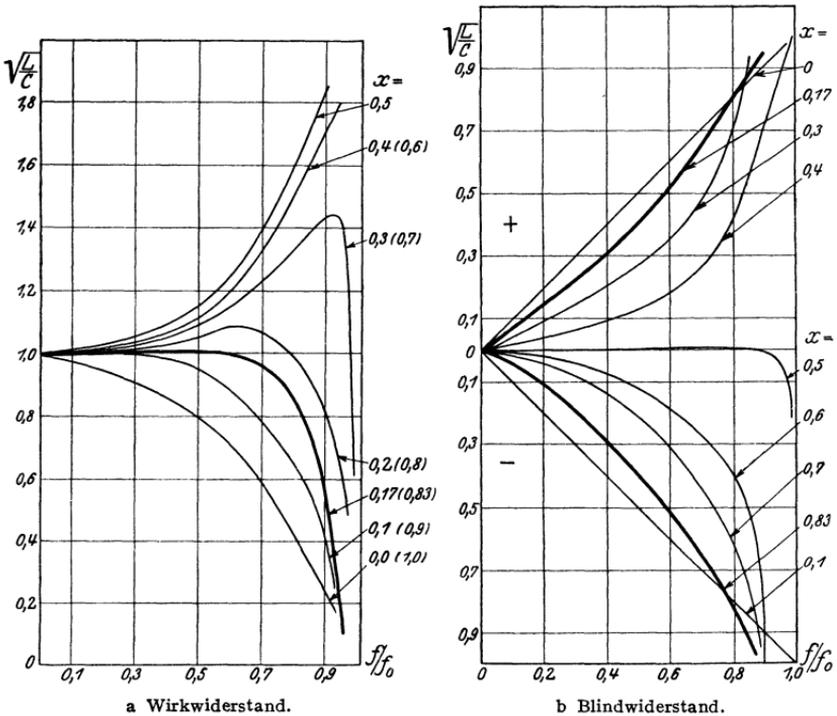


Abb. 977. Wirk- und Blindwiderstand einer Pupinleitung.

(Abb. 978). Ist x größer als 0,17, so wird der eben beschriebenen Nachbildung ein Kondensator K vom Wert $(x - 0,17) \cdot s \cdot C_{km}$ quergeschaltet, genauer eine Nachbildung des nicht belasteten $(x - 0,17) \cdot s$ langen Kabels nach Widerstand und Kapazität vorgeschaltet. Ist x kleiner als 0,17, so wird das Kabel durch einen Querkondensator oder genauer durch ein künstliches, aus Widerständen und Kondensatoren bestehendes Kabel auf 0,17 oder einen anderen gewünschten Wert ergänzt. Der ausgezeichnete Wert 0,83 wird von Küpfmüller (DRP 330964) zu einer Nachbildung benutzt. Hierfür ist der Wirkwiderstand gleichfalls bis nahe an die Grenzfrequenz frequenzunabhängig

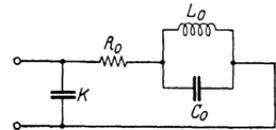


Abb. 978. Hoytsche Leitungsnachbildung.

und gleich $\sqrt{L/C}$, während der Blindwiderstand kapazitiver Art ist und denselben Frequenzgang zeigt, wie bei $x = 0,17$ in induktivem Sinne. Küpfmüller kompensiert nun den kapazitiven Blindwiderstand durch einen Drosselkreis derselben Art, wie er in der Hoytschen Nachbildung zur Nachbildung des Blindwiderstandes benutzt wird, indem er den Drosselkreis mit der Leitung in Reihe

schaltet. Zur Nachbildung der Leitung genügt dann im wesentlichen ein Widerstand $=\sqrt{L/C}$.

Um zu verhindern, daß der Küpfmüllersche Kompensationskreis in den Stammleitungen den Doppelsprechbetrieb stört, werden die Kompensationskreise nach den Angaben von K. Höpfner mit der Drosselspule als Abzweigschaltung

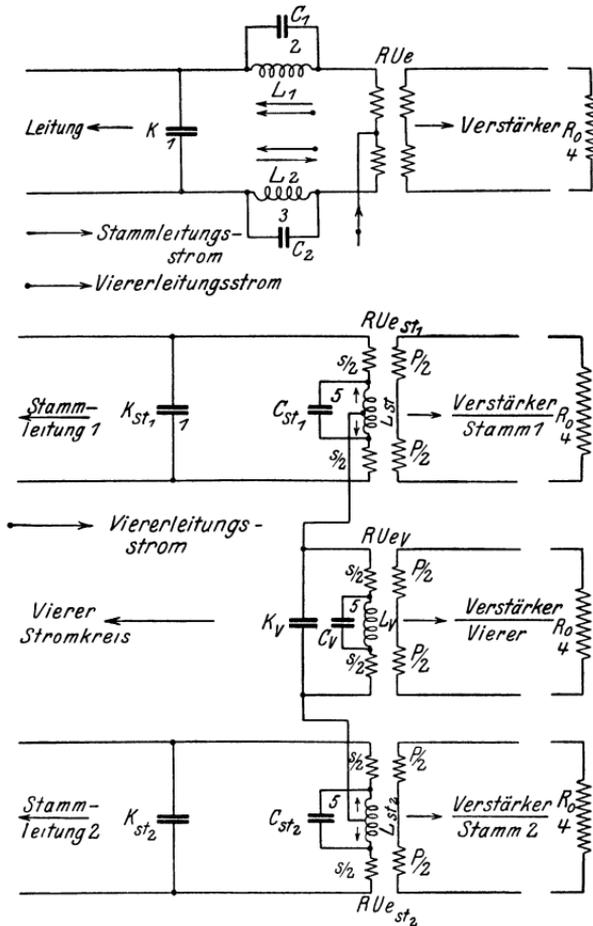


Abb. 979. Umbildung des Scheinwiderstandes von Doppelsprechleitungen nach Höpfner.

die Mittenverbindung der Doppelsprechringübertrager geschaltet. In dieser Anordnung (Abb. 979) sind die Kompensationskreise der Stammleitungen für den Vierer unwirksam (DRP 416022).

3. Spulenketten. Beide Nachbildungen setzen voraus, daß der Zwischenverstärker mit Spulenketten ausgerüstet ist, die seine Verstärkung im Bereich der Grenzfrequenz herabsetzen, und zwar aus dem Grunde, weil der Wirkwiderstand sowohl für $x = 0,17$ und $0,83$ in der Nähe der Grenzfrequenz abfällt und in der Grenzfrequenz selbst auf einen Mindestwert sinkt.

4. Berechnung. In der Praxis haben sich Berechnungsmethoden herausgebildet, die in Anlehnung an die Hoytschen Formeln aus den tatsächlich gemessenen Scheinwiderstandsschaulinien die Nachbildungen zu berechnen gestattet. Die Entwicklung in dieser Richtung ist noch nicht abgeschlossen.

5. Resonanzkreis. Um auch im Bereich der Grenzfrequenz eine bessere Übereinstimmung zwischen Leitung und Nachbildung zu erzielen, hat Hoyt die in Abb. 980 dargestellte Schaltung angegeben. Um den Abfall des Wirkwiderstandes auf Null in der Grenzfrequenz für $x = 0,17$ nachzunehmen, wird dem Widerstand R_0 ein Spannungsresonanzkreis parallel geschaltet, der auf die Grenzfrequenz der Leitung abgestimmt ist. Da diese Anordnung jedoch einen neuen Blindwiderstandsanteil hineinbringt, muß der Drosselkreis anders bemessen werden. Die Werte der einzelnen Elemente der Nachbildung werden nach folgenden Formeln berechnet:

$$\begin{array}{l|l} K = (x = 0,17) s \cdot C_{km} & C_1 = 0,1069 (s C_{km} + C_{sp}) \\ R_0 = \sqrt{L/C} & L_0 = 0,483 L_{sp} \text{ d. Ltg.} \\ L_1 = 2,023 \cdot L_{sp} \text{ d. Ltg.} & C_0 = 0,265 (s \cdot C_{km} + C_{sp}) \end{array}$$

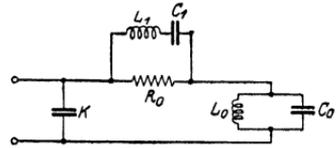


Abb. 980. Resonanzkreis nach Hoyt.

Diese etwas verwickelte und schwer einzustellende genauere Nachbildung macht die Spulenketten in der Verstärkerschaltung entbehrlich.

Auch die Küpfmüllersche Nachbildung kann nach einem von Byk angegebenen Verfahren verbessert werden (vgl. ENT 1925, S. 104). Es besteht darin, daß dem Widerstand der Leitungsnachbildung ein Spannungsresonanzkreis parallel geschaltet wird, dessen Resonanzfrequenz ungefähr mit der Grenzfrequenz der Leitung übereinstimmt. Dadurch soll der Abfall des Wirkwiderstandes in der Grenzfrequenz auf Null nachgeahmt werden. Der Spannungsresonanzkreis bringt wiederum eine neue Blindkomponente, der im Kompensationskreis $L_4 - C_4$ Rechnung getragen werden muß. Nach Byk werden die einzelnen Elemente der Nachbildung wie folgt bemessen (Abb. 981):

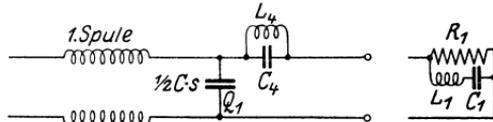


Abb. 981. Leitungsnachbildung von Byk.

$$\begin{array}{l|l} R_1 = \sqrt{\frac{L_{km}}{C_{km}}} & L_4 = 0,240 \cdot L_{sp} \text{ d. Ltg.} \\ C_1 = 0,107 (C_{km} s + C_{sp}) & C_4 = 0,433 C_{km} s + C_{sp} \\ L_1 = 2 \cdot L_{sp} \text{ d. Ltg.} & Q_1 = 0,36 \cdot C \cdot s. \end{array}$$

Weder das Kupfmüllersche Verfahren allein, noch das nach Byk ergänzte haben sich bisher eingebürgert, hauptsächlich, weil aus Gründen der Umschaltbarkeit der Leitungen in einem maschenartig angelegten Fernkabelnetz und ferner wegen der besseren Entzerrung (s. weiter unten) auf Innehaltung einer Anlauf-länge von $s/2$ ($x = 0,5$) Wert gelegt werden muß.

6. Querkondensatoren. Bisher ist im deutschen Fernkabelnetz ein vereinfachtes Nachbildverfahren nach Angaben von K. Höpfner benutzt worden, bei dem die Anlauf-länge der Pulinleitungen durch Zuschalten kleiner Querkondensatoren zur Leitung auf einen ganzen Spulenabstand gebracht wurde. So ergänzte Stammleitungen können durch eine Parallelschaltung von Widerstand und Kapazität mit ausreichender Genauigkeit nachgebildet werden. Vierer mit derselben Ergänzung können durch ein zweimaschiges Gebilde aus zwei Wider-

ständen und zwei Kondensatoren nachgebildet werden. Die Nachbildungen umfassen dann auch die am Anfang der Leitung liegenden Doppelsprechringübertrager, verzerrungsfreien Verlängerungsleitungen und die Zusatzapparate der Rufübertragung (2 Kondensatoren zu $2 \mu\text{F}$ und Rufempfangsrelais).

(1632) Verteilung der Verstärker. Im Zweidrahtbetrieb eines mit Spulen ausgerüsteten Fernkabels kann mit einer Verstärkungsziffer von 1,5 (für 800 Hertz) mit Sicherheit gerechnet werden, im Vierdrahtbetrieb mit 3,0. Da ferner die kilometrischen Dämpfungszahlen im deutschen Fernkabel (1,4 mm und 1,9 mm starken Leitern,) sich wie 1 zu 2 verhalten, sind die Vorbedingungen für eine Normalisierung der Verstärkerverteilung gegeben. In den nur in Zweidrahtschaltung betriebenen 1,4-mm-Leitungen werden in Abständen von 150 km Verstärker eingeschaltet, in 0,9-mm-Leitungen für den Zweidrahtbetrieb in Abständen von 75 km, für den Vierdrahtbetrieb in Abständen von 150 km. Da endlich Stammleitungen und Vierer das gleiche Dämpfungsmaß haben, werden die Verstärker, soweit wie irgend möglich, an bestimmten Punkten des Kabelnetzes

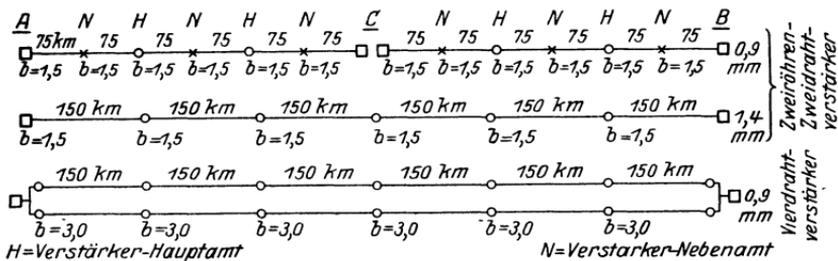


Abb. 982. Verstärkerverteilung im deutschen Fernkabelnetz.

zusammengefaßt. Abb. 982 stellt die Verteilung der Verstärker in dem deutschen Fernkabelnetz dar. Die Rücksicht auf Starkstromversorgung der Verstärkerämter und auf die Wohnverhältnisse des Personals durchbricht naturgemäß die Regelmäßigkeit der Verteilung der Verstärker. Als obere Grenze für die Länge eines Zweidrahtverstärkerfeldes in 0,9-mm-Adern soll jedoch im allgemeinen 80 km gelten, eines Vierdrahtfeldes 160 km. Im deutschen Netz ist die mittlere Länge eines Verstärkerfeldes 72 bzw. 144 km. Da ferner die Dämpfungsmaße in der Praxis um 10 vH kleiner sind, ergibt sich als mittlere Dämpfungszahl für ein Verstärkerfeld 1,3 und 2,6. In oberirdischen, nicht belasteten Leitungen, deren Drahtdurchmesser durch die Vorteile des Verstärkerbetriebes auf 3 mm beschränkt werden konnte, werden die Verstärker in Abständen von 300 km eingeschaltet.

V. Verzerrung und Entzerrung in Verstärkerleitungen.

(1633) Forderungen. Die verzerrungsfreie Wiedergabe der menschlichen Sprache bei der Übertragung über lange, mit Verstärkern ausgerüstete Leitungen, insbesondere über Kabelleitungen mit punktweise verteilter Induktivität ist eine der wesentlichsten Aufgaben der Kabel- und Verstärkertechnik. Von einer kommerziell brauchbaren Sprachübertragung muß verlangt werden, daß alle Frequenzen innerhalb eines Frequenzbandes von 300 bis mindestens 2000 Hertz ($\omega = 2000$ bis $\omega = 13000$) mit gleicher Dämpfung bis zum fernen Ende übertragen werden. Sofern die Grenzfrequenz der Leitung es zuläßt, ist es erwünscht, ein Frequenzband von 300 bis 2500 oder sogar 3000 Hertz zu übertragen. Da das Dämpfungsmaß einer mit Spulen belasteten Leitung von der Frequenz im wesentlichen nach der

Beziehung $\beta = \beta' \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - (\omega/\omega_0)^2}}$ abhängt, worin β' das Dämpfungsmaß einer

glatten Leitung mit stetig verteilter Induktivität bedeutet, so muß von den Verstärkern gefordert werden, daß sie diesem Frequenzgang Rechnung tragen

(1634) **β -Entzerrung.** Diese sogenannte β -Entzerrung kann erreicht werden einmal dadurch, daß die Dämpfungszahl der Leitung durch passende Zusätze von der tiefsten bis zur höchsten zu übertragenden Frequenz auf gleichen Betrag gebracht wird, und daß dann Verstärker benutzt werden, die für diese Frequenzen mit gleicher Verstärkung arbeiten, oder die Verstärker werden nach einem Vorschlag der A.G. Siemens & Halske¹⁾ mit frequenzabhängigen Zusätzen versehen, so daß die Frequenzkurve der Verstärkungsziffer denselben Verlauf nimmt wie die Frequenzkurve der Dämpfungszahl des Verstärkerteldes. Das erstgenannte Verfahren wird von der Western El. Co. angewandt²⁾, das letztere von der deutschen Telegrafverwaltung auf Vorschlag der A.G. Siemens & Halske. Dieses Verfahren ist so weit durchgebildet, daß die Übereinstimmung beider Frequenzkurven mit einer Genauigkeit von $b = \pm 0,1$ erreicht wird. In Leitungen mit besonders schwacher Belastung (25 mH/km) wird sogar eine noch genauere Übereinstimmung erreicht. Dieses günstige Ergebnis wird erzielt durch Querschaltung eines frequenzabhängigen Nebenschlusses in der durch Abb. 983 dargestellten Form.

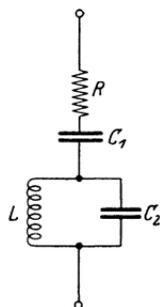


Abb. 983.
Entzerrung nach
Siemens & Halske.

Die Stromresonanz $L - C_2$ wird auf die höchste zu übertragende Frequenz eingestellt. Die Spannungsresonanz $L - C_2 - C_1$ auf die Frequenz, für die der Überschuß an Verstärkung gegenüber der Kabeldämpfung am größten ist. Der Verstärkungskurve ohne den Dämpfungsausgleich wird durch die Resonanzeigentümlichkeit des Vorübertragers außerdem eine mit der Frequenz steigende Tendenz gegeben, und zwar so, daß die Frequenz, für die der Verstärker die größte Verstärkung gibt, möglichst am Ende des zu übertragenden Frequenzbandes liegt.

Neuerdings wird ein Entzerrungsverfahren angewendet, bei dem der Blindwiderstand des Vorübertragers durch Kondensatoren und Selbstinduktionsspulen kompensiert wird (Siemens & Halske, Feldtkeller).

(1635) **Einschwingvorgänge.** In langen Pupinleitungen erfährt die Sprache noch eine andere Art von Verzerrung, auf die zuerst Clark³⁾ hingewiesen hat. Dies sind die stark frequenzabhängigen Einschwingvorgänge, die in dem kettengliedrigen Aufbau einer Pupinleitung begründet sind⁴⁾. Während in einer homogenen Leitung das Winkelmaß hinreichend genau proportional mit der Frequenz wächst, so daß die Phasen aller Schwingungen

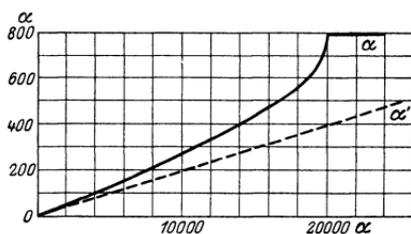


Abb. 984. Phasenwinkel einer Pupinleitung.

nach der gleichen Zeit $t_0 = \frac{a}{\omega}$ im

Empfänger eintreffen, besteht in Spulenleitungen keine genügende Proportionalität zwischen Winkelmaß und Frequenz. In Abb. 984 ist die Frequenzabhängigkeit des Phasenwinkels und der Phasenlaufzeit einer Pupinleitung mit der Grenzfrequenz $\omega_0 = 20000$ bei einer Länge von 500 km und 2 km Spulenabstand dargestellt. Die Phasenlaufzeiten werden um so länger, je höher die

¹⁾ Luschen, F.: Die Technik der Telegraphie und Telephonie im Weitverkehr. ETZ 1924, Heft 30 u. 31.

²⁾ Vgl. auch Brit. Pat. 151140 5/8. 1919 von Hoyt-Blackwell.

³⁾ Clark, A. B.: Telephone transmission over long cable circuits. Transactions A. I. E. E. Bd. 17, S. 86.

⁴⁾ Deutsche Anmeldung der Bell Tel. Mfg. Co. B 103603 (1921).

Frequenz ist. Da nun ein Wechselstromzeichen neben der Grundfrequenz eine Reihe höherer und tieferer Schwingungszahlen enthält, tritt eine Verzerrung dergestalt ein, daß zwischen dem Eintreffen des ersten Stromimpulses und dem Einsetzen des eigentlichen Zeichens eine gewisse Übergangszeit, die sogenannte Ein-

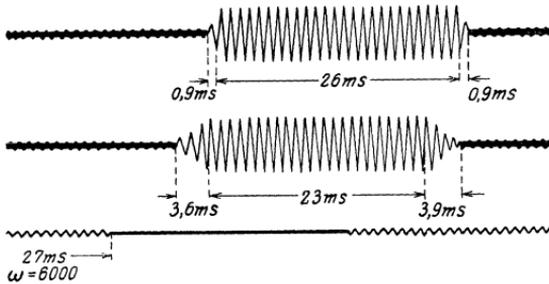


Abb. 985. Wirkung des Phasenausgleichs.

schwingzeit, verstreicht (Abb 985, mittleres Bild). Die Abweichung des Phasenwinkels von den durch die gestrichelten Linien angedeuteten Werten für die homogene Ersatzleitung gibt ein Maß für die Einschwingzeit. Sie wächst ungefähr mit dem Quadrate der Grundfrequenz des Zeichens und umgekehrt proportional der dritten Potenz der Grenzfrequenz; ferner ist die Einschwingzeit T um so größer, je größer die Gliederzahl der Leitung ist, $T = \frac{\omega^2 \cdot l}{\omega_0^3 \cdot s}$. Die Western El.

Co.¹⁾ gibt folgende Formel:

$$T = t_0 \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}} - 1 \right]$$

und bezeichnet einen Wert $T = 0,005$ s und t_0 (Phasenlaufzeit) von 0,05 s als zulässige Höchstwerte. In Deutschland ist gefunden worden, daß in einer 1000 . . . 1200 km langen Pulinleitung mit der Grenzfrequenz $\omega_0 = 17000$ und einem Spulenabstand $s = 2$ km noch eine kommerziell brauchbare Verständigung möglich ist, d. h. $\frac{s \cdot \omega_0^3}{l}$ muß größer sein als 8 bis $10 \cdot 10^9$. Die Anforderung, die von

der Western El. Co. gestellt wird, ist strenger. Die Einschwingvorgänge äußern sich darin, daß in einer langen Leitung, in der im stationären Zustand ein ausreichendes Frequenzband gut übertragen wird, trotzdem eine verzerrte Übertragung zustande kommt. Kurze Laute höherer Frequenz werden schlecht wiedergegeben. Durch die verzögerte Übertragung der hohen Frequenzen tritt ein Ineinanderlaufen der einzelnen Sprachlaute ein. Es gibt zur Zeit zwei Mittel, um die Einschwingvorgänge unschädlich zu machen. Zunächst kann die Grenzfrequenz erhöht werden, d. h. die Leitung wird schwächer pupinisiert. Damit wird allerdings die Dämpfung erhöht; ferner müssen die Verstärker enger gesetzt werden. Das zweite Mittel ist von Küpfmüller angegeben worden; es besteht darin, durch zusätzliche Kettenleiter den Phasenwinkel der Leitung so zu ergänzen, daß der Gesamtwinkel mit der Frequenz proportional zunimmt, wobei dann die Phasenlaufzeiten für alle Frequenzen gleich werden. Solche Kettenleiter sind Kondensatorleitungen oder noch besser Ketten nach Abb. 986. Letztere haben die Eigenschaft, daß ihr Wellenwiderstand gleich $\sqrt{L/C}$ und unabhängig von der Frequenz ist, ferner daß der Phasenwinkel mit wachsender Frequenz immer langsamer zunimmt. In Abb. 986 ist das Zustandekommen des Phasenausgleichs

¹⁾ Vgl. Anm. 2 auf S. 581.

näher erläutert. Durch geeignete Wahl der Gliederzahl und Eigenschwingungen kann man die geforderte Bedingung weitgehend erfüllen. Das Oszillogramm (Abb. 985) veranschaulicht die Wirkung des Phasenausgleichs in einer 500 km langen Pupinleitung mit der Grenzfrequenz $\omega_0 = 20000$. Die mittlere Kurve zeigt ein ankommendes Zeichen ohne Phasenausgleich, die obere mit Phasenausgleich, die untere das abgehende Zeichen. Die Beschränkung der Einschwingzeit von 3,6 ms auf 0,9 ms und die fast genaue Wiedergabe der Zeichen sind sinnfölig. Es ist zu erwarten, daß der Phasenausgleich die Reichweiten der Pupinkabel wesentlich erhöhen wird.

(1636) Echo. Die geringere Fortpflanzungsgeschwindigkeit elektrischer Wellen auf den mit Spulen belasteten Kabeln kann in den mit Verstärkern ausgerüsteten langen Leitungen störende Echoserscheinungen hervorrufen. Diese Vorgänge wurden erstmalig von Clark beleuchtet. Besonders in langen Vierdrahtleitungen werden Echoserscheinungen beobachtet; sie entstehen dadurch, daß infolge mangelhafter Übereinstimmung zwischen Zweidrahtleitung und Nachbildung Teile des über die Sprechleitung $A \rightarrow B$ bei B ankommenden Stromes über die Sprechleitung $B \rightarrow A$ nach A zurückgelangen. In einer

Pupinleitung mit einer Belastung von 200 mH in 2 km Abstand und einer Betriebskapazität von $0,035 \mu\text{F}$ beträgt die Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer elektrischen Welle $v = 17000 \text{ km/s}$. In einer 1000 km langen Leitung dieser Art benötigt ein Impuls $= 0,059 \text{ s}$, um von A nach B zu gelangen, und $0,118 \text{ s}$ von A über B zurück nach A . Der bei A Sprechende hört also sein eigenes Wort nach $0,118 \text{ s}$, wenn in B eine mangelhafte Nachbildung eingeschaltet ist. Diese Erscheinung kann infolge mangelhafter Nachbildung bei A sich auch bei B wiederholen, so daß der bei B Hörende die Worte des bei A Sprechenden zweimal, das zweitemal allerdings schwächer hört. Unter Umständen kann man sowohl bei A als auch bei B ein mehrfaches allmählich verklingendes Echo wahrnehmen. Clark hat Beziehungen zwischen der Laufzeit und der zulässigen Stärke des Echos aufgestellt¹⁾.

Auch in Zweidrahtleitungen können durch Mängel der Nachbildungen Echoserscheinungen auftreten, die hier allerdings schwer als Echo zu erkennen sind, weil die Laufzeit des Echos infolge der geringeren Länge von Zweidrahtleitungen kleiner ist. Sie machen sich in der Regel durch eine Verschlechterung der Sprachgüte bemerkbar. Der Echovorgang stellt sowohl im Vierdrahtbetrieb als auch im Zweidrahtbetrieb das Übergangsstadium zum Eigentönen dar.

Zur Unterdrückung der Echovorgänge in langen Vierdrahtleitungen werden an geeigneten Punkten sogenannte Echosperrern eingeschaltet. Ihre Wirkungsweise besteht darin, daß ein Teil des in einer Sprechrichtung fließenden Sprech-

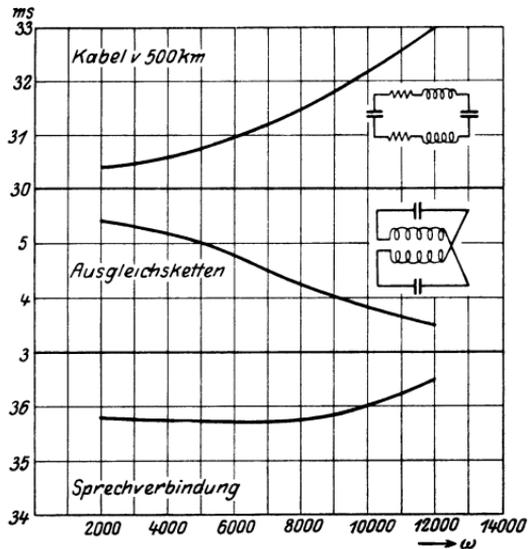


Abb. 986. Phasenausgleich.

¹⁾ Clark J. A. I. E. E. 1923, S. 4.

stroms abzweigt und verstärkt wird, der dann entweder mit Hilfe geeigneter Schaltrelais die rückwärtige Sprechrichtung kurzschließt, unterbricht oder die Gitterspannung des Verstärkers der Gegenrichtung so verlagert, daß der Verstärker nicht mehr wirksam ist. Echosperrerr sind von Robinson (G.P.O.), von John Mills¹⁾ (USP 1434 790, 1922) und von Siemens & Halske angegeben worden. Die neuere Entwicklung geht dahin, den Gedanken der Echosperrerr

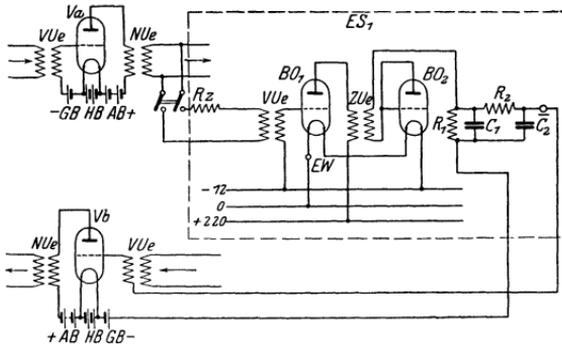


Abb. 987. Echosperrerr.

auch dem Zweidrahtbetrieb nutzbar zu machen. Die in der deutschen Technik gebräuchliche Echosperrschaltung ist in der Abb. 987 dargestellt.

(1637) Nebensprechen. Während das Übersprechen zwischen zwei ohne Verstärker betriebenen Leitungen mit zunehmender Leitungslänge um so weniger zunimmt, je länger die Leitung ist, treten zwischen zwei Leitungen, die in gewissen Abständen Verstärker enthalten, andere Erscheinungen auf, weil die Spannungsverteilung längs der Leitungen eine andere ist. Durch jeden Verstärker wird annähernd wieder die Spannung auf den Betrag gehoben, der am Anfang der Leitungen herrscht. Wenn in jedem Verstärkerfeld einer Zweidrahtleitung mit n Verstärkern, also $n + 1$ Feldern, das Übersprechen mit der Dämpfungszahl S herrscht, so macht sich am Anfang der beeinflussten Leitung die Summation der durch die n Verstärker betonten Übersprechwege aus n Verstärkerfeldern und des Übersprechweges im ersten Verstärkerfeld bemerkbar. Summiert man diese Wirkungen arithmetisch, so erhält man eine Verminderung der Dämpfungszahl S der verstärkerfreien Leitung auf $S - \log \text{nat} (n + 1)$. Tatsächlich darf man die Summation nicht arithmetisch ausführen, sondern mit Rücksicht auf die Phasenbeziehungen geometrisch, was jedoch recht verwickelte Rechnungen ergibt. Die oben genannte Erhöhung des Übersprechens stellt also den ungünstigsten Wert dar, der praktisch nicht erreicht wird; Voraussetzung ist aber, daß die Verstärkungsziffer der einzelnen Verstärker nicht größer eingestellt wird, als die Dämpfungszahl des zugehörigen Verstärkerfeldes beträgt.

Im Vierdrahtbetrieb liegen die Verhältnisse etwas anders, weil die Dämpfungszahl der Zweidrahtstrecken in der Regel erheblich geringer ist als die Verstärkungsziffer eines Vierdrahtverstärkers. Die für Zweidrahtbetrieb gültige Formel der Übersprecherhöhung erhält noch eine Ergänzung dadurch, daß die wirksame Übersprechdämpfung durch die Differenz zwischen der Verstärkungsziffer eines Vierdrahtverstärkers (gewöhnlich 3,0) und der Dämpfungszahl der Zweidrahtstrecke einschließlich der Verluste in der einen Gabelschaltung (ge-

¹⁾ Clark und Mathies: Echo Suppressors for Long Telephone Circuits. J. A. I. E. E. 1925, S. 618.

wöhnlich 1,5) bestimmt ist. Im Vierdrahtbetrieb muß den Übersprecherscheinungen, die besonders zwischen der Sprechrichtung der einen Vierdrahtleitung und der Hörrichtung einer Nachbar-Vierdrahtleitung auftreten können, dadurch Rechnung getragen werden, daß man Sprechleitungen und Hörleitungen (von einem Ende gesehen) möglichst weit voneinander trennt oder statisch gegeneinander schützt, und zwar sowohl im Kabel, als auch in den Verstärkerämtern.

Das CCI in Paris empfiehlt die Innehaltung einer Mindestdämpfungszahl des Übersprechens zwischen benachbarten Verstärkern, gemessen zwischen den Ausgangsstellen, von $b = 8,0$.

(1638) Ungleichmäßigkeit des Wellenwiderstandes der Leitungen. Im Zweidrahtbetrieb muß der Scheinwiderstand der Leitung durch einfache Gebilde aus Widerständen, Kondensatoren und Induktivitäten nachgebildet werden. Der Scheinwiderstand eines solchen Gebildes ist im allgemeinen eine einfache, nicht periodische Funktion der Frequenz. Leitungen, die Unstetigkeitsstellen im Wellenwiderstand enthalten, zeigen allgemein einen unregelmäßigen Verlauf des Scheinwiderstandes, im einfachsten Fall die Überlagerung einer periodischen Funktion über den normalen Verlauf. Ein Sprung im Wellenwiderstand von \mathfrak{z}_1 auf \mathfrak{z}_2 in einer Entfernung l_1 vom Meßende ruft eine periodische Funktion hervor, deren zwei aufeinander folgende Maxima bei den Frequenzen f_1 und f_2 oder bei den Winkelmaßwerten a_1 und a_2 liegen mögen. Dann ist

$$l_1 = \frac{\pi}{a_2 - a_1} = \frac{\pi}{2\pi(f_2 - f_1)} \cdot \frac{1}{\sqrt{CL}},$$

wobei sich a_1 , a_2 , C und L auf die unmittelbar am Meßende liegende Leitung beziehen.

Viel verwickelter werden die Beziehungen, wenn es sich um mehrere Unstetigkeitsstellen handelt und besonders, wenn es sich um Unstetigkeiten in einer punktwise belasteten Leitung (Pupinleitung) handelt. Unstetigkeiten in Pupinleitungen sind ungleiche Spulenabstände und Betriebskapazitäten in den einzelnen Spulenfeldern, ungleiche Spulen und Stromabhängigkeit der Spulen.

(1639) Zulässige Grenzen der Ungleichmäßigkeit. Der Einfluß solcher Unregelmäßigkeiten auf den Wellenwiderstand ist von Wagner und Küpfmüller näher untersucht worden¹⁾; sie kamen zu dem Schluß, daß die Spulen nicht mehr als $\pm 1,5$ vH, die Kapazitäten der Spulenfelder nicht mehr als $\pm 2,5$ vH vom Mittelwert abweichen dürfen, wenn die Leitungen für den Verstärkerbetrieb brauchbar sein sollen. Die von Wagner und Küpfmüller angestellte theoretische und praktische Untersuchung des Einflusses von Unregelmäßigkeiten in der Pupinausrüstung von Leitungen hat im wesentlichen zu folgenden Ergebnissen geführt:

1.) Kleine Abweichungen der Induktivität und der Kapazität eines Spulenfeldes rufen an allen Frequenzstellen, an denen Leerlauf- und Kurzschlußwiderstand ihre Höchstwerte erreichen, große Abweichungen des Wellenwiderstandes vom normalen Wert hervor. Bei induktiver Abweichung des $(n + 1)$ ten Gliedes vom Ende (n normale Glieder bis zum Anfang) ist unter der Voraussetzung kleiner Gesamtdämpfung die Abweichung im 3-Wert:

$$\delta \mathfrak{z}_L = 2 \mathfrak{z} \cdot \mathfrak{z}_g \frac{\gamma}{2} \cdot \frac{\cos(2n + 1)}{\sin(2N\gamma)} \cdot \varepsilon, \text{ worin } \frac{\delta L}{L} = \varepsilon \text{ und } N = n + 1 + m,$$

bei kapazitiver Abweichung zwischen dem n ten und $(n + 1)$ ten Glied:

$$\delta \mathfrak{z}_c = -2 \mathfrak{z} \cdot \mathfrak{z}_g \frac{\gamma}{2} \cdot \frac{\cos 2n\gamma}{\sin 2N\gamma} \cdot \varepsilon, \text{ worin } \varepsilon = \frac{\delta C}{C}.$$

¹⁾ Der Einfluß von Ungleichmäßigkeiten im Aufbau von Spulenleitungen auf den Wellenwiderstand. Mitt. a. d. TRA Bd. 9, S. 135 und Arch. Elektrot. 1921, Heft 11 u. 12.

Diese Abweichungen werden groß, wenn $\sin 2N\gamma$ (bei Vernachlässigung von R) = $i \cdot \sin 2N\alpha$ gleich Null wird. Das ist der Fall, wenn $\alpha = \frac{k\pi}{2N}$ bei $k=0$ bis $2N$ ist. Die Lage der kritischen Frequenzen wird bestimmt durch die eben genannte Beziehung und durch die Beziehung $\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{\omega}{\omega_0}$.

2.) Ist die Glieddämpfung klein, so sind:

$$\begin{aligned} \delta 3_L &= 2 \cdot 3 \varepsilon \cdot \Im g \frac{\gamma}{2} \cdot \varepsilon^{-(2m+1)\gamma} \\ &= 2 \cdot 3 \varepsilon \cdot \Im g \frac{\gamma}{2} \cdot \varepsilon^{-(2m+1)\beta} [\sin(2m+1)\alpha + i \cdot \cos(2m+1)\alpha] \end{aligned}$$

$$\delta 3_c = -3^2 \cdot \omega \delta C e^{-2ms} [\sin 2m\alpha + i \cdot \cos 2m\alpha].$$

Hieraus kann auf die Lage des fehlerhaften Gliedes geschlossen werden:

$$m = \frac{\pi}{2(\alpha_r + 1 - \alpha_r)} - \frac{1}{2}$$

bei induktiver Abweichung im $(m+1)$ ten Glied, wenn α_{r+1} und α_r zwei aufeinanderfolgende α -Werte bedeuten, bei denen die tatsächliche Wirkwiderstandskurve die berechnete Kurve schneidet.

Ferner ist bei einer kapazitiven Abweichung zwischen dem m ten und $(m+1)$ -ten Glied:

$$m = \frac{\pi}{2(\alpha_r + 1 - \alpha_r)}.$$

Bei induktiver Abweichung bedeutet gleichsinniger Verlauf von $\delta 3$ mit $\sin(2m+1)\alpha$ positives δL , bei kapazitiver Abweichung gleichsinniger Verlauf von $\delta 3$ mit $\sin 2m\alpha$ negatives δC .

Bei den $\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_r$ (Schnittpunkte der wirklichen Wirkwiderstandskurve mit der theoretischen Kurve) hat der Blindwiderstand nahezu maximale Abweichung.

Es empfiehlt sich, die Frequenzen, bei denen die Wirkkomponente den Sollwert oder maximale Abweichung hat, für eine größere Anzahl von $2m$ - oder $(2m+1)$ -Werten auszurechnen und in ein Koordinatensystem einzuzichnen. Dann kann jeder Einzelfall nach einem einfachen, von Wehage¹⁾ angegebenen mechanischen Verfahren analysiert werden.

Liegen mehrere Fehler vor, so wird die Meßgenauigkeit geringer; das Verfahren hat dann nur die Bedeutung eines rohen Näherungsverfahrens.

Küpfmüller²⁾ hat ein Verfahren angegeben für den Fall, daß die $(m+1)$ te Spule induktiv unwirksam ist. Die theoretische Ableitung führt zu folgendem Verfahren:

Sind α_s -Werte die Frequenzpunkte, bei denen die Sollkurve im steigenden Sinne von der wirklichen Kurve des Wirkwiderstandes durchschnitten wird (Anlaufänge $s/2$ vorausgesetzt), α_f die Schnittpunkte, bei denen die Sollkurve im fallenden Sinne durchschnitten wird, so ist:

$$\begin{aligned} \Delta \alpha_s \text{ für zwei aufeinanderfolgende Werte} &= \frac{\pi}{m} \text{ oder } m = \frac{\pi}{\Delta \alpha_s} \text{ und } \Delta \alpha_f \text{ ent} \\ \text{sprechend} &= \frac{\pi}{\Delta \alpha_f} - \frac{1}{2}. \end{aligned}$$

Es empfiehlt sich, das Mittel aus einer Reihe von $\Delta \alpha$ -Werten zu nehmen.

Allgemein ist anzustreben, daß die Abweichungen δC und δL innerhalb der von Wagner und Küpfmüller angegebenen Grenzen bleiben.

¹⁾ Wehage, D.: Praktische Vereinfachung der Ortsbestimmung von Ungleichheiten in en Spulenfeldern der Pupinkabel. TFT Heft 11, November 1924.

²⁾ Küpfmüller: TFT 9. Jahrg., S. 45.

Durch das CCI in Paris wird folgendes Verfahren zur Bewertung der Gleichmäßigkeit des Wellenwiderstandes empfohlen. Nach Aufnahme der Kurven des Wirkwiderstandes und des Blindwiderstandes für eine Anlaufänge von $s/2$ werden die maximalen Abweichungen des Wirk- und des Blindwiderstandes ermittelt und das Verhältnis zum Sollbetrag des Wellenwiderstandes (für $s/2$ -Anlauf im wesentlichen des Soll-Wirkwiderstandes) in ein rechtwinkliges Koordinatensystem eingetragen, $\frac{(\angle 3 \text{ Wirkw.})}{3}$ als Abszisse, $\frac{(\angle 3 \text{ Blindw.})}{3}$ als Ordinate, dann sollen die hierdurch festgelegten Punkte in der komplexen Zahlenebene für 90 vH aller Stromkreise eines Kabels innerhalb eines Kreises mit dem Radius 15 vH (0,15), für die übrigen 10 vH innerhalb eines Kreises mit dem Radius 0,18 liegen. Tatsächlich werden in der Praxis im allgemeinen wesentlich kleinere Abweichungen festgelegt.

Die Western El. Co. verwendet zur Feststellung der Differenzen zwischen den wirklichen und den theoretischen Kurven einen besonderen Apparat, der die Differenzwerte, Frequenz für Frequenz, mit Hilfe eines durch zwei Gleichrichter gesteuerten Differentialgalvanometers anzeigt, von denen der eine an die wirkliche Leitung angeschlossen ist, der andere an einen Vergleichskreis.

VI. Betriebsmaßnahmen.

(1640) Messungen an Verstärkern und Verstärkerleitungen. Die Instandhaltung eines mit Verstärkern betriebenen Leitungsnetzes erfordert eine Reihe sorgfältiger Messungen an den Verstärkern und an den Leitungen einschließlich der Verstärker. Zunächst müssen zur Sicherstellung der Stromversorgung Heizstrom, Anodenstrom, Anodenspannung und Gitterspannung in regelmäßigen Zwischenräumen gemessen werden. Die Röhren, namentlich die Oxydröhren, müssen daraufhin geprüft werden, ob ihre Emission nachläßt. Letzteres geschieht durch Beobachten des Anodenstroms, wenn ein genügend kräftiger Wechselstrom über das Gitter der Röhre geleitet wird. Sinkt hierbei der Anodenstrom bei richtig bemessener Gitterspannung unter einen für jede Röhrenart festzustellenden Wert, so ist die Röhre aus dem Betrieb zu nehmen. Ferner muß regelmäßig die Verstärkungsziffer des Verstärkers in einer den Betriebsbedingungen möglichst angepaßten Schaltung, z. B. zwischen zwei Kunstleitungen bestimmten Wellenwiderstandes und bestimmter Dämpfung ($b = 2$), durch Vergleich mit der Übertragung über eine einstellbare Kunstleitung desselben Wellenwiderstandes nachgeprüft werden. Der Vergleich erfolgt entweder nach dem Gehör mit einer Genauigkeit von $b = \pm 0,1$ im günstigsten Fall oder mit optischer Ablesung an dem Drehpulinstrument im Anodenkreis eines Verstärkervergleichersatzes, der an die Stelle des Fernhörers tritt. Die hiermit erreichbare Genauigkeit ist natürlich größer als beim Hörvergleich. In regelmäßigen Zeitabständen muß ferner die Verstärkungsziffer in den einzelnen Stellungen des Schwächungswiderstandes oder Potentiometers des Verstärkers sowie für einzelne Frequenzen des Meßstroms ermittelt werden. Einer regelmäßigen Nachprüfung bedürfen auch die für den Zweidrahtbetrieb erforderlichen Leitungsnachbildungen und die Nachbildfähigkeit der Leitungen selbst. Dies geschieht mit Hilfe der Pfeifpunktprüfung der Verstärker. Ebenso müssen die Rufeinrichtungen in gewissen Zeiträumen geprüft werden. Außer einer täglichen Prüfung der Sprachübertragungsgüte einer mit Verstärkern ausgerüsteten Leitung wird es unerlässlich sein, durch Messungen festzustellen, wie groß die Dämpfungszahl der gesamten Leitung zwischen den Klinenumschaltern der Endämter (Restdämpfung) in dem Bereich des zu übertragenden Frequenzbandes ist. Hierzu wird der sogenannte Streckendämpfungsmesser benutzt. Die in Deutschland übliche Schaltung wird in (1050) und Abb. 607 beschrieben.

Der Gedanke der Streckendämpfungsmessung stammt von der Western El. Co.

Dieses Verfahren ist auch geeignet, um festzustellen, wie groß die Dämpfung bis zu einzelnen Punkten der Leitung ist. Man braucht nur die Spannungsdämpfung bis zu diesen Punkten zu vergleichen mit der Spannungsdämpfung über die Vergleichsleitung. Durch diese Messung kann festgestellt werden, ob die Leitung noch den vorgeschriebenen Dämpfungs- und Verstärkungsverlauf (transmission level) zeigt. Diese Schaulinie wird gezeichnet, indem man als Abszisse die Leitungslänge in Längen- oder Dämpfungseinheiten aufzeichnet und als Ordinate in negativer Richtung die Dämpfungszahl, in positiver Richtung die Verstärkungsziffer aufträgt (Abb. 988).

Die Restdämpfung einer mit Verstärkern ausgerüsteten, in beiden Sprechrichtungen wirksamen Leitung kann grundsätzlich auch aus Leerlauf- und Kurz-

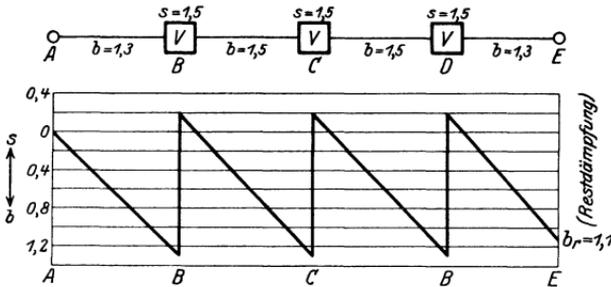


Abb. 988. Dämpfungsregelung.

schlußmessungen ermittelt werden. Da jedoch die Restdämpfung häufig in der Nähe von 1,5 liegt und mit der Frequenz noch höher steigt, liefert diese Methode keine besonders genauen Werte.

(1641) Rufen in Verstärkerleitungen. Im gewöhnlichen Fernleitungsbetrieb wird mit Wechselstrom von 15 bis 25 Per/s gerufen. Da die Verstärker, namentlich die Vor- und Nachübertrager, für die Übertragung einer so niedrigen Frequenz nicht eingerichtet sind, muß jeder Verstärker mit einer Relaisübertragung ausgerüstet werden, die den Rufstrom unter Ausschaltung des Verstärkers in den weitergehenden Leitungsabschnitt mit neuer Kraft überträgt. Diese Übertragungseinrichtungen sind empfindliche, störungsanfällige Einrichtungen und haben daher bisher nur im Zweidrahtbetrieb Verwendung gefunden.

Im Vierdrahtbetrieb mit seinen viel zahlreicheren Verstärkern wird mit Sprechfrequenzen gerufen. Man entsendet entweder einen Wellenzug bestimmter Frequenz (500 Hertz), der von den Verstärkern übertragen wird und am Ende der Leitung eine Detektoranordnung oder ein stark selektives, empfindliches Wechselstromrelais betätigt, das seinerseits eine mit Verzögerung arbeitende Relaisanordnung zur Weitergabe des normalen Rufstroms veranlaßt. Derartige Einrichtungen sind in Deutschland mit Erfolg angewendet worden. Da es unter Umständen Schwierigkeiten bereiten kann, die Frequenz des Rufstroms genügend konstant zu halten, und da immerhin die Gefahr besteht, daß die Sprechströme selbst die Ruforgane betätigen, hat man sich im CCI in Paris dahin geeinigt, daß im Takte von 20 bis 25 Per/s modulierter oder unterbrochener 500periodiger Rufstrom entsandt wird, der am Ende der Leitung 15- bis 25periodige Empfangsrelais nach gehöriger Umformung des modulierten Rufstroms betätigt. In der deutschen Technik wird als Empfangsorgan eine Röhren-Demodulationseinrichtung verwendet; die Western El. Co. verwendet ein abgestimmtes Zungenrelais mit starker Dämpfung, das die Demodulation selbsttätig vornimmt.

Die Entwicklung geht dahin, auch im Zweidrahtbetrieb mit Sprechfrequenz zu rufen.

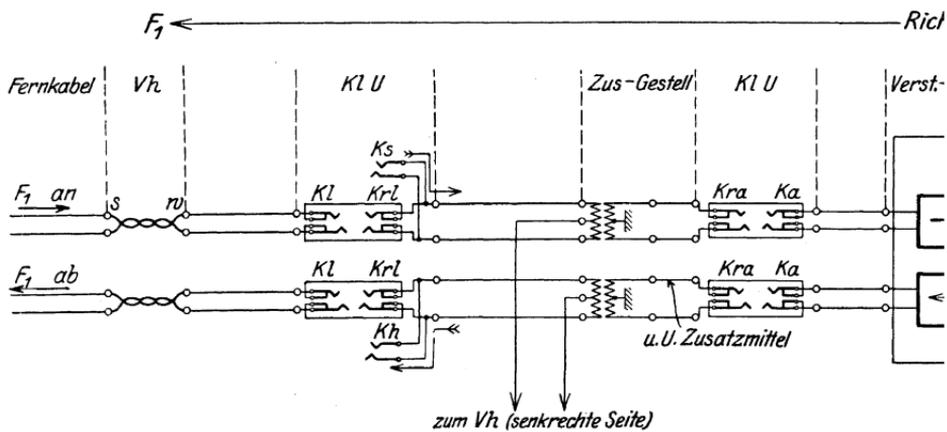


Abb. 990. Verlauf einer Vierdrahtleitung

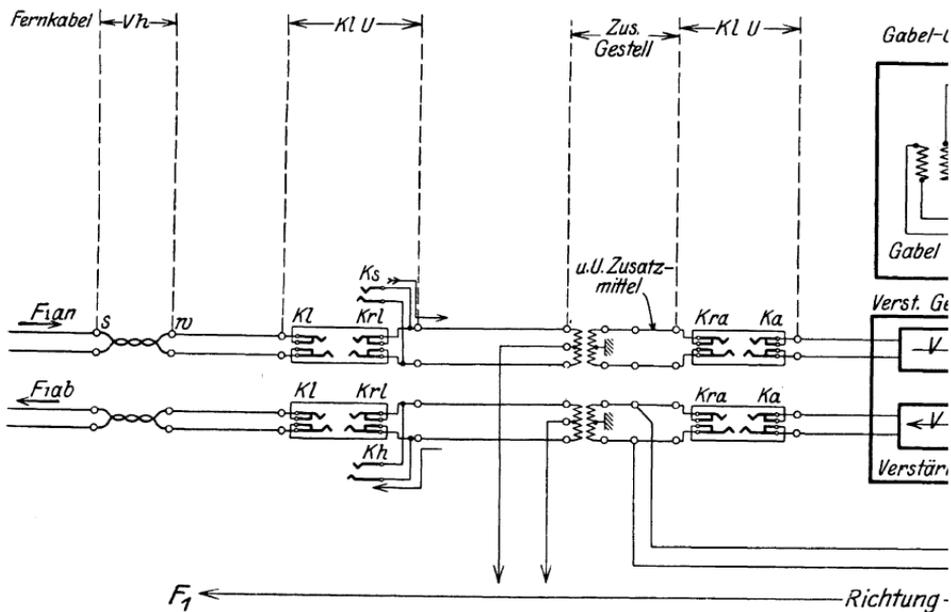
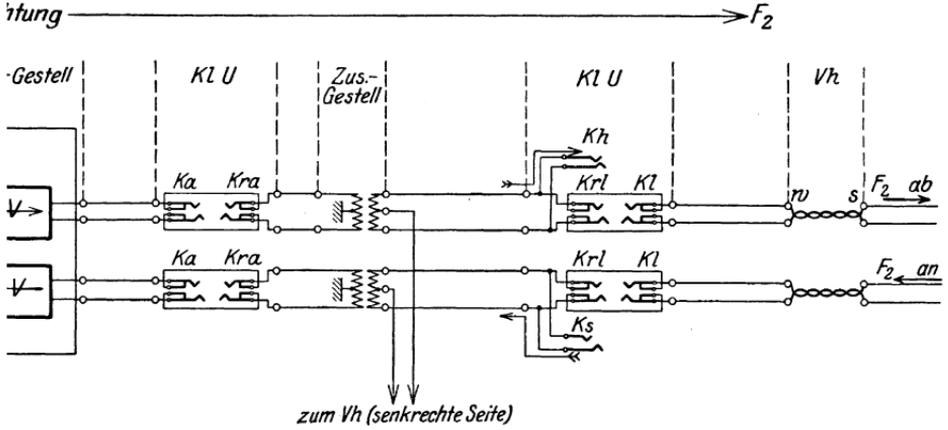
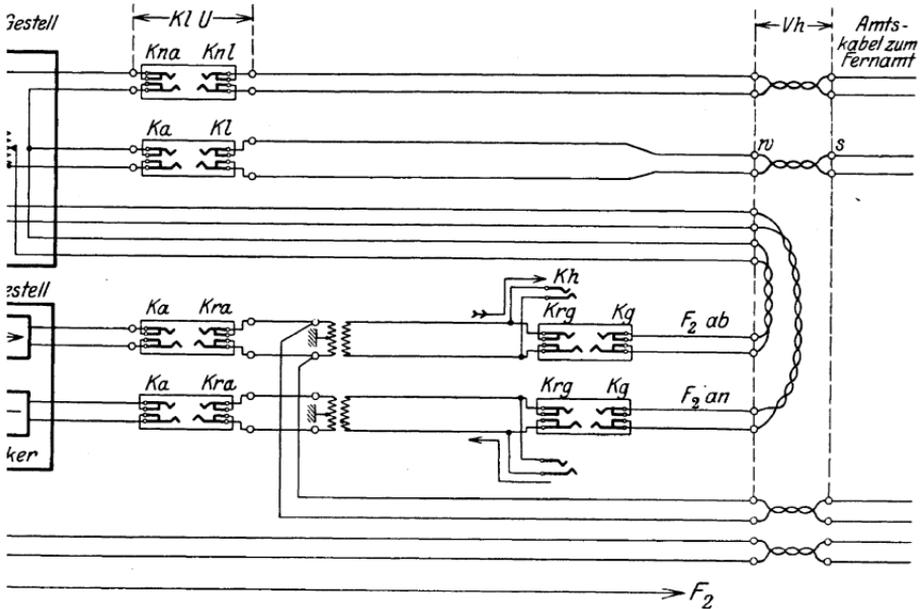


Abb. 991. Verlauf einer Vierdrahtleitung in



g in einem Verstärkerarm alter Bauart.



1 in einem Gabelverstärkerarm alter Bauart.

Große Fernsprechverstärkerämter.

(1642) **Beziehung zu den Leitungen.** Die an den Zwischenorten in die Fernkabel eingeschalteten Fernsprechverstärker sind Schaltungsbestandteile der Leitungen und dauernd mit diesen verbunden; sie werden in Verstärkerämtern vereinigt. Man unterscheidet Haupt- und Nebenverstärkerämter. In erstere werden die 1,4 und 0,9 mm starken Adern zur Verstärkung eingeführt, in letztere in der Regel nur die 0,9 mm starken Adern. Die technische Einrichtung ist bei beiden die gleiche. Bei zunehmender Dichte des Kabelnetzes kann die Unterscheidung nicht immer streng durchgeführt werden.

Verstärkerämter der alten Bauart.

(1643) **Leitungsführung.** Der Verlauf einer Zweidrahtleitung mit der Zweiröhrenzweidrahtschaltung ist in Abb. 989 dargestellt, in der zugleich die Verteilung der Apparate auf die Gestelle usw. gekennzeichnet ist. Vierdrahtleitung und Gabelschaltung vgl. Abb. 990 u. 991 bei S. 592.

(1644) **Kabeleinführung.** Jeder Zweig des Fernkabels endet in einem Endverschluß besonderer Bauart, von dem aus die Leitungen durch Einführungskabel zum Hauptverteiler weitergeführt werden. Bei Entfernungen bis 20 m wird viererverseiltes LPM-Kabel mit 1 mm starken Adern, bei größeren Entfernungen viererverseiltes Papierkabel mit 0,9 mm starken Adern verwendet. Neuerdings wird bei allen Verstärkerämtern unmittelbar bei den Endverschlüssen ein Verteilergestell aufgestellt, an das die Kabeladern der leichteren Umschaltung wegen geführt werden.

(1645) **Der Hauptverteiler** ist das gebräuchliche Verteilergestell M 09. Sicherungen werden nicht eingeschaltet.

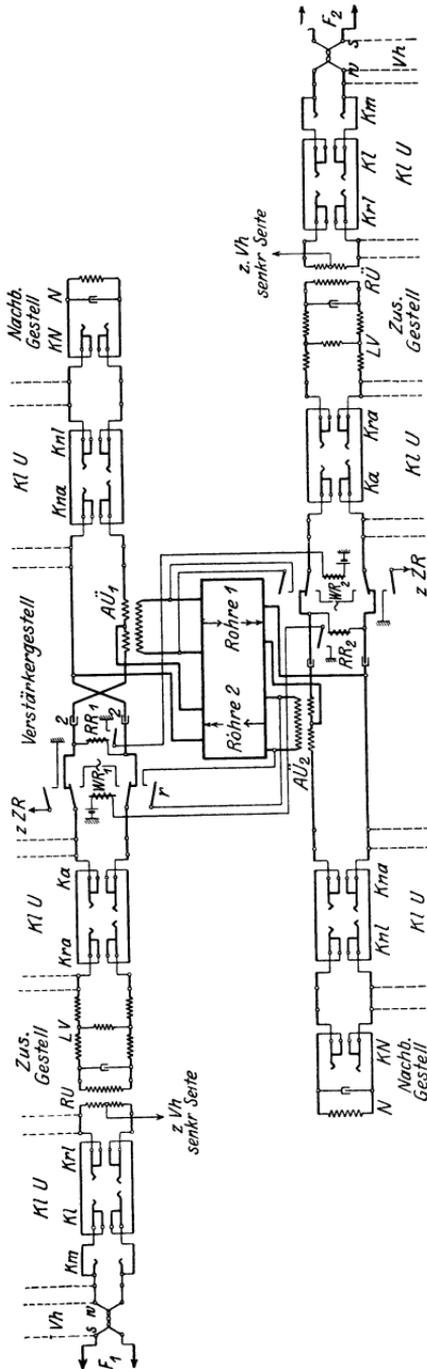


Abb. 989. Verlauf einer Zweidrahtleitung.

(1646) Verstärkergestell. a) Zweidrahtverstärker. Die Verstärkerröhren mit den Übertragern, Kondensatoren und Widerständen sind auf eisernen Platten von 15×50 cm Größe angebracht. Auf der Vorderseite befinden sich die Teile, die leicht zugänglich sein müssen, wie die Röhrenfassungen, der Kopplungswechsler und der Drehgriff des (Doppel-)Schwächungswiderstandes. Die Röhren sind durch eine Kappe aus gelochtem Eisenblech abgedeckt. Auf der Rückseite sind die Vor-, Nach- und Ausgleichübertrager, Kondensatoren usw. angebracht. Die Skaleneinteilung des Schwächungswiderstandes ist bei den älteren Ausführungen¹⁾ 0...10, bei den neueren 0...9. Auf einer zweiten Eisenplatte gleicher Größe ist die Doppelspulenkette angebracht, die bei den Verstärkern der AEG²⁾ und TKD zweigliedrig, bei denen von S & H dreigliedrig ist. Bei den Verstärkersätzen der Firma C. Lorenz A.-G., Berlin-Tempelhof, wird statt der Spulenketten eine Absorptionsschaltung verwendet, die aus in Reihe geschalteter Selbstinduktion und Kapazität besteht. Diese Anordnung ist auf den Verstärkersätzen mit untergebracht.

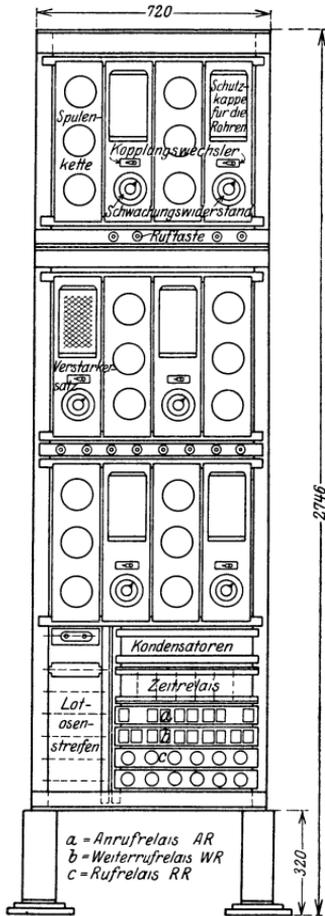


Abb. 992. Zweidrahtverstärkergestell.

frequenzruf (1654) sind auf gleichen Platten wie die Verstärker befestigt, und es werden 12 oder 16 solcher Sätze auf einem Gabelgestell vereinigt.

¹⁾ Die nachstehend beschriebenen Apparate weisen je nach der Lieferfirma und Lieferzeit häufig geringfügige Abweichungen voneinander in der Bauart und Anordnung der Einzelteile auf.

²⁾ S & H.: Siemens & Halske AG., Berlin-Siemensstadt; AEG: Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin; TKD: Sddeutsche Telephon-Apparate-, Kabel- und Drahtwerke in Nürnberg.

(1647) Nachbildungsgestell. Das Nachbildungsgestell hat zwei Buchten, in denen 120 Platten von $7,2 \times 20$ cm Größe für die Leitungsnachbildungen in den Zweidrahtleitungen, also für zusammen 60 durchgehende Leitungen, untergebracht werden können. Es ist 105 cm breit und wie das Verstärkergestell 275 cm hoch. Die Leitungsnachbildungen bestehen aus bifilar gewickelten Faserwiderständen und Kondensatoren, die auf der Rückseite der Platten befestigt werden. Die Zuführungen liegen an einer in den Platten angebrachten Unterbrechungsklinke, die zur Anschaltung der veränderlichen Leitungsnachbildung (siehe unten) dient. (In den neuen Ämtern werden Leitungsnachbildungen nach Hoyt (1629 u. Abb.978) verwendet.) Eine Doppelschalteklinke in jeder Bucht ist mit der rechten Abfrageeinrichtung des zugehörigen Klinkenumschalters verbunden; sie dient zum Mithören beim Leitungsnachbilden. Neben der Klinke liegt ein 10 teiliger Klinkenstreifen, dessen Klinken mit einem besonderen Klinkenstreifen im Klinkenumschalter verbunden sind und zum Anschalten des Abgleichprüfers benutzt werden.

(1648) Das Zusatzgestell enthält die Ringübertrager und die für die Leitungsnachbildung erforderlichen Leitungszusätze (Quer kondensatoren, Leitungsverlängerungen mit und ohne Verzerrung, Ergänzungsschaltungen zur Herstellung der Anlaufänge eines halben Spulenfeldes). Es ist 134 cm breit und 275 cm hoch und besteht wie das Nachbildungsgestell aus zwei Buchten, in deren unterem Teil 120 Ringübertrager für 60 durchgehende Leitungen in Rahmen, wie bei dem in Fernämtern gebräuchlichen Ringübertragergestell, untergebracht sind. Über den Ringübertragern liegen in Rahmen die Quer kondensatoren und darüber, auf Schienen befestigt, die Leitungsverlängerungen (Widerstandsrollen in H-Form gewickelt). Die Lötösenstreifen sind wie beim Nachbildungsgestell oben im Gestell angebracht. In neuen Ämtern werden die Ringübertrager gemeinsam mit den Zusätzen auf Platten vereinigt, wie es schon bei den anfangs gebauten Ämtern geschehen war.

(1649) Der Klinkenumschalter. Von hier aus findet die Überwachung des Betriebes und die Prüfung der Verstärkereinrichtungen statt. Die Abmessungen sind die des in den Fernämtern verwendeten Klinkenumschalters M 14 (69 cm breit, 93 cm tief, 148 cm hoch). Der Klinkenumschalter für Zweidrahtleitungen faßt die Klinken usw. für 30 durchgehende Leitungen, das sind 60 Leitungszweige. Die äußere Einrichtung im einzelnen ergibt sich aus den Abb. 993 u. 994. Die Klinken der Leitungen 1 bis 20 werden in der Regel mit Stammleitungen, diejenigen der Leitungen 21 bis 30 mit Viererleitungen belegt. Zwei Abfrageeinrichtungen sind vorhanden, bestehend aus je zwei Abfragestöpseln FS_1 und FS_2 für das sogenannte unverstärkte Abfragen bei gelöschten Verstärkern, in Dienstleitungen usw., zwei Stöpseln S_s und S_h für das Abfragen und Hören in den mit Verstärkern betriebenen Leitungen, dem Rufschalter RS , dem Abfrageschalter AS , dem Richtungswechsler RW (für die Stöpsel S_s und S_h) und einer Doppelschalteklinke für den Abfrageapparat. Der Schalter RPS für die Rufprüfeinrichtung ist nur einmal vorhanden. Ferner sind vorhanden zwei Meßstöpsel und vier Stöpsel S_v bzw. S_n für die Verstärkungsmessung. Die Eichleitung für diese Messung befindet sich unten im mittleren Paneel.

Der Klinkenumschalter für die Vierdrahtleitungen entspricht im wesentlichen demjenigen für die Zweidrahtleitungen; er kann 30 Vierdrahtleitungen $= 4 \times 30$ Leitungszweige und bis zu 30 Gabelschaltungen aufnehmen. Die zu einer Vierdrahtleitung gehörigen 16 Klinken sind in vier Feldern untereinander angeordnet, wobei zur Verminderung des Übersprechens (wie auch sonst im Amt) die Leitungen, die unverstärkten Strom führen, von den verstärkten Strom führenden getrennt sind. Es ist nur ein Abfragesystem mit einem Satz der dazugehörigen Stöpselschnüre vorhanden. Meßstöpsel und Dienstannrufeinrichtungen wie beim Zweidrahtklinkenumschalter. Verstärkungsmeßeinrichtung (1658). Die Rufprüfschaltung (RPS) fehlt

(1650) Der **Prüfschrank** hat die gleichen äußeren Abmessungen wie der Klinkenumschalter; er reicht für 300 Verstärkersätze (Zweidraht oder Vierdraht) aus. In seinem oberen Teil enthält er in der Mitte ein Ohmmeter *Wni*, wie es in den Klinkenumschaltern M 14 für Fernschränke verwendet wird, für Widerstands- und Isolationsmessungen an den Leitungen; darunter befinden sich die zugehörigen Meßschalter. Links vom Ohmmeter ist ein Spannungsmesser für die

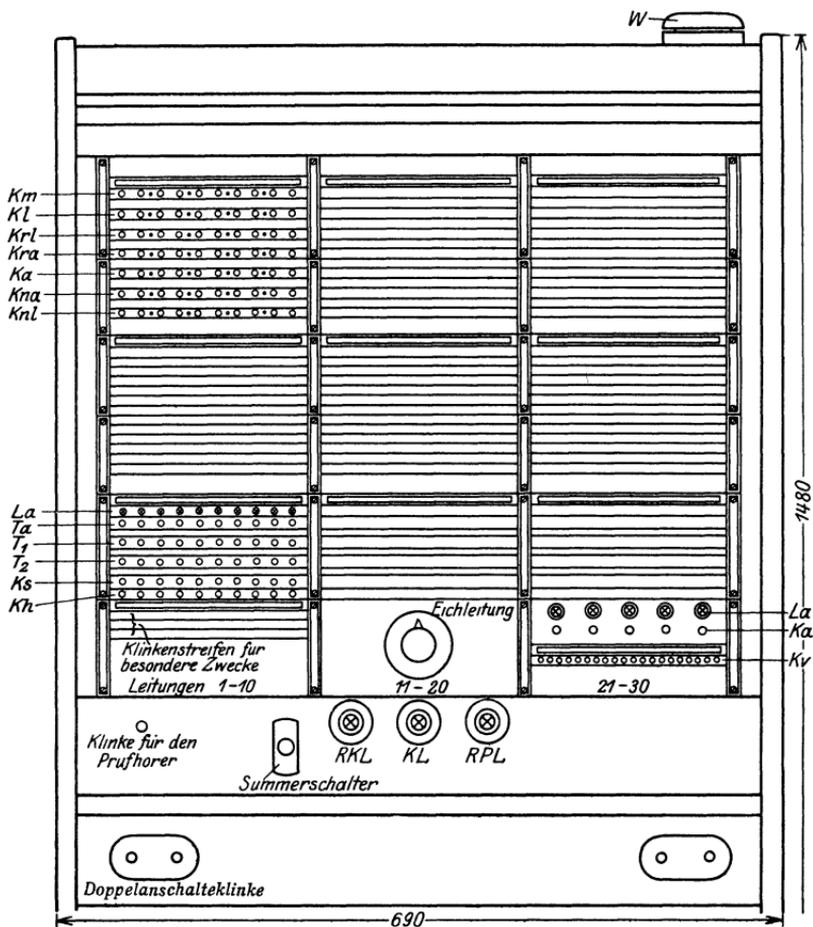


Abb. 993. Klinkenumschalter, Klinkenfeld.

Anoden- und die Gitterspannung, rechts ein Strommesser für den Heizstrom eingebaut. Es ist ein normales Abfragesystem vorhanden.

(1651) Am **Sicherungsgestell**, das 275 cm hoch und 96 cm breit ist, sind die Sicherungen und die Einrichtungen zum Anzeigen von Fehlern in den Strom- und Spannungskreisen des Verstärkerarmes zusammengefaßt, und zwar für 60 Zweidraht- oder Vierdrahtverstärker. Der Heizstromkreis ist durch eine Hauptsicherung für 100 A, die 24 V-Zuführung durch eine Sicherung für 15 A und die Zuführung für den Anoden-, den Gitter- und Rufstrom durch Hauptsicherungen für 2 A gesichert. Die Einzelsicherungen für die Stromkreise sind

zum Teil Steatitsicherungen für 3 A, zum Teil Feinsicherungen für 0,5 A. In den Rufstromzuführungen liegen Rufstromwiderstandslampen. Das Durchbrennen der Hauptsicherungen wird durch Relais angezeigt, die beim Wegbleiben des Stromes stromlos werden und Alarmlampen betätigen. Die Signalschaltung bei den Steatit- und den Feinsicherungen ist die übliche. Die farbigen

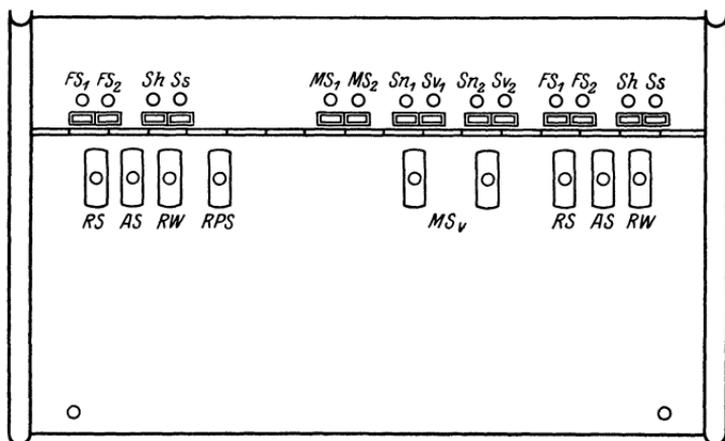


Abb. 994. Klinkenumschalter, Stöpselbrett.

Alarmlampen hierfür und für die Hauptsicherungen sind oben am Gestell angebracht; sie liegen über ein Kontrollrelais, das mit anspricht und jedesmal eine weiße Kontrolllampe und einen Alarmwecker betätigt, an Spannung. In jede Anodenzuleitung ist eine Ein- und Ausschaltetaste und eine Drosselspule von 200Ω (zur Abschwächung der Maschinengeräusche) gelegt. Schließlich sind noch Umschalterelais für den Röhrenersatz vorhanden, die aber neuerdings nicht mehr gebraucht werden, weil Ersatzröhren nicht mehr eingeschaltet werden. Die Sicherungen liegen im rechten Felde des Gestells, die Rufstromwiderstandslampen, Lötösenstreifen, Relais, Tasten usw. links, die Anodendrosseln unten in beiden Feldern.

(1652) Der **Abgleichsatz** (Abb. 995) dient zur Ermittlung der Leitungsnachbildungen. Er enthält in einem Holzkasten, der auf drei abnehmbaren Füßen tischartig aufgestellt werden kann, links den Abgleichprüfer, in der Mitte die veränderliche Kunstleitung für die Nachbildung der Kabelstammleitungen und rechts die auch als Freileitungsnachbildung verwendbare Zusatzschaltung für den Viererabgleich. Der Apparat wird durch lose Stöpselschnüre oder Drähte über Klinken am Nachbildungsgestell und Hilfsklinken an den Klinkenumschalter angeschlossen. In den neueren Ämtern wird ein „Nachbildsucher“ benutzt.

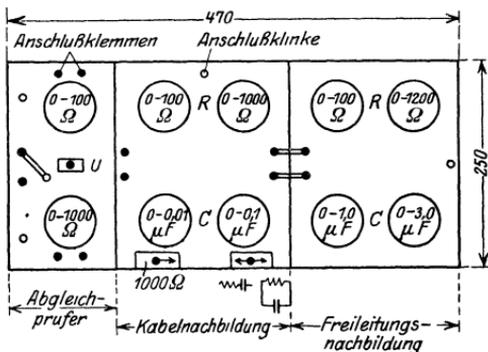


Abb. 995. Abgleichsatz.

Stromläufe.

(1653) **Sprechstrom.** Der Verlauf des Sprechstroms in der Zweidraht-, Vierdrahtleitung und der Gabelschaltung ergibt sich ohne weiteres aus der in den Abb. 989—991 dargestellten Leitungsführung.

(1654) **Rufstrom.** Durchrufschtaltung in Zweidrahtleitungen. Da der Verstärker den niederperiodigen Rufstrom nicht ausreichend überträgt, wird eine Relaisschaltung benutzt. Der aus Richtung F_1 (Abb. 989) kommende Rufstrom fließt über die Ruhekontakte des Weiterrufrelais WR_1 zum Rufrelais RR_1 . Dies spricht an und betätigt über den Erdkontakt das an -24 V liegende Relais WR_2 , das die Rufstromquelle an den Leitungsweig F_2 legt. Ein dritter Kontakt von WR_2 schließt den zugeordneten Vorübertrager kurz, um das Pfeifen des Verstärkers beim Abtrennen der Leitung zu verhindern. Die WR sind mit den Rufstasten im Klinkenumschalter verbunden, so daß auch von da aus wie beim Durchruf gerufen werden kann.

In den Vierdrahtleitungen wird mit im Takt von 25 Hertz unterbrochenem Wechselstrom von 500 Hertz aus einem Rohrsummer oder einer

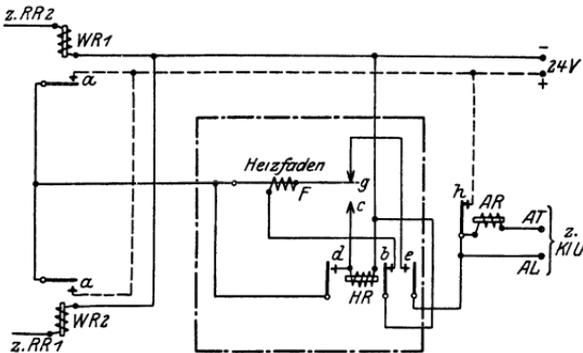


Abb. 996. Hitzdrahtrelais. Schaltung.

Maschine gerufen. Der Vorgang ist beim abgehenden Rufstrom folgender. Die Platzbeamtin sendet Rufstrom von 25 Hertz in die Gabelschaltung. Das Rufrelais betätigt WR , das unter Abtrennung des Ausgleichübertragers den Wechselstrom von 500 Hertz an die Leitung legt. Beim Empfangsamt wird der Wechselstrom von 500 Hertz letztmalig verstärkt, über Widerstände, Kondensatoren und über einen Schwingungskreis, dessen Scheinwiderstand für die Frequenz 500 Hertz sehr groß, für die übrigen Frequenzen sehr niedrig ist und diese daher kurz schließt, dem Gitter einer Hilfsverstärkerröhre zugeführt und schließlich auf eine Gleichrichterröhre übertragen, in deren Anodenkreis ein Anrufrelais liegt. Dieses spricht an und betätigt ein Weiterrufrelais, das Rufstrom von 25 Hertz weitersendet (1641).

(1655) **Anruf der Verstärkerämter.** Für den Dienstverkehr benachbarter Verstärkerämter werden die Adern des sogenannten Kernvierers des Kabels benutzt, die bei den Ämtern auf Dienstanrufzeichen liegen. Auf den Anruf der Zwischenämter von den Endanstalten aus in den Betriebsleitungen selbst wird in den Vierdrahtleitungen vorläufig verzichtet. Im Zweidrahtbetriebe dagegen sind für diesen Zweck verschiedene Schaltungen in Gebrauch, denen gemeinsam ist, daß das rufende Amt Dauerruf von etwa 7 s in die Leitung senden muß. Über einen besonderen Kontakt des WR -Relais wird dann die Zeitanrufeinrichtung betätigt.

Folgende Einrichtungen sind hierfür in Gebrauch:

α) Das Zeitrelais der Firma Ferdinand Schuchhardt. Es hat 2 Elektromagnete mit je einem Anker. Der eine Anker ist mit einer Sperrklinke verbunden, die in die Zähne eines Zahnrades eingreift und das Rad gegen eine Rückwärtsbewegung sperrt. Der andere Anker trägt einen Haken, der in ein zweites, mit dem ersten auf einer gemeinsamen Achse sitzendes Rad eingreift und es beim jedesmaligen Ansprechen des Magnets um einen Zahn fortschaltet. Die gemeinsame Achse trägt noch einen Anschlagstift. Das Zeitrelais wird beim Ansprechen von *WR* in Tätigkeit gesetzt und durch einen Relaisunterbrecher od. dgl. fortgeschaltet. Hat sich die Achse um 7 Schritte gedreht, so schließt der Anschlagstift durch mechanischen Druck einen Kontakt, wodurch das Anrufrelais unter Strom gesetzt wird und die Anruf Lampe aufleuchten läßt. In neueren Ämtern wird die Einrichtung nicht mehr verwendet.

β) Das Hitzdrahtrelais der AEG (Abb. 996). Bei dieser Einrichtung wird der Zeitanruf bewirkt durch die Wärmewirkung eines Hitzdrahts auf eine Blattfeder (nach Art der Relaisfedern), die wie beim Metallthermometer sich bei Erwärmung biegt. Sie liegt zwischen zwei Kontaktschienen, die unter einem Fernsprechrelais *HR* gewöhnlicher Bauart angeordnet sind. Wenn *WR* anspricht und Kontakt *a* schließt, erhält der Heizfaden über *b* Strom. Die Feder *F* wird erwärmt, verläßt den Kontakt *g* und legt sich an *c*. Nunmehr erhält *HR* Strom, hält sich über *d*, Kontakt *b* wird geöffnet, *e* geschlossen. Der Heizfaden wird stromlos, die Feder erkaltet und legt sich zurück an *g*. Es spricht *AR*, das über *AT* an — 24 V liegt, an und hält sich über *h*.

γ) Das Hitzdrahtrelais von S & H — versuchsweise. Die Schaltung ist etwas einfacher als die unter β) angegebene, das Relais *HR* fehlt und der Hitzdrahtfedersatz ist mit auf dem Anrufrelais untergebracht.

δ) Es wird beabsichtigt, in den Zweidrahtleitungen auch den Tonfrequenzruf zu verwenden.

(1656) **Rufprüfeinrichtung** (Abb. 997). Bei der Prüfung der Betriebsfähigkeit der Durchruf- und Anrufeinrichtungen in den Zweidrahtleitungen werden die Stöpsel *FS*₁ und *FS*₂ der linken Abfrageeinrichtung des Klinkenumschalters in die beiden Ka-Klinken einer Leitung gesteckt und der Rufprüfschalter *RPS* umgelegt. Mit dem Rufschalter *RS* wird Rufstrom über *FS*₁ gesandt. Die in den Stöpselschnüren liegenden künstlichen Leitungen mit *b* = 2 ersetzen die Kabelleitung. Der Stromverlauf ist dann wie oben (1654) angegeben. Das Rufprüfrelais *RPR* spricht an, und die im Spiegelbrett des Klinkenumschalters befindliche grüne Lampe *RPL* leuchtet auf. Bei einem Dauerruf von 7 s wird die Zeitanrufeinrichtung in normaler Weise betätigt. Beim Rufen in umgekehrter Richtung müssen die Stöpsel *FS*₁ und *FS*₂ vertauscht werden.

(1657) Die **Abfrage- und Mithöreinrichtung** des Zweidrahtklinkenumschalters ist in Abb. 997 dargestellt. Bei der Benutzung der Stöpsel *FS*₁ und *FS*₂, die parallel mit der Abfrageeinrichtung verbunden sind, ist der Abfrageschalter *AS* auf „unverstärkt abfragen“ umzulegen. An den Klinken *Ks* und *Kh* liegen Abzweigungen zu den Vor- und Nachübertragern der Verstärker. Zum Mithören in den Leitungen, die mit Verstärkern betrieben werden, wird *Sh* in *Kh* eingeführt. Der Schalter *AS* bleibt dann in Ruhestellung. Zum Sprech- und Hörverkehr wird *Ss* in *Ks* gesteckt und *AS* auf „verstärkt abfragen“ umgelegt. Die Richtung, in der verstärkt gesprochen oder gehört wird, wird mit dem Richtungswechsler *RW* gewechselt. Zum Rufen sind die Ruf Tasten *T*₁ bzw. *T*₂ am Klinkenumschalter zu benutzen.

Die Abfrageeinrichtung am Vierdrahtklinkenumschalter entspricht der vorstehend beschriebenen. Der Schalter *RPS* fehlt. Die Kondensatoren von 0,05 μF sind durch hohe Widerstände ersetzt. Wegen der Abzweigungen nach *Ks* und *Kh* vgl. Abb. 990 u. 991.

(1658) Messen der Verstärkungsziffer. Hierzu und zur Prüfung der Betriebsfähigkeit eines Zweidrahtverstärkersatzes dient die in Abb. 998 dargestellte

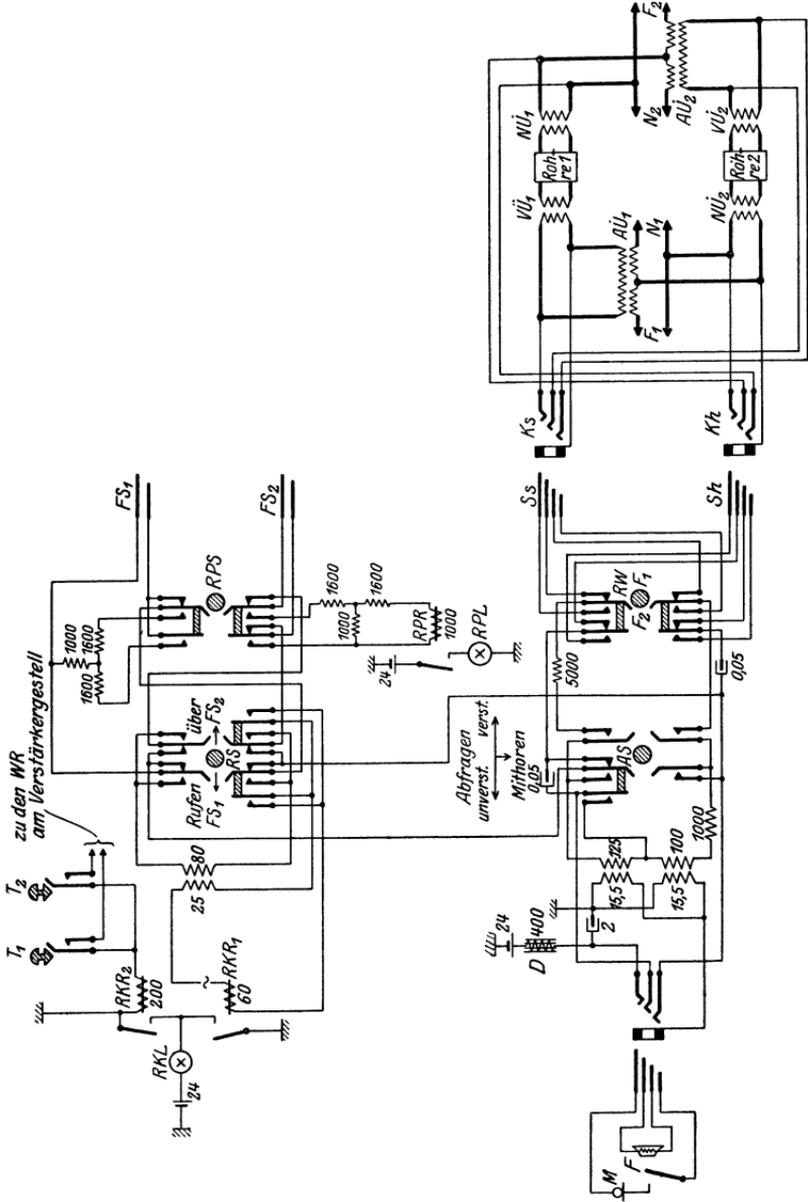


Abb. 997. Klimenumschalter, Abfrageschaltung usw.

Schaltung. Der Summertone (Blattfedersumme $f = 800$ Hertz, später Rohr- oder Maschinensumme mit mehreren Frequenzen) wird abwechselnd über den Verstärker und die veränderliche Eichleitung zum Fernhörer geschickt. Nach

Einstellung der Eichleitung auf gleiche Lautstärke ist die Verstärkungsziffer = 4 vermindert um die Einstellung der Eichleitung. Die Skala der im Mittelfelde des Klinkenumschalters angebrachten Eichleitung zeigt diesen Unterschied unmittelbar an. Beim Umlegen des Umschalters VU_1 wird der Summertone in umgekehrter Richtung durch den Verstärker geschickt und so die Verstärkungsziffer der anderen Röhre gemessen. Künftig wird der Fernhörer durch eine Richtverstärkeranordnung mit Galvanometer ersetzt werden. Die Ermittlung der

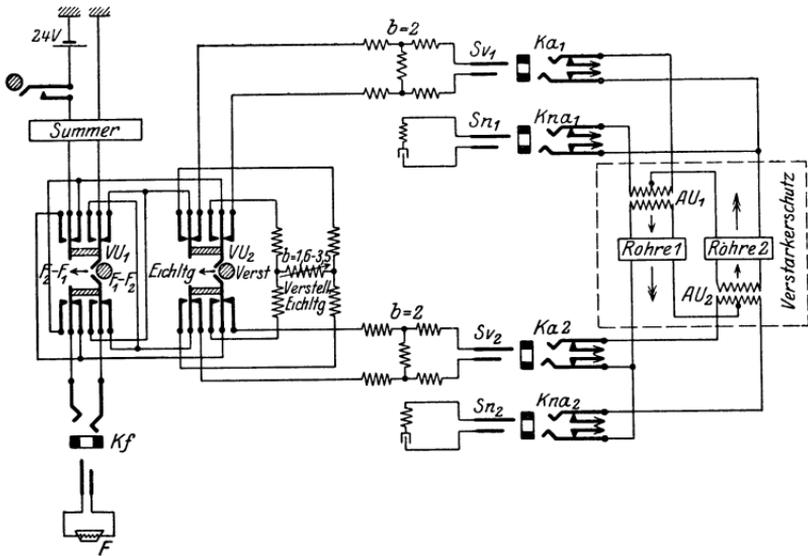


Abb. 998. Verstärkungsmessschaltung.

Verstärkungsziffer erfolgt dann durch Einstellen auf gleichen Nadelausschlag des Galvanometers in beiden Stellungen des Eichschalters. Meßbereich $s = 0,4 \dots 2,4$. Vgl. (1051).

Die Meßeinrichtung für Vierdrahtverstärker ist im Grundsatz die gleiche, in der Schaltung einfacher, da der Richtungswechsel und die Nachbildungen fortfallen. Die eingeschalteten künstlichen Leitungen sind je $b=3$. Meßbereich $s = 2,5 \dots 4$.

(1659) Meßschaltungen. Die Prüfeinrichtung am Prüfschrank für die Prüfung der Außen- und Innenleitungen auf Widerstand und Isolation entspricht der des Klinkenumschalters M 14 für Fernämter, auch wird das gleiche Meßgerät (Ohmmeter Wni von Hartmann & Braun mit drei Meßbereichen, Meßspannung 4 oder 24 V) benutzt.

Der Strommesser zum Messen der Heizstromstärke (1073) ist ein Schalttafelinstrument mit dem Meßbereich $0 \dots 1,5$ A, das von einem Nebenschlußwiderstand von $0,2 \Omega$ (am Sicherungsgestell) über Meßtasten (am Prüfschrank) abgezweigt ist. Der Spannungsmesser zum Prüfen der Betriebsspannungen des Gitters und der Anode der Verstärkeröhren ist gleichfalls ein Schalttafelinstrument mit den Meßbereichen $0 \dots 10$ V und $0 \dots 250$ V, dessen Anschaltung über Hebelumschalter und Kontaktstößel besonderer Bauart stattfindet.

Unterbringung und Aufbau eines Verstärkeramtes.

(1660) Gebäude. Die Verstärkerämter werden je nach den örtlichen Verhältnissen in vorhandenen Postdienstgebäuden oder in Erweiterungsbauten oder

unabhängig von den am Ort befindlichen Verkehrsanstalten in besonders für diesen Zweck errichteten Gebäuden untergebracht, in denen noch Dienstwohnungen für den Telegraphenoberwerkmeister und den Maschinenwärter vorgesehen werden. Für die Unterbringung der Verstärkergestelle, Klinkenumschalter usw. einschließlich der Bedienungsgänge rechnet man bei Ämtern mit 100 und mehr Verstärkern etwa 0,5 m² Bodenfläche je Verstärkersatz, für kleinere Ämter 0,75...1 m². Für die Kabeleinführung, Werkstatt usw. sind besondere Räume vorzusehen. Wegen des Raumbedarfs für die Stromversorgungsanlage (1665). Die Betriebsräume müssen unbedingt trocken und möglichst staubfrei und vor größeren Temperaturschwankungen geschützt sein. Auf eine Erweiterungsmöglichkeit ist Bedacht zu nehmen; bei Neubauten wird in der Regel sogleich Platz für die Verstärkereinrichtungen eines zweiten Kabels vorgesehen. Die Gestellräume müssen eine Tragfähigkeit von 600 kg/m² haben. Die Aufstellungsplane werden beim TRA entworfen.

Betrieb.

(1661) Einordnung und Pflichten. Der Betrieb eines Verstärkeramtes untersteht in der Regel einem Verkehrsamt, wenn es mit diesem auf demselben Grundstück oder im selben Gebäude untergebracht ist, sonst einem Telegraphenbauamt. Ein nicht angegliedertes Verstärkeramt hat gewöhnlich folgendes Personal: einen technischen Beamten (Telegraphenoberwerkmeister), einen Ladewärter und wenigstens zwei bis drei weibliche Beamte. Bei kleineren Ämtern mit geringem Nachtverkehr bleiben die Verstärker nachts gewöhnlich ohne Aufsicht. Der Personalbestand eines sogenannten angegliederten Verstärkeramtes richtet sich nach den örtlichen Verhältnissen. Der technische Beamte ist für die Betriebssicherheit der technischen Einrichtung verantwortlich; er hat das Personal auszubilden und zu überwachen, Störungen zu beseitigen, Leitungen in Betrieb zu nehmen, die Nachweisungen zu führen u. dgl. Der Ladewärter hat die Maschinen- und Batterieanlage zu bedienen und den technischen Beamten bei seinen Arbeiten zu unterstützen. Den weiblichen Beamten liegt in der Hauptsache die Überwachung der Leitungen ob, sie haben sich an den regelmäßigen Messungen zu beteiligen und sonst dem technischen Beamten zu helfen.

(1662) Messungen und Prüfungen. Es sind vorzunehmen:

täglich: Messung des Heizstroms, der Anoden- und der Gitterspannung;
wöchentlich: Messung der Betriebsverstärkung mit 800 Hertz; (bei Regelstellung des Schwächungswiderstandes) eines jeden Verstärkersatzes, Prüfung der Durchruf- und Zeitanrufeinrichtung;

monatlich: Messung der Verstärkungsziffer der nicht in Betrieb befindlichen Verstärker bei voller Empfindlichkeit und Prüfung ihrer Rufeinrichtungen;
vierteljährlich: Prüfung der Leitungsnachbildungen auf ihren Gütegrad;

halbjährlich: Messung der Verstärkungsziffer der Betriebsverstärker in allen Stellungen des Schwächungswiderstandes.

Die Prüfungen werden noch erweitert werden, sobald Meßeinrichtungen für 480, 800 und 1750 Hertz bereitstehen. Ferner finden regelmäßige Messungen an den Leitungen mit Gleich- und Wechselstrom statt.

Verstärkerämter neuer Bauart.

(1663) Leitungsführung. Um die technische Einrichtung bei der in Aussicht stehenden Elektrisierung der Eisenbahnen vor der Einwirkung etwa vorkommender schädlicher hoher Spannungen zu schützen, wird neuerdings die Leitungsführung folgendermaßen eingerichtet. Die Leitungen werden nicht mehr vom Kabelendverschluß zum Hauptverteiler und dann zum Klinkenumschalter geführt, sondern sie verlaufen vom Endverschluß über das Kabelverteilergestell zunächst nach den Ringübertragern am Zusatzgestell. Diese, sowie die davor

liegenden Kabel, Drahte, Lötösenstreifen müssen 2000 V effektive Wechselspannung von 50 Hertz gegen Erde aushalten. Von den Ringübertrager verlaufen die Leitungen in gewöhnlicher Weise über den Hauptverteiler nach dem Klinkenumschalter usw. Die Klinken K_m , K_l und K_{yl} (Abb. 989) in letzterem sind bei dieser Leitungsführung entbehrlich und werden nicht benutzt. In dieser Weise sind die ab Anfang 1925 eingerichteten Ämter gebaut; bei den älteren Ämtern wird die Leitungsführung später geändert.

(1664) Gestelle und Apparate. Zur Vereinfachung der technischen Einrichtungen und Herabminderung der Gefahr des Übersprechens besonders im Vierdrahtbetriebe werden die neuesten Verstärkerämter folgendermaßen gebaut. Der Leitungsverlauf von der Einföhrung bis zum Hauptverteiler ist wie unter (1663) angegeben. Der Klinkenumschalter und der Prufschrank sind fortgefallen. Die darin enthaltenen Leitungsklinken usw. sowie Prufeinrichtungen sind an die Verstärkergestelle und das Sicherungsgestell verlegt worden. Das neue Verstärkergestell nimmt 10 Verstärkersätze auf. Einzelheiten eines Zweidrahtverstärkergestells sind aus Abb. 999 ersichtlich. Zu den Leitungsklinken K_{ra} , K_a , K_{na} und K_{nl} ist eine zwischen K_a und K_{na} unmittelbar vor dem Verstärker liegende Klinken K_{la} hinzugekommen. Die linke Abfrageeinrichtung gehört zu den 5 oberen Verstärkersätzen, die rechte zu den 5 unteren. Die Umschaltungen auf die Meßeinrichtungen usw. werden mit losen Stöpselschnüren ausgeführt. Das Vierdrahtverstärkergestell hat die gleiche Bauart, nur fehlen die Relaisätze und Umschalter für den Durchruf und Anruf. Die Einrichtung des Gabelgestells, das 10 Gabeln aufnimmt, und des Echosperrergestells, das 20 Echosperrer faßt, entspricht derjenigen der Verstärkergestelle. Statt des bisherigen Einheitsverstärkers werden je nach den Leitungsarten verschiedene Verstärkertypen mit Entzerrung für die Anlaufzeit $s/2$ verwendet. Bei den Zweidrahtverstärkern sind die Spulenketten allgemein mit dem Verstärkersatz vereinigt, S & H verwenden statt der Spulenkette eine sogenannte Doppelbrücke. Das Nachbildungsgestell (Hoytsche Nachbildung) und das Leitungszusatzgestell sind im wesentlichen die alten geblieben. Bei letzterem werden die Ringübertrager mit den Leitungszusätzen wieder auf Platten vereinigt (vgl. auch unter (1648)). Auf dem Sicherungsgestell (wie bisher für 60 Verstärker) sind die Meßgeräte zum Messen des Heizstromes usw., die Anrufschaltungen für die Dienstleitungen, die Rufprüfeinrichtung und die Verstärkungsmeßeinrichtung mit untergebracht. Die Meßgeräte für die Gleichstrom- und Wechselstrom-

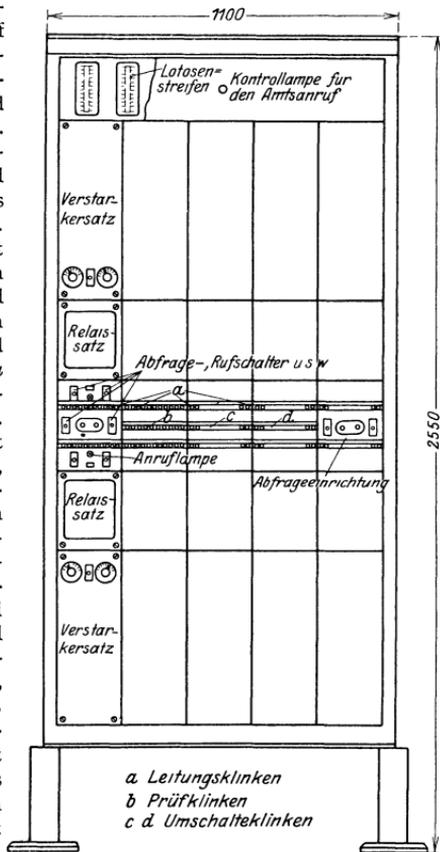


Abb. 999. Zweidrahtverstärker-Gestell.

prüfungen werden zu einem besonderen Meßschränke vereinigt, dessen Entwicklung vor dem Abschluß steht. Am Sicherungsgestell sind noch folgende Neuerungen zu erwähnen: 1. Außer den bisherigen Meßeinrichtungen für den Heizstrom und die Anoden- und die Gitterspannung sind noch solche für den Anodenstrom, die Heiz- und die 24-Volt-Spannung vorgesehen. 2. Statt der Ein- und Ausschaltetasten für die Heizung und die Anode werden Schalter verwendet. 3. Statt der Feinsicherungen im Anodenkreis werden Sicherungslampen, für jeden Verstärkersatz zwei, verwendet, die oben am Gestell angeordnet sind. 4. Die Einzelsicherungen für den Gitterstromkreis sind fortgefallen. 5. die Zahl der Alarmlampen ist auf 7 vermindert.

Die Schaltungen sind im wesentlichen unverändert geblieben. Das Messen der Verstärkungsziffer geschieht nach der sogenannten Z-R-Methode. Statt des Hörvergleichs wird eine Richtverstärkeranordnung mit Galvanometer verwendet. Der Summerstrom (3 Frequenzen, 480, 800 und 1750 Hertz) wird Stimmgabelrohrsummern oder Tonfrequenzmaschinen entnommen. Letztere haben noch die Frequenz 1000 Hertz. Das Nachbildverfahren ist wesentlich vereinfacht worden.

Die Verstärkergestelle werden zu drei in einer Reihe aufgestellt und bilden in zwei Reihen eine Gruppe von 60 Verstärkern, derart, daß die Vorderseiten der beiden Gestellreihen einander gegenüberstehen. Das Sicherungsgestell wird einer Gestellreihe angegliedert. Raumbedarf s. (1660).

Vgl. im übrigen die neue Literatur, s. S. 601.

Stromversorgung.

(1665) Batterien und Maschinen. Der Heizstrom wird zwei Sammlerbatterien von je 12 V entnommen, die abwechselnd benutzt werden. Hintereinander geschaltet liefern sie die 24-V-Spannung für die Anrufrelais, Anruf Lampen usw. Die mit dem Minuspol geerdete Anodenspannung von 220 V wurde anfangs bei den älteren Ämtern dem Netz entnommen, wenn die Spannung nicht mehr als zwischen 210 und 230 V schwankte. Sonst wurde ein Motorgenerator aufgestellt. Als Ersatz für Störungsfälle diente ein Anodenumformer, der aus der Batterie (24-V-Stufe) betrieben wurde. Neuerdings werden allgemein Anodenbatterien und Netzanodenumformer, die im Pufferbetrieb arbeiten, verwendet. Die Gitterspannung liefern Kleinsammler (Accometsammler), die im Fuße des Sicherungsgestells untergebracht werden. Für die Erzeugung des Rufstroms werden zwei Rufmaschinen für 60 V Sekundärspannung aufgestellt, von denen eine aus dem Netz, die andere als Ersatz aus der Batterie (24-V-Stufe) angetrieben wird. Die Hauptverstärkerämter erhalten eine Netzersatzmaschine (Benzin- oder Dieselmotor) für Störungsfälle. Die Heizbatterien werden so bemessen, daß beim Versagen des Netzes jede für sich die Höchststromstärke (siehe unten), berechnet für volle Beschaltung des Kabels, 10 Stunden lang hergeben kann. Es ist Platz zur Aufstellung einer dritten Batterie von doppelter Kapazität für ein weiteres Kabel vorzusehen; die vorhandenen beiden Batterien werden dann zu einer Gruppe parallel geschaltet, die neue Batterie ist die zweite Gruppe. Zum Laden und Puffern der Batterie dienen zwei Ladeumformer, von denen einer in Pufferschaltung zur Heizbatterie 12 V, die am Pluspol geerdet ist, die Heizstromlieferung ohne Spannungserhöhung der Heizbatterie über 13,2 V hinaus übernehmen soll, während der zweite Umformer die obere 12-V-Gruppe unter Spannungserhöhung von 12 auf 17 V zu laden hat. Beide Umformer und Batteriegruppen sind gegeneinander austauschbar. Die Ladeumformer werden so reichlich bemessen, daß sie beim Endausbau des ersten Kabels jeder für sich, bei Verlegung eines weiteren Kabels beide in Parallelschaltung die Höchststromstärke im Pufferbetrieb hergeben können. Sie müssen je $1,1 n$ A leisten, und zwar bei 12...15 V und dann bei abfallender Stromstärke bis 17 V, wobei n die Zahl der Verstärker, Echosperrer usw. bei

voller Beschaltung des Kabels bedeutet. Für die Maschinenanlage werden bei Nebenämtern etwa 50 m², bei Hauptämtern 70 m², für die Sammler bei beiden Ämtern je 25...30 m² Grundfläche (einschl. Vorrat) gebraucht.

(1666) **Strombedarf** s. (1145, 3), S. 292.

Literatur: Das Fernsprechen im Weitverkehr. Denkschrift des RPM, November 1923, auch ETZ 1924. — Die Fernsprechverstärkereinrichtungen. Erg.-Heft 18/1925 zur Beschreibung der bei der DRP gebräuchl. Apparate. — Anweisung für den Betrieb von Fernsprechverstärkerämtern. Allg. Dienstanzweisg. für P. u T., V, 6 Anhang 6. — Vorläufige Beschreibung der Einrichtungen für den Vierdrahtverstärkerbetrieb. Erg.-Heft 1925 (ohne Nr.). — Höpfer: Verstärkerschaltungen und Verstärkerämter im deutschen Fernkabelnetz. Das Fernkabel. Jahrg. 1, Heft 2, 1922. — Pohlmann: Verstärkerämter. TFT 1923, S. 21, 29. — Engelhardt: Die Schaltungen der Fernsprechverstärkerämter mit festeingebauten Zwischenverstärkern. Zeitschr. f. Fernmeldetechnik. 1922, S. 97, 109, 121. — Schulz, H.: Welches Übertragungsmaß ist zum Gebrauch in der Ferntelefonie zweckmäßig und wie wird gemessen? TFT 1926, S. 161, 265. — Mayer, H. F., u. Nottebrock: Echosperrerr für Fernverbindungen. TFT 1926, S. 353. — Deutschmann u. Nottebrock: Neuzeitl. Fernsprechverstärkerämter. ETZ 1926, S. 1514, 1539. — Benzin- und Dieselmotoren für Netzersatzanlagen bei Verstärkerämtern. Erg.-Heft z. App. Beschr. 20/1926. — Zuhke: Fernsprechverstärkerämter neuer Bauart. TFT 1927, S. 9

Kleine Verstärkerämter.

(1667) **Allgemeines.** Kleine Verstärkerämter sind solche Verstärkeranlagen, die unter Benutzung von Einzelverstärkern (1668 und 1669) durch Personal der Post- und Telegraphenverwaltung errichtet werden, im Gegensatz zu den großen

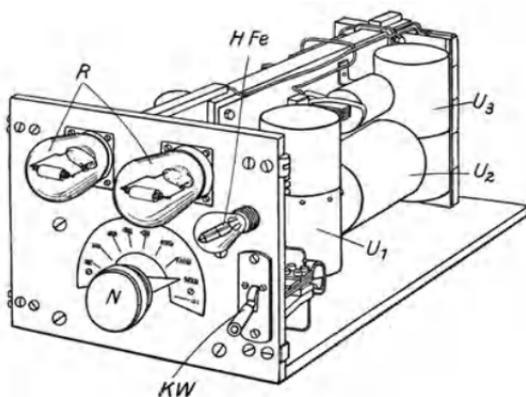


Abb. 1000. Der Zweiröhrenzwischenverstärker von Siemens & Halske. (G. verst. 14.) Verstärkersatz.

Verstärkerämtern (1642 ff.), deren Aufbau in gestellmäßiger Form durch eine Firma erfolgt. Die kleinen Verstärkerämter ermöglichen es, im Betriebe auftretende Einzelbedürfnisse zur Verstärkung der Sprechströme rasch zu befriedigen; sie erhalten eine Aufnahmefähigkeit bis zu sechs Zwischenverstärkern. Sollen weitere Verstärker aufgestellt werden, so wird in der Regel die vorhandene Anlage gestellmäßig zu einem großen Verstärkeramt nach dem Muster des in (1663...1665, 1643 u. f.) beschriebenen Verstärkeramtes umgebaut.

(1668) **Der Zweiröhrenzwischenverstärker** von Siemens & Halske. a) Der Zwischenverstärkersatz (G. verst. 14). Die Schaltung des Verstärkers, dessen äußere Ansicht Abb. 1000 zeigt, ist in ihren grundsätzlichen Merkmalen bereits in (1663/4) beschrieben worden. Der äußere Aufbau der Schaltung zeigt an der Vorderwand die beiden Röhren, ferner den Eisenwiderstand zur Regelung der Heizstromstärke, den Drehschalter zur Betätigung der Schwächungswiderstände

für die Verstärkungsregelung, außerdem einen Schalter zum Prüfen der Symmetrie der Schaltung, den sogenannten Kopplungswechsler. Die Übertrager sind

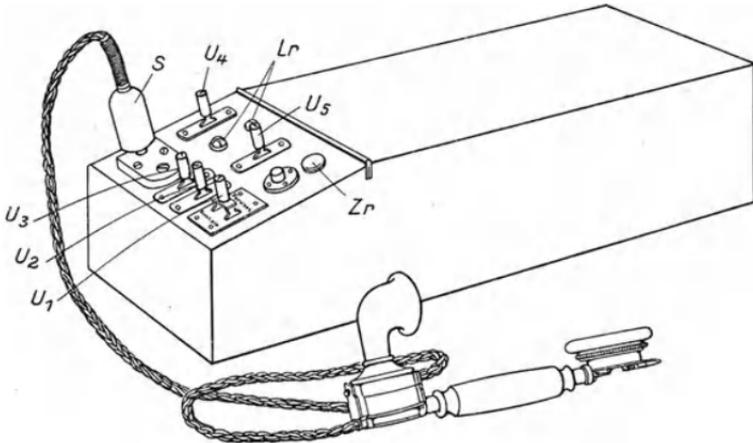


Abb. 1001. Der Zweiröhrenzwischenverstärker von Siemens & Halske. (G. verst. 14.) Durchrufschiene.

zur Vermeidung gegenseitiger induktorischer Beeinflussung gegeneinander im rechten Winkel versetzt. Zum Schutze gegen äußere Beschädigungen wird der Verstärkersatz von einem Schutzkasten aus Holz oder Eisenblech umgeben. Fernleitungen und Leitungsnachbildungen, Abfragesystem und Betriebsspannungen werden der Schaltung an einer Doppelklemmenleiste zugeführt, die sich an der Rückseite des Verstärkers befindet.

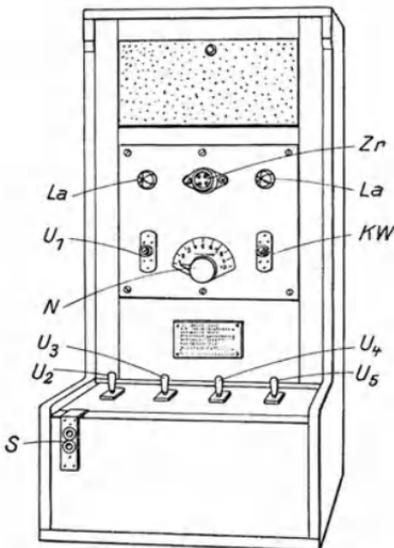


Abb. 1002. Zwischenverstärkerschrank der Allg. Elektrizitätsgesellschaft.

b) Die Durchrufschiene. Die in der Abb. 1001 dargestellte Rufschaltung enthält die zur Bedienung des Verstärkersatzes erforderlichen Teile. Es sind 5 Schalter vorhanden, davon bedeuten: U_1 den Umschalter zum Einschalten des Verstärkers, U_2 den Umschalter zum Umschalten des Überwachungsapparates für den Sprechverkehr mit Fernleitung 1 bzw. 2, U_3 den Umschalter zur Einschaltung des Überwachungsapparates für den Sprechverkehr oder nur zum Mithören, U_4 den Einschalter der selbsttätigen Rufübertragung, U_5 den Schalter zum Rufen nach Leitung 1 bzw. 2. Der Anschluß der Rufschaltung an den Verstärkersatz erfolgt an einer Klemmenleiste und wird so ausgeführt, daß

ihre Klemmen mit den entsprechend bezeichneten Klemmen des Verstärkersatzes verbunden werden. Die Leitungsnachbildungen werden an entsprechend bezeichnete Klemmen des Verstärkersatzes unmittelbar herangeführt. Das Zusammen-

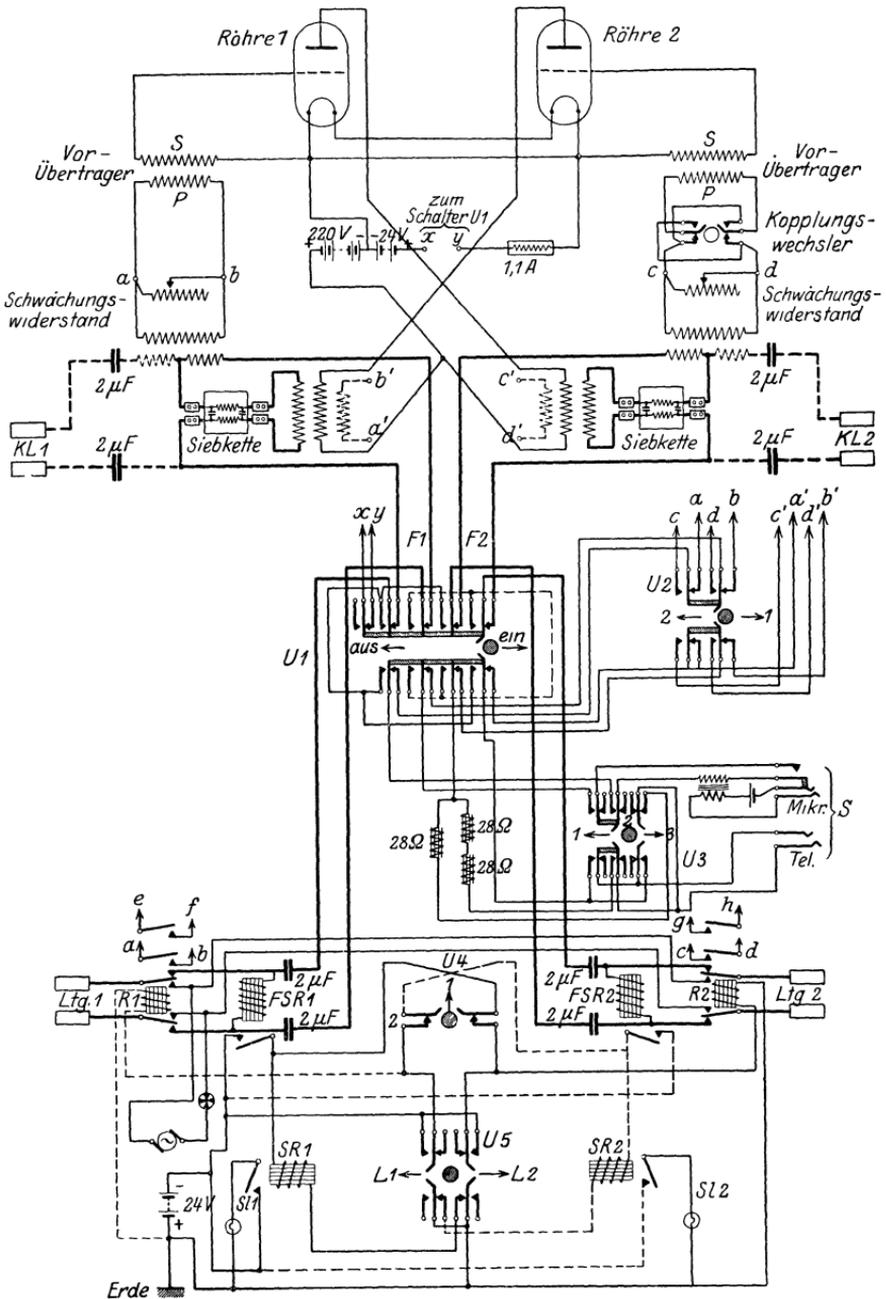


Abb. 1003. Stromlauf des Zwischenverstärkerschanks ZVS 22 der AEG.

wirken von Verstärkersatz, Rufschaltung und Abfrageeinrichtung in einer Leitungsverbindung zeigt Abb. 1003.

(1669) Der Zwischenverstärkerschrank der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft (ZVS 22). Die gesamte Schaltung mit Übertragerspulen, Heizwiderständen, Nebenschlußwiderständen usw. einschließlich der Einrichtungen zur Überwachung und Bedienung der Verbindungen ist in einem Schrank untergebracht. (Vgl. Abb. 1002). In der oberen Hälfte befinden sich die zum Verstärkersatz gehörigen Teile; darunter sind die für die Bedienung notwendigen Einrichtungen untergebracht. An der Vorderseite des Schrankes befindet sich der Drehschalter zum Regulieren der Schwächungswiderstände, der Kopplungswechsler KW , der Schalter U_1 für die Einschaltung des Verstärkers, das Schauzeichen für den abgehenden Rufstrom Zr und die beiden Anruflampen La . In dem tischförmigen Unterteil liegen die Kelloggschalter U_2 bis U_5 . Die Bedeutung der Schalter ist die gleiche wie beim Zwischenverstärker G. verst. 14 (vgl. unter 2b die Durchrufschaltung). Die Anschlüsse sind auf der Deckplatte des Verstärkerschrankes angebracht. Abb. 1003 enthält den grundsätzlichen Stromlauf der gesamten Einrichtung, aus dem die Wirkungsweise des Verstärkers bei Einschaltung in eine Leitungsverbindung zu ersehen ist.

Der aus Leitung 1 ankommende Sprechstrom gelangt über die Kontakte des Rufrelais R_1 , über die Rufsperrkondensatoren zu $2 \mu F$ und den Schalter U_1 zum Ausgleichsübertrager und zur künstlichen Nachbildung der Leitung 1. Durch den Ausgleichsübertrager wird der Strom an den eigentlichen Vorübertrager und von da an das Gitter der Röhre 1 geleitet und hier verstärkt. Der verstärkte Strom fließt über den Nachübertrager und die Siebkette zum Ausgleichsübertrager der Röhre 2 und verzweigt sich hier in die Fernleitung 2 (über U_1 , die Rufsperrkondensatoren und die Kontakte des Rufrelais R_2) sowie in die zugehörige künstliche Nachbildung. Die Nachbildung muß in ihren elektrischen Eigenschaften mit denen der wirklichen Fernleitung ausreichend genau übereinstimmen, damit nicht Stromunterschiede entstehen und auf das Gitter der Röhre 2 übertragen werden. Solche Restströme werden als „Rückkoppelung“ bezeichnet und können bei genügender Stärke zu einem Selbsterregen (Pfeifen) des Verstärkers führen (1619). Die Siebketten werden eingeschaltet, wenn pupinisierte Leitungen in Frage kommen, um die Übereinstimmung zwischen den Fernleitungen und ihren künstlichen Nachbildungen zu erleichtern. Ein aus Fernleitung 1 ankommender Ruf bringt Relais FSR_1 zum Ansprechen. Dessen Ankerkontakt schließt einen Stromkreis, in dem das Weiterrufrelais R_2 betätigt wird. Letzteres verbindet Leitung 2 mit der Rufstromquelle. Gleichzeitig wird SR_1 erregt und schließt den Stromkreis der Signallampe $Sl 1$. In gleicher Weise sinngemäß würde der aus Leitung 2 ankommende Rufstrom in die Fernleitung 1 übertragen werden. Mit Hilfe der Schalter U_3 und U_2 kann sich die überwachende Beamtin in die Verbindung einschalten und mit den Endämtern verstärkt sprechen und hören. Bei Betätigen des Schalters U_2 liegt das Mikrophon an den Gittern der Röhren (Punkte ab bzw. cd), der Fernhörer an den Anoden (Punkte $a'b'$ bzw. $c'd'$).

(1670) Aufbau eines kleinen Verstärkeramts. Die Schaltung der Batterien, der Sicherungsanlage, die Unterbindung der Ringübertrager, der Leitungszusätze und Leitungsnachbildungen sowie die Verstärkungsmeßeinrichtung sind nach ähnlichen Grundsätzen wie bei einem großen gestellmäßig aufgebauten Verstärkeramt ausgeführt. Naturgemäß erhalten alle Einrichtungen, da sie für einfachere technische Verhältnisse bestimmt sind, entsprechend einfachere Ausführungsformen. Abb. 1004 zeigt die Apparatanordnung bei einer kleinen Verstärkeranlage mit mehreren Verstärkern. Man erkennt, daß die Verstärkerleitungen über Klinken des Hauptklinkenumschalters des Fernamts an das Nachbildungs- und Zusatzgestell, wo die Ringübertrager und die erforderlichen Falles einzuschaltenden Verlängerungsleitungen untergebracht sind, und von da weiter an die

Leitungsklinken eines Hilfsklinkenumschalters geführt werden. An dessen Apparatklinken sind die Verstärkerapparate angeschlossen. Der Hilfsklinkenumschalter ermöglicht es, die Verstärkerapparate mit der im Prüfkasten enthal-

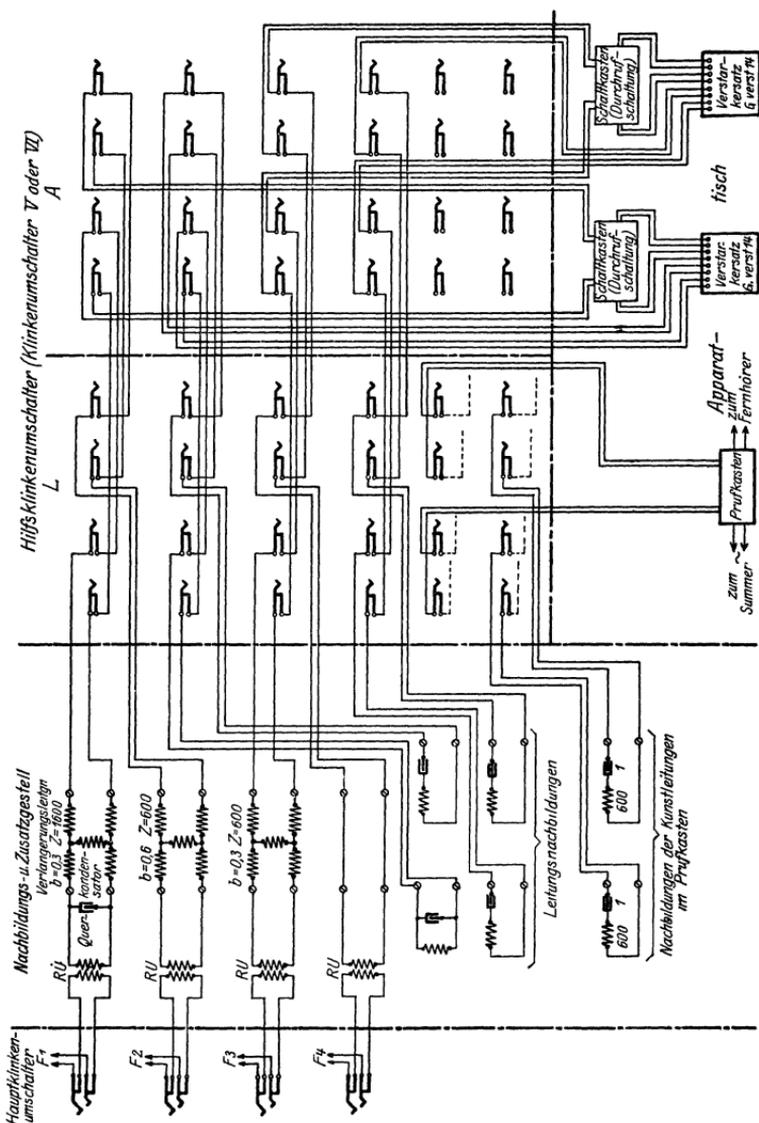


Abb. 1004. Schema der Apparatanordnung einer kleinen Verstärkeranlage.

tenen Verstärkungsmeßeinrichtung zu verbinden, sowie gestörte Leitungen bzw Verstärkerapparate gegen betriebsfähige durch einfaches Umschalten mittels loser Stöpselschnüre zu ersetzen.

Die Schnurverstärkereinrichtungen.

(1671) Allgemeines. Im Gegensatz zu den an Zwischenorten fest in eine Leitung eingeschalteten Verstärkern stehen solche Verstärkereinrichtungen, die als wählbare Schaltglieder bei den Fernämtern in Bereitschaft gehalten werden, um bei eintretendem Bedürfnis verschiedene Fernleitungen von Durchgangsverbindungen von erträglichem Dämpfungsmaß miteinander zusammenzuschalten. Die Einschaltung erfolgt bei den Fernämtern mit Schnurstöpseln, die Anfang und Ende jedes Verstärkersatzes bilden und in Schaltklinken der Fernleitungen sowie der zugeordneten Leitungsnachbildungen eingesetzt werden. Wegen ihrer technischen Ausbildung als Schaltelement mit Stöpselschnüren hat sich für solche Verstärker der Name „Schnurverstärker“ eingebürgert.

(1672) Kleine Schnurverstärkeranlagen. Da ein kleines Verstärkerarmat mit Hilfsklinkenumschalter (Abb. 1004) eine gewisse Schaltmöglichkeit besitzt, ist es zugänglich, mit Hilfe dieses Klinkenumschalters und von Schnurstöpseln einen Zwischenverstärker wahlweise zwischen verschiedene Fernleitungen einzuschalten. Für alle an einem solchen Betriebe beteiligten Fernleitungen müssen aber Nachbildungen vorhanden sein. Normalisierte Einheitsformen kleiner Schnurverstärkeranlagen (bis zu 6 Verstärkern) haben sich noch nicht herausgebildet.

(1673) Große Schnurverstärkereinrichtungen. Als solche werden Anlagen bezeichnet, bei denen die Zahl der Verstärker mehr als 6 beträgt und alle zur Bedienung erforderlichen Teile in einem Schaltschrank vereinigt sind. Die Herstellung und Aufstellung des Schnurverstärkerschranks erfolgt durch eine Firma.

a) Schnurverstärker für Gesprächsüberwachung am Verstärkerschrank. a) Ältere Bauart. Die zur betriebsmäßigen Bedienung einer Schnurverstärkeranlage wesentlichen Teile sind in einem Fernschrank untergebracht, der nach seinen Abmessungen und Schalteinrichtungen dem Fernschrank ZB 10 entspricht. Die älteren Verstärkerschränke enthalten auch noch die Verstärker selbst, die in Form von Apparatesätzen in den oberen Teil der 5 Paneele des Fernschranks eingebaut sind (Abb. 1005). Die Verstärkersätze sind dieselben wie sie unter (1668), Abb 1000 dargestellt sind. Die Schalter, Tasten und Stöpselschnüre sind in das Stöpsel- und Schalterbrett des Verstärkerfernschranks neben den gewöhnlichen Stöpseln und Schaltersätzen eingesetzt. Die Verstärkersysteme endigen in Stöpselschnüren. Zwei Stöpsel dienen zum Anschalten der Fernleitungen, zwei weitere zum Anschalten der Leitungsnachbildungen. Im Klinkenfeld befinden sich alle Fernleitungen, die überhaupt am Verstärkerbetrieb teilnehmen sollen. Unter jeder Fernleitungsklinke Kfv ist eine zweite Klinke Kn angeordnet, an der die Leitungsnachbildung liegt. Die Umschaltung der Leitungen vom Fernplatz auf die Verstärker erfolgt durch Umschalterrelais UR , die die Fernleitungen vom gewöhnlichen Fernplatz abtrennen und auf den Verstärkerschrank schalten (Abb. 1006).

Auf der linken Seite des Verstärkerschranks, und zwar da, wo bei gewöhnlichen Fernschränken ZB 10 die Fächer zur Aufbewahrung der Dienstbefehle sich befinden, ist die Einrichtung zur betriebsmäßigen Feststellung der Verstärkungsziffern eingebaut. Schaltung und Meßverfahren sind von grundsätzlich gleicher Art, wie in (1658) beschrieben ist.

Für den dienstlichen Sprechverkehr zwischen Verstärkerschrank und den gewöhnlichen Fernplätzen sind Ferndienstleitungen Kd vorgesehen, die am Verstärkerschrank für den Verkehr in Richtung nach dem Fernamt auf Klinke, in umgekehrter Richtung auf Anruflampe und Abfrageklinke geschaltet sind. Die Schaltung ist dieselbe wie beim Schrank ZB 10.

Sind am Verstärkerschrank auch Fernleitungen amtsendigend zu betreiben, so müssen noch Fernvermittlungsleitungen VL und Dienstleitungen nach den Fernvermittlungs(Vorschalte-)plätzen vorgesehen werden. Ebenso muß das normale Fernklinkenleitungsfeld Kf vorhanden sein für den Fall, daß auch Durchgangsverbindungen ohne Verstärker ausgeführt werden sollen.

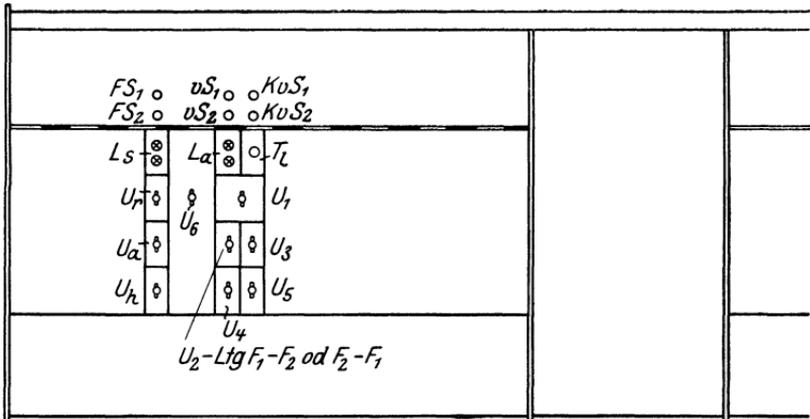
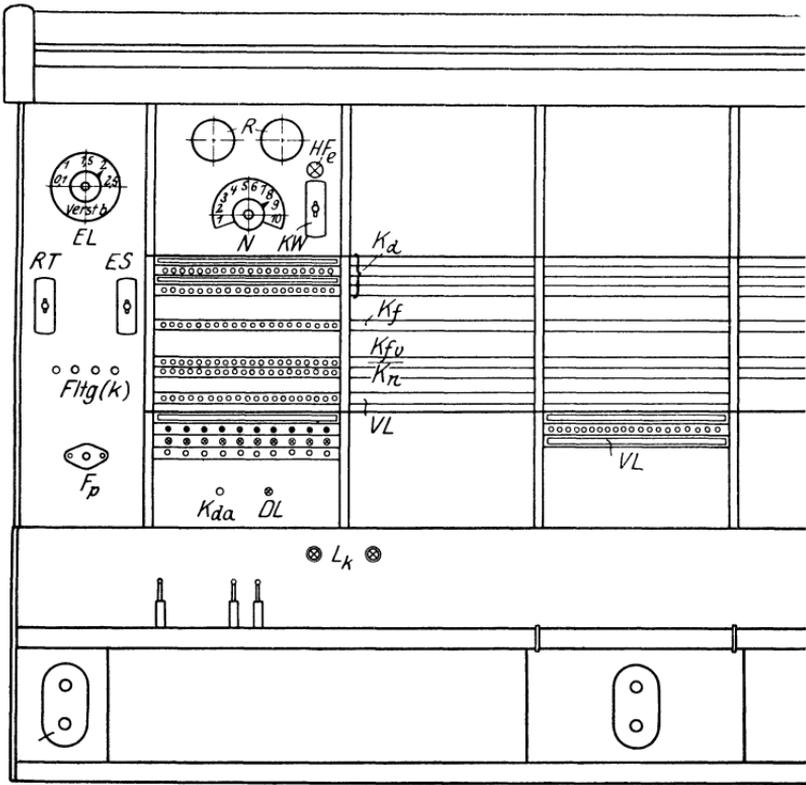


Abb. 1005. Der Verstärkerschrank alterer Bauart.

Die Nebenapparate wie Relais, Verlängerungsleitungen, Querkondensatoren, Leitungsnachbildungen, Sicherungen und Signallampen sind an besonderen Gestellen untergebracht.

Schnurverstärkeranlagen dieser Ausführung werden nicht mehr hergestellt.

b) Neuere Bauart. Bei allen neueren Schnurverstärkern werden die Verstärkersätze wie bei Festverstärkern grundsätzlich außerhalb der Schränke an Gestellen untergebracht.

In den Schränken selbst — wiederum Fernschränke ZB 10 — befinden sich nur noch die Schwächungswiderstände. Die Gestelle für die Verstärkersätze wie die der Leitungsnachbildungen und der Sicherungen entsprechen mit geringen Abweichungen den Einrichtungen bei Ämtern mit festen Verstärkern. Zu vgl. Teil II. Die nach Bedarf einzuschaltenden Zusätze, Querkondensatoren und Verlängerungsleitungen sind an einem zum Sicherungsgestell gehörigen besonderen Gestellteil mit untergebracht, an dem auch die Umschalterelais *UR* der am Ver-

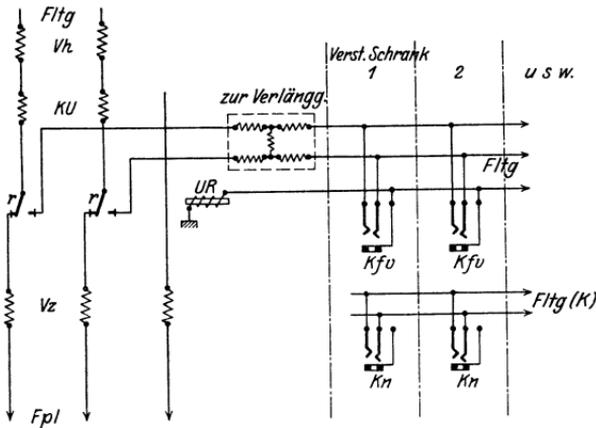


Abb. 1006. Umschaltung der Fernleitungen zum Schnurverstärkerschrank.

stärkerbetriebe beteiligten Fernleitungen Platz finden. Die Anordnung der Schalter, Schnüre und Klinken ist die gleiche wie bei dem Verstärkerschrank unter *a*.

Die Grundschialtung einer Schnurverstärkeranlage neuerer Ausführung ist aus Abb. 1007 ersichtlich. Der Gang einer Schnurverstärkerverbindung ist folgender:

Die Verstärkerbeamtin setzt die Stöpsel *VS*₁ und *VS*₂ in die Klinken *Kfu* 1 und *Kfu* 2 der ihr bezeichneten Fernleitungen, dann die Stöpsel *KVS*₁ und *KVS*₂ in die Klinken *Kn* 1 und *Kn* 2 der zugehörigen Nachbildungen unterhalb der Leitungsklinken. Beim Einsetzen der Nachbildungsstöpsel *KVS*₁ und *KVS*₂ in die Klinken der Leitungsnachbildungen erfolgt die Zündung der Verstärkeröhren selbsttätig mit Hilfe der beiden Zündrelais *ZR*₂ und *ZR*₁. Der Verstärker wird also erst dann gezündet und betriebsbereit gemacht, wenn die Leitungen und ihre Nachbildungen angeschaltet sind. Dadurch wird verhindert, daß die Symmetrie der Verstärkerschaltung gestört und Selbsterregung (Pfeifen) des Verstärkers verursacht wird. Das Aufleuchten der gelben Lampe *ZL* zeigt an, daß die Röhren brennen und der Verstärker eingeschaltet ist. Die weiße Lampe *ZL* leuchtet auf, wenn beim Durchbrennen einer Röhre (selbsttätig) die Ersatzröhren sich einschalten.

Um das Gespräch einzuleiten, legt die Verstärkerbeamtin den Abfrageschalter in die Sprechstellung und betätigt den Richtungswechsler *Rw*. Nach Erledigung der dienstlichen Vorbemerkungen, wenn das Gespräch beginnt, schaltet sie sich

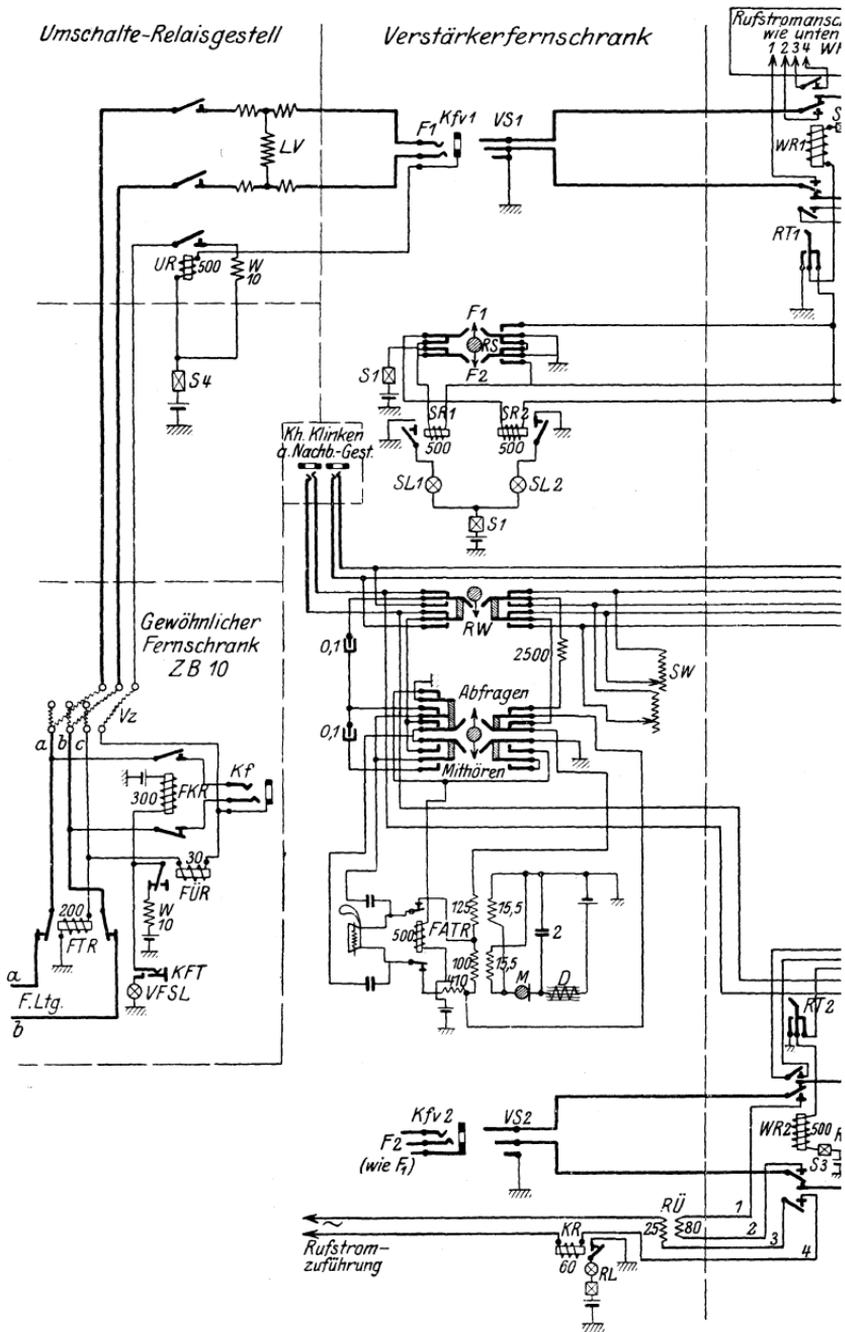
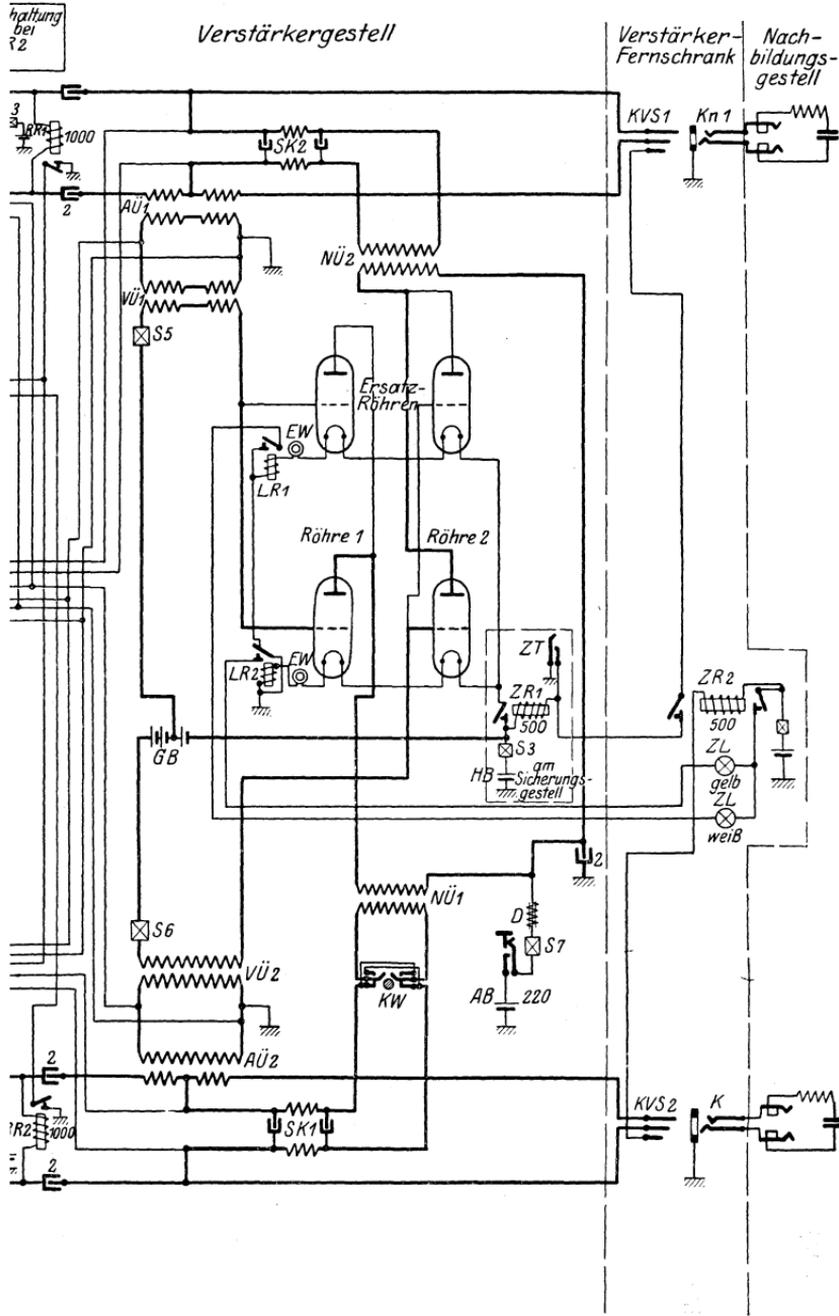


Abb. 1007. Grundschiung einer Schnurverstärkeranlage neuer



ter Ausführung. Gesprächsüberwachung am Verstärkerschrank.

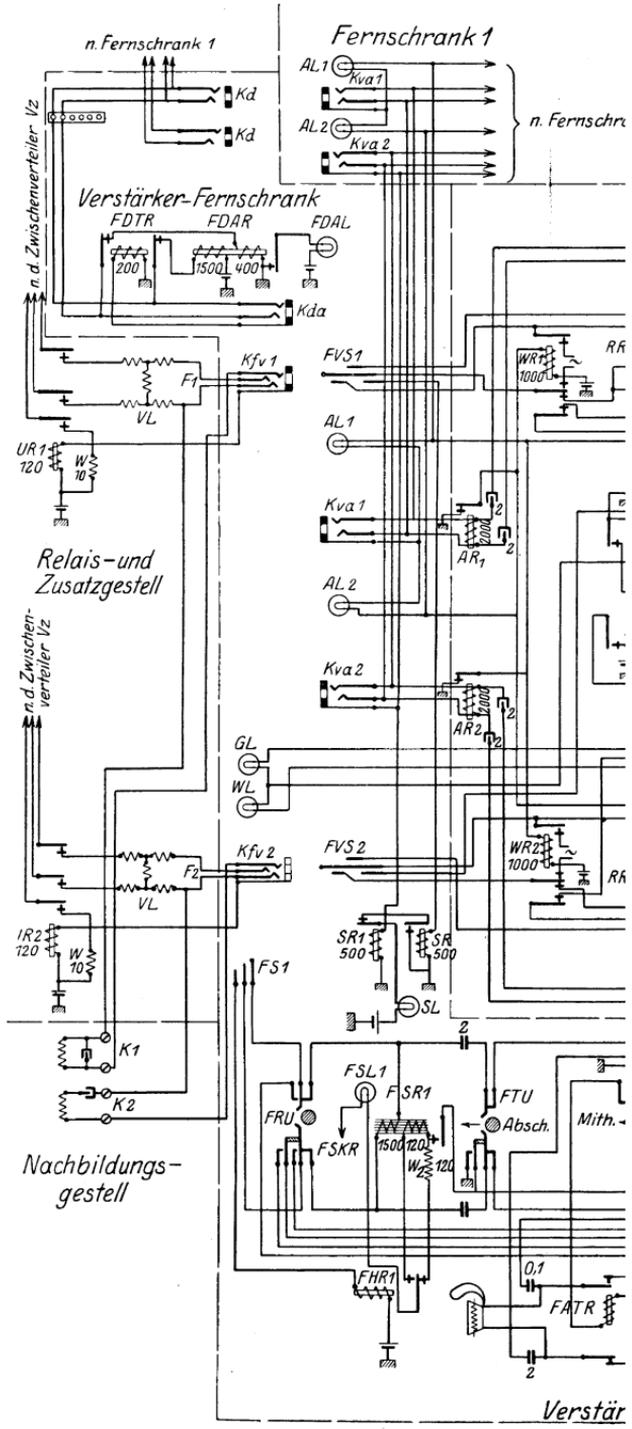
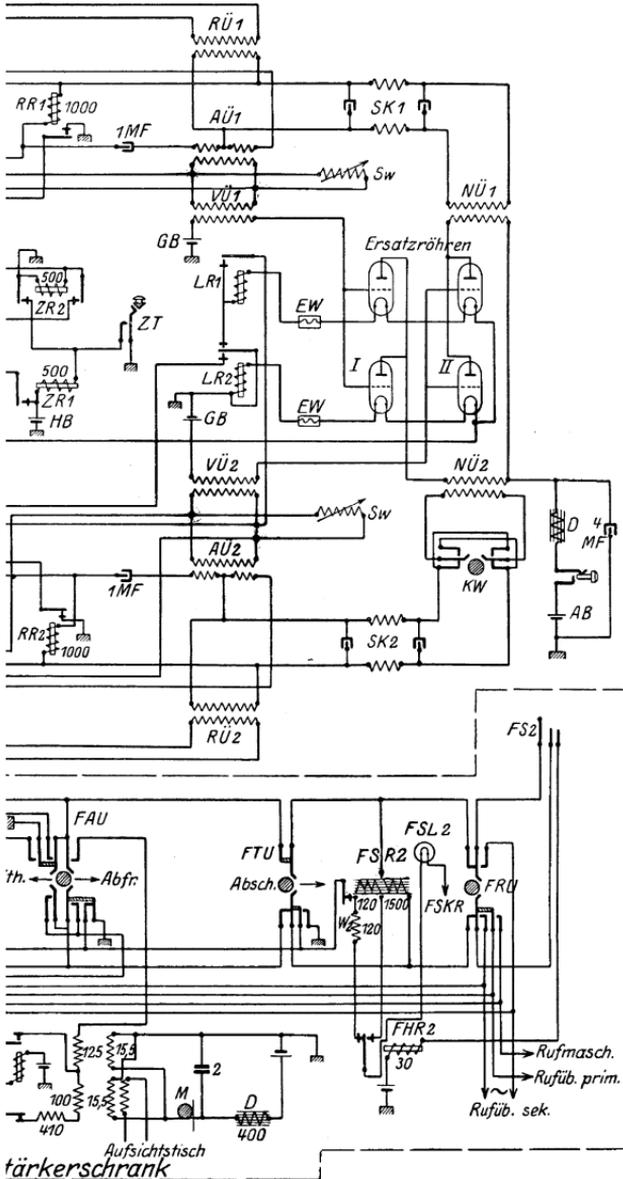


Abb. 1008. Grundschialtung einer Schnurverstärkeranlage neuester

chrank 2

Verstärkergestell



Beste Ausführung. Gesprächsüberwachung an den Fernschranken.

aus. Falls sie zwecks Prüfung, ob noch gesprochen wird, mithören will, muß sie den Abfrageschalter in die Mithörstellung umlegen. Nach Beendigung des Gesprächs werden zunächst die Röhren durch Ziehen der Nachbildungsstöpsel KVS_1 und KVS_2 gelöscht. Sodann werden die Leitungen durch Herausnehmen der Schnurstöpsel VS_1 und VS_2 abgeschaltet. Infolge Abfalls der Umschalterelais UR der beiden Fernleitungen stehen diese ihren Fernplätzen wieder zur Verfügung. Die Fernbeamtinnen erkennen dies am Aufleuchten der Signallampen $VFSL$.

b) Schnurverstärker für Gesprächsüberwachung an Fernschranken ZB 10. Die bisher beschriebenen Schnurverstärkereinrichtungen besitzen in betriebsmäßiger Hinsicht das Merkmal, daß die Beamtin des Verstärkerplatzes die Durchgangsverbindung nicht nur herzustellen, sondern auch zu überwachen und von sich aus zu trennen hat. Den Fernschrankbeamtinnen sind die über Schnurverstärker zusammengeschalteten Leitungen während der ganzen Dauer der Durchgangsverbindung entzogen. Diesen Mangel vermeidet die in Abb. 1008 dargestellte Schnurverstärkerschaltung, indem sie mit Hilfe besonderer, vielfach geschalteter Überwachungsleitungen ermöglicht, daß die Überwachung der Durchgangsverbindungen an denjenigen Fernplätzen verbleibt, an denen die Leitungen sonst betrieben werden. Der Verstärkerschrank hat dann nur noch reine Schalthandlungen auszuführen, nämlich die Durchgangsverbindungen auf Ansuchen der Fernbeamtinnen in der Dienstleitung herzustellen und auf selbsttätige Schlußzeichen hin zu lösen. Er erhält damit betriebsmäßig das Gepräge als reiner Durchgangsschrank.

Das Zusammenschalten der Fernleitungen über Verstärker geschieht nach einem Vorschlage der Firma Siemens & Halske mit Hilfe vierteiliger Klinken und Stöpsel. Diese Einrichtung ermöglicht, jede Fernleitung mit der ihr zugeordneten Nachbildung fest zu verbinden, so daß Leitung und Nachbildung stets gleichzeitig an den Verstärker angeschaltet werden. Es werden also für eine Verbindung nur 2 Stöpsel statt bisher 4 und dementsprechend auch weniger Handgriffe benötigt als bisher.

Der Schnurverstärkerschrank enthält (vgl. Abb. 1008) soviel Verbindungsklinken Kfv , als Fernleitungen für den Schnurverstärkerbetrieb vorhanden sind, ferner soviel Stöpselpaare FVS , Klinkenpaare KVA , Lampenpaare AL , Lampen SL , Relais SR_1 und SR_2 , als Verstärker vorgesehen sind. Bei 5 Verstärkern sind also vorhanden: 5 Stöpselschnurpaare, 10 Klinken KVA , 10 Lampen AL , 5 Lampen SL , 5 Relais SR_1 und 5 Relais SR_2 . Die Klinken- und Lampenpaare KVA und AL wiederholen sich in jedem gewöhnlichen Fernschrank des Fernamts, so daß je ein Klinken- und Lampenpaar als einem bestimmten Verstärker zugehörig zu betrachten ist.

Die Abfrageeinrichtung der überwachenden Platzbeamtinnen werden über die Klinken KVA mit Hilfe der Ringübertrager RUe_1 und RUe_2 an die Anodenseiten des Verstärkers angeschaltet. Für das Rufen in abgehender Richtung von den gewöhnlichen Fernplätzen aus sind die Relais AR_1 und AR_2 vorgesehen. Schließlich gehören zur Schnurverstärkereinrichtung noch die zur Regelung der Verstärkung dienenden Schwächungsnebenschlüsse Sw , die in den Verstärkerschrank eingebaut sind.

Da bei Einschaltung des Abfrageapparats der überwachenden Beamtin in die dem benutzten Schnurverstärker zugeordneten Klinken Kva die Verstärkungsziffer in der Abfragestellung merklich sinkt, hat sich die Fernbeamtin sogleich nach Beginn des Gesprächs auszuschalten, d. h. Durchsprechstellung einzunehmen und gleichzeitig den Trennschalter FTU umzulegen.

Dem Verstärker wird jetzt keine Energie entzogen; er arbeitet mit voller Verstärkung. Zur Überwachung des Gesprächs hat die Fernbeamtin bei umgelegtem Trennschalter ihren Abfrageschalter FAU in die Mithörstellung zu bringen; hierdurch wird die Verstärkungsziffer nur ganz geringfügig herabgesetzt. Nach beendetem Gespräch wird die Verbindung durch Herausziehen der Verbindungsstöpsel gelöst. Durch Ziehen des Stöpsels aus Klinke KVA_2

wird Relais *SR1* am Verstärkerschrank stromlos, der Anker fällt ab und schließt den Stromkreis der Lampe *SL*; diese leuchtet auf. Die Verstärkerbeamtin trennt durch Ziehen von *FVS1* und *FVS2* den Verstärker ab, *SR2*, *ZR2*, *ZR1*, *UR1* und *UR2* werden stromlos, *SL* erlischt, der Verstärker wird gelöscht, die Leitungen *F1* und *F2* erhalten normale Schaltlage an ihren Plätzen.

Die Relais *RR1* und *RR2* nehmen die ankommenden Rufströme auf, ziehen ihre Anker an und stellen dadurch für die Spannung an der *c*-Ader des in Klinke *KVA1* eines Fernplatzes steckenden Verbindungsstöpsels eine Erdverbindung her: *AL1* (*AL2*) leuchtet auf, wenn *RR1* (*RR2*) angesprochen hat.

Damit auch die Verstärkerbeamtin in der Lage ist, nötigenfalls ausnahmsweise in eine bestehende Verstärkerverbindung einzutreten und sich mit den Endämtern zu verständigen, sind die Klinken *KV41* und *KVA2* sowie die Signallampen *AL1* und *AL2* im Verstärkerternschrank wiederholt.

(1674) Schlußbemerkungen. Die Schnurverstärker werden bezüglich der Nachbildung von Fernleitungen, der Prüfungen und Messungen der Verstärker sowie der Behandlung der Verstärkerrohren usw. im wesentlichen wie die fest eingebauten Zwischenverstärker behandelt, da in elektrischer Hinsicht keine grundsätzlichen Unterschiede zwischen den beiden Arten von Verstärkerschaltungen bestehen. Die betriebsmäßige Schaltung der Schnurverstärker, wie sie in (1673, b, beschrieben wird, muß stets der vorhandenen Fernamterschaltung und deren Betriebsweise angepaßt werden. Die beschriebene Schaltung hat daher mehrere, örtlich bedingte Ausführungsformen erhalten.

Literatur: Das Fernsprechen im Weitverkehr, zusammengestellt im Reichspostministerium 1923: Hopfner, K.: Entwicklung und gegenwertiger Stand der Verstärker-technik in Deutschland, S. 55. — Ders. und Stöckel, K.: Innere Einrichtung eines Verstärkeramtes, S. 86. — Pohlmann, B.: Verstärkeramter, TFF 1923, S. 21. — Kaspareck, P.: Neuere Geräte für Wechselstrommessungen, Ebenda 1923, S. 64. — Neumann, E.: Schnurverstärker. Ebenda 1924, S. 197. — Ergänzungsheft 18 Ausgabe 1925 zur Apparatsbeschreibung: Die Fernsprechverstärkereinrichtungen. — Kruckow, A.: Neue Wege beim Bau großer Fernämter TFF 1926, S. 319.

Theorie und Aufbau des Telephons.

(1675) Aufgaben des Telephons. Das Telephon soll die Energie elektrischer Ströme in Schallenergie umformen, insbesondere diese dem menschlichen Ohre zuführen. Ein elektrischer Wechselstrom erregt einen Magnet, dem als Anker eine Membran gegenüberliegt. Diese wird infolge des Wechselstromes in mechanische Schwingungen versetzt, die sich als Schall auf die Luft eines an die Membran angrenzenden, meist sehr schmalen Raumes (zwischen Hörmuschel und Membran, Muschelraum), übertragen, von wo sie dem Ohrkanal zugeführt werden.

(1676) Der Energieumwandlungsprozeß beim Telephon umfaßt also die Umformung elektrischer Wechselstromenergie in solche mechanischer Schwingungen (zunächst der Membran) und die Überführung der mechanischen Schwingungen als Schall zum Ohrkanal. Hierbei treten Verluste auf, nämlich im elektromagnetischen Teil die Verluste in den Spulen des Magnets und die Verluste im Eisen des Feldmagnets selbst und in der Membran, im akustischen Teil die inneren — Reibungs- — Verluste in der Membran, im Muschelraum, in der Öffnung der Hörmuschel und gegebenenfalls noch in dem Raum, der auf der Seite der Membran liegt, auf welcher der Magnet angeordnet ist, und hier besonders in dem meist äußerst schmalen Raum zwischen den Magnetpolen und der Membran. Die mechanischen Schwingungen der Membran beeinflussen ihrerseits die Stärke des Magnetfeldes ähnlich, wie die Drehung des Ankers beim Elektromotor die Gegen-EMK oder der Sekundärstrom beim Transformator das Gegenfeld hervorruft. Je größer diese Rückwirkung der schwingenden Membran auf das magnetische Wechselfeld ist, desto größer ist auch die Leistung und damit auch der Wirkungsgrad des Telephons.

(1677) Der Wirkungsgrad des Telephons läßt sich in zwei Teilwirkungsgrade zerlegen, von denen der eine sich auf die Umsetzung elektrischer Energie in die

der mechanischen Schwingungen der Membran bezieht, während der andere durch die Verluste bei der Überführung der Energie in Form von Schall aus der schwingenden Membran zum Ohrkanal bestimmt ist. Die beiden Teilwirkungsgrade heißen der elektromechanische η_{em} und der mechanisch-akustische η_{ma} , deren Produkt der gesamte, elektrisch-akustische Wirkungsgrad η_{ea} des Telephons ist. Also gilt

$$\eta_{ea} = \eta_{em} \times \eta_{ma}.$$

Dementsprechend zerfällt die Betrachtung in einen elektromechanischen und einen mechanisch-akustischen Teil.

Aus der Theorie für den Wirkungsgrad des Telephons lassen sich auch andere Fragen über das Verhalten des Telephons beantworten, insbesondere die Frage, wie sich sein Wechselstromwiderstand abhängig von der Frequenz des erregenden Wechselstromes verändert.

(1678) Frequenzbereich. Wenn auch bei der gewöhnlichen Aufgabe des Telephons, Schallvorgänge von Sprache oder Musik wiederzugeben, ein großer Frequenzbereich benutzt wird, so ist es doch zweckmäßig, zunächst die Betrachtung nur für einen bestimmten schmalen Frequenzbereich durchzuführen. Dies geschieht im folgenden für Frequenzen in und nahe der Resonanz des Systems, demnach für einen Frequenzbereich, in welchem die akustische Leistung des Telephons am größten ist. Die hierfür sich ergebenden Resultate lassen sich dann auf Frequenzen außerhalb des Resonanzgebietes erweitern.

Die elektromechanische Theorie des Telephons.

(1679) Elektromechanischer Schwingungsvorgang. In Abb. 1009 ist die einfachste Form eines elektromagnetisch erregten Schallgebers von der Art eines Telephons dargestellt. Der akustische Teil, d. h. der Muschelraum, sowie die Hörmuschel mit ihrer Öffnung zur Weitergabe der akustischen Energie an den Ohrkanal ist weggelassen und nur das Gehäuse G mit dem Elektromagnet F , den Spulen I, I und der Membran M mit dem daran befestigten Anker A und dem Luftspalt L zwischen den Magnetpolen und dem Anker schematisch dargestellt. Die im Gehäuse angebrachte Membran mit dem daran befestigten Anker, welche den allgemeinen Fall darstellt, ist fähig, mechanische Schwingungen auszuführen und zwar derart, daß der Anker dem

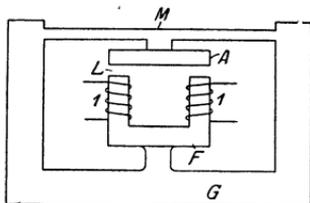


Abb. 1009. . Elektromechanischer Teil des Telephons. G Gehäuse. F Elektromagnet, A Anker, I, I Spulen, L Luftspalt, M Membran.

Elektromagnet in wechselnder Folge sich nähert oder von ihm entfernt. Der Elektromagnet F sei polarisiert. Fließt dann durch die Spulen des Elektromagneten Wechselstrom, so entsteht ein pulsierendes Magnetfeld, unter dessen Wirkungen die Membran mit der Frequenz des Wechselstroms hin und her schwingt. Die Schwingungsamplitude der Membran ist bei der Frequenz am größten, in welcher Resonanz zwischen dem erregenden Wechselstrom und der Eigenfrequenz des aus Membran, Anker und Gehäuse bestehenden Gebildes eintritt.

(1680) Resonanzkurve. Denkt man sich die erregende Kraft, d. h. das magnetische Wechselfeld, konstant gehalten, allmählich die Frequenz geändert und die vom Telephon aufgenommene elektrische Leistung abhängig von der Frequenz aufgetragen, so erhält man die sogenannte Resonanzkurve des Telephons. Eine solche Kurve — wie sie etwa einem modernen Telephon ohne Hörmuschel bei Betrieb in Luft entsprechen würde — ist in Abb. 1010 dargestellt. Bei einem elektrischen Schallsender größerer Leistungen, wie z. B. bei den Lautsprechern oder Luftschallendern für Signalzwecke, kann man durch wattmetrische Messungen Resonanzkurven direkt aufnehmen; für Apparate so ge-

ringer Leistung, wie beim Telephon, benutzt man eine indirekte Methode; man bestimmt in der Brückenordnung den elektrischen Verbrauchs- und den Blindwiderstand des Telephons abhängig von der Frequenz und berechnet hieraus die Resonanzkurve. (Ann. d. Phys. Bd. 60, 1919, S. 454.)

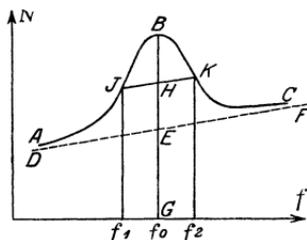


Abb. 1010. Resonanzkurve in Luft.
N Leistung, f Frequenz.

Man kann den durch die Resonanzkurve gegebenen Verlauf der Leistung N in zwei Teile teilen und zwar in den einen Teil, der durch Abszisse und die in Abb. 1010 punktierte Kurve DEF gegeben ist, und einen anderen, darüberliegenden Teil zwischen den Kurven DEF und AJBKC. Letzterer gibt den Betrag der Leistung an, der bei Annäherung der erregenden Frequenz f an die Resonanzfrequenz f_0 von den mechanischen Schwingungen der Membran aufgenommen wird, ersterer dagegen stellt die elektrischen Verluste im Telephon dar. Für die

dargestellte Resonanzkurve ist der Abszissennullpunkt weit links von der eingezeichneten Ordinate anzunehmen; vgl. (1020)...(1025).

(1681) Elektromechanischer Wirkungsgrad. Die Resonanzkurve ist unter Abzug der Verluste in der Wicklung des Telephons aufgenommen, da sonst die Kurve DEF keinen so einfachen Verlauf, der in einem kleineren Bereich, z. B. in der Nähe der Resonanz annähernd als Gerade betrachtet werden kann, haben würde. Die dargestellten Verluste sind also die Eisenverluste des Telephons. Es wird später gezeigt, wie die Kupferverluste nachträglich berücksichtigt werden. Wir wollen zunächst also den elektromechanischen Wirkungsgrad des Telephons ohne Berücksichtigung der Kupferverluste betrachten und diesen mit η bezeichnen; er enthält nur die im Eisen auftretenden Verluste und ist gegeben durch das Verhältnis der Strecke EB zu GB der Resonanzkurve, also

$$\eta = \frac{EB}{GB}.$$

(1682) Dämpfung. Durch die Resonanzkurve ist noch die Dämpfung gegeben ($\delta = \log \text{nat} (a_1 : a_2)$, vgl. [153]). Man findet sie am einfachsten, indem man die Frequenzen f_1 und f_2 aufsucht, bei denen die mechanische Leistung gegenüber der bei der Resonanzfrequenz f_0 auf die Hälfte gesunken ist ($BH = HE$). Dann ist

$$\delta = \pi \cdot \frac{f_2 - f_1}{f_0}$$

oder, wenn man für die Verstimmung $\frac{f_2 - f_0}{f_0}$ bzw. $\frac{f_0 - f_1}{f_0}$ den Verstimnungsgrad x einführt:

$$\delta = 2\pi \cdot x.$$

(1683) Rückwirkung des Ankers. Die schwingende Membran wirkt auf das elektromagnetische Feld zurück und ruft ein zweites wechselndes Magnetfeld hervor. Der Wirkungsgrad des Telephons ist davon abhängig, in welchem Maße die Bewegung der Membran bzw. ihres Ankers auf das elektromagnetische Feld zurückwirkt. Je größer diese Rückwirkung, desto größer der Wirkungsgrad. Man kann sie sich durch einen zweiten (sekundären) Wechselstrom ersetzt denken, der so beschaffen sein soll, daß er auf das elektromagnetische Feld bei ruhender Membran dieselbe Rückwirkung ausübt, wie es ohne ihn die schwingende Membran tut. Diese Betrachtungsweise hat man die Ersatzkreismethode genannt. (Phys. Z., „Schallgeber und Schallempfänger I“, 20. Jahrg. 1919, S. 104; Ann. d. Phys., „Eine Theorie des Telephons“, Bd. 63, 1920; Phys. Z. „Zur Theorie des Telephons“, 23. Jahrg. 1922, S. 322.)

(1684) Ersatzschema. In Abb. 1011 stellt wieder F den polarisierten Elektromagnet, A die mit dem Anker schwingende Membran, I die vom (primären) Wechselstrom durchflossene Spule und D die Stromquelle dar. N und S geben die Richtung der konstanten Magnetisierung an. Denkt man sich nun den Anker A ruhend und die Rückwirkung seiner Schwingungen auf das elektromagnetische Feld durch einen Sekundärstrom in einer zweiten um den Anker

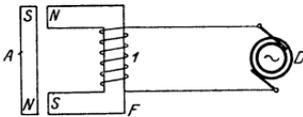


Abb. 1011. Elektro-mechanisches Schema. F Feldmagnet, A Anker, r Spule, D Stromquelle, NS Polarität.

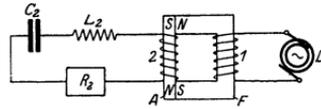


Abb. 1012. Elektrisches Ersatzschema. F Feldmagnet, A Anker, r und 2 Spulen, D Stromquelle, NS Polarität, R_2 , C_2 und L_2 elektrische Ersatzgrößen.

gewickelten Spule ersetzt, so erhält man die in Abb. 1012 gegebene rein elektrische Anordnung. D, I, F und A haben dieselbe Bedeutung wie vorher, A ist feststehend gedacht, und 2 ist die gedachte sekundäre Ersatzspule, deren Windungszahl der Einfachheit halber gleich der der Spule 1 angenommen ist. Diese Spule 2 muß durch eine bestimmte Kombination von elektrischen Größen (R_2, C_2, L_2) geschlossen werden, damit sich dieselbe Resonanzkurve, wie bei schwingender Membran bzw. dieselben primären Strom- und Spannungswerte ergeben. Der Schließungskreis der Spule 2 stellt also einen Schwingungskreis dar, dessen elektrische Eigenschaften hier nicht weiter diskutiert zu werden brauchen. (Näheres siehe „Zur Theorie des Telephons“, I. c.)

Nachdem so der elektromechanische Vorgang des Telephons auf einen rein elektrischen zurückgeführt ist, ergibt sich die Möglichkeit, den Vorgang als den eines elektrischen Transformators zu behandeln, der sekundär durch einen Schwingungskreis bestimmter Art geschlossen ist. Bekanntlich geben nun über das Verhalten eines elektrischen Transformators seine Diagramme Aufschluß. Der Transformator sei als streuungslos, das Eisen des Magnetfeldes als ungesättigt angenommen; die magnetischen Vorgänge verlaufen also im geraden Teil der Charakteristik.

(1685) Diagramm des Telephons. Das einfachste Diagramm des vorliegenden Falles ergibt sich für die Annahme, daß die Erregung in Resonanz stattfindet. Dann ist Sekundärstrom und Sekundärspannung gleichphasig. Dieses Diagramm ist in Abb. 1013 gegeben. Man gewinnt dieses Diagramm aus der Resonanzkurve und aus den in Resonanz sich ergebenden Spannungs- und Stromwerten:

$OA = e_1$ ist die Spannung in Resonanz an der Spule I des Telephons, $OC = e_2$ die gedachte Sekundärspannung, die e_1 gleich in der Größe und entgegengesetzt gerichtet ist. $OB = i_1$ ist der Strom in der Primärspule in Resonanz, φ_1 der Phasenwinkel zwischen e_1 und i_1 , dessen \cos sich in Resonanz aus dem Verhältnis der Leistung zum Produkt aus Strom i_1 und Spannung e_1 ergibt.

Die Dreiecke ODE und OEB erhält man wie folgt: OD ist eine Senkrechte auf OA , BD ist das Lot vom Punkt B auf OD , ODB ist also ein rechtwinkliges Dreieck. Der Punkt E auf der Strecke BD wird gefunden, indem man sie nach

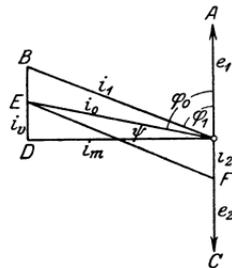


Abb. 1013. Resonanzdiagramm (Kurve der Abb. 1010). e_1 und e_2 Primär- und Sekundärspannung, i_1 und i_2 Primär- und Sekundärstrom, i_0 Leerlaufstrom, i_v Eisenverluststrom, i_m Magnetisierungsstrom.

dem Verhältnis der in der Resonanzkurve (Abb. 1010) gegebenen Strecken BE und EG teilt. OD stellt dann den Magnetisierungsstrom i_m , $ED = i_v$ den Teil des Wirkstromes, der die Eisenverluste deckt, und $OE = i_0$ den Leerlaufstrom dar. Die Strecke EB ist der Teil des Wirkstromes, der der mechanischen Leistung der schwingenden Membran entspricht, also der eigentliche Arbeitsstrom, d. h. der Sekundärstrom i_2 . $OBEF$ ist also das Stromdiagramm des Transformators; $BE = OF = i_2$ ist gleichphasig mit e_2 . Der Winkel zwischen i_0 und i_v oder e_1 und i_0 ist mit φ_0 , der zwischen i_m und i_v mit ψ bezeichnet. Letzterer wird der Verlustwinkel des Transformators genannt. φ_0 und ψ geben zusammen einen rechten Winkel.

(1686) **Zweites Resonanzdiagramm** (kleine Dämpfung). Wir denken uns das Telefon, dessen Resonanzkurve bei Betrieb ohne Hörmuschel und in Luft in Abb. 1010 gegeben war, irgendwie so verändert, daß seine Dämpfung eine viel geringere wird, z. B. dadurch, daß wir es im Vakuum betreiben, wodurch jede Luftreibung und Schallstrahlung und somit auch die entsprechenden Dämpfungen des Schwingungsvorgangs wegfallen. Dann erhalten wir eine wesentlich veränderte Resonanzkurve, etwa in der Art der Abb. 1014. Die Dämpfung dieser Resonanz-

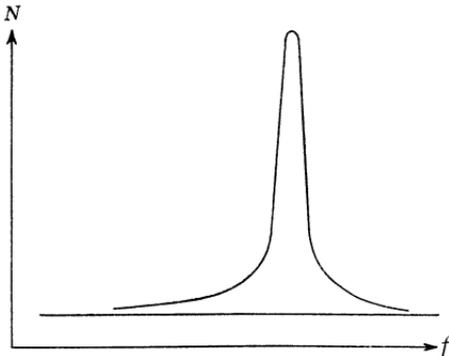


Abb. 1014. Resonanzkurve im Vakuum. N Leistung, f Frequenz.

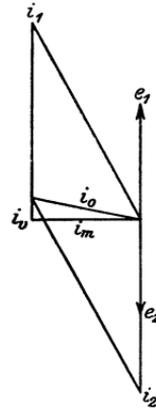


Abb. 1015. Resonanzdiagramm (Kurve der Abb. 1014). e_1 und e_2 Primär- und Sekundärspannung, i_1 und i_3 Primär- und Sekundärstrom, i_0 Leerlaufstrom, i_v Eisenverluststrom, i_m Magnetisierungsstrom.

kurve ist eine viel geringere, als die der Abb. 1010, dagegen ist der Wirkungsgrad η offenbar ein viel größerer. Das dieser Resonanzkurve entsprechende Diagramm in Resonanz ist in der Abb. 1015 dargestellt. Es sind wieder e_1 und e_2 die Primär- bzw. die Sekundärspannung, i_1 der (primäre) Wechselstrom, i_0 der Leerlaufstrom, i_m der Magnetisierungsstrom, i_v der den Eisenverlusten entsprechende Wirkstrom und i_2 der gedachte sekundäre Ersatzstrom, der wieder gleichphasig mit e_2 ist.

(1687) **Gütekonstante**. Aus den beiden Kurven und Diagrammen wird offenbar, daß zwischen der Dämpfung und dem zugehörigen Wirkungsgrad η in Resonanz eine bestimmte Beziehung besteht. Die Ableitung dieser gegenseitigen Beziehung aus den Diagrammen ergibt, daß das Produkt

$$\delta \cdot \frac{\eta}{1 - \eta} = K$$

konstant ist.

Die Aufgabe, einen möglichst großen elektromechanischen Wirkungsgrad bei gegebener Dämpfung der Membran zu erhalten, läuft also darauf hinaus, das obige Produkt möglichst groß zu machen. Man hat daher K die Gütekonstante

des Telephons genannt; sie bildet die Grundlage zur Beurteilung eines solchen Schallapparates und auch den Ausgangspunkt seiner weiteren theoretischen Behandlung; ihre Berechnung aus den Dimensionen und Eigenschaften des Telephons wird weiter unten behandelt.

(1688) Kreisdiagramm bei Erregung außerhalb der Resonanz. Zunächst sei noch das Diagramm für den Fall aufgestellt, bei dem das Telefon außerhalb der Resonanz erregt wird; dann ist i_2 nicht mehr konphas mit e_2 , sondern mit dem Phasenwinkel φ_2 der Spannung e_2 vor- oder nacheilend. Es ergab sich hierfür die Möglichkeit der Darstellung in einem Kreisdiagramm, wie es beispielsweise in Abb. 1016 gegeben ist. Ist die Resonanzkurve nicht zu breit, so kann das Stromdreieck ODE , aus i_o , i_m und i_v bestehend, im Bereich der betrachteten Frequenzen als konstant angenommen werden. Das Dreieck OCG ist das sekundäre Spannungsdreieck, OC ist die durch das Magnetfeld erzeugte Sekundarspannung e_2 , die der primären Spannung $e_1 = OA$ nach Größe gleich und entgegengesetzt in der Richtung ist, OG die mit dem Strom i_2 gleichphasige Spannung, d. h. die sekundäre Wirkspannung, und CG ist die Blindspannung; sie steht senkrecht zu i_2 und ergibt sich als Differenz der Spannungen an der gedanklich eingeführten Sekundärselfinduktivität L_2 und Sekundärkapazität C_2 . Überwiegt der kapazitive Einfluß (unterhalb der Resonanz), so eilt der Strom i_2 der Spannung e_2 vor; ist die Wirkung der Selbstinduktivität größer (oberhalb der Resonanz), so eilt der Strom i_2 der Spannung e_2 nach, wie dies beispielsweise in Abb. 1016 gegeben ist. Der Phasenwinkel zwischen i_2 und e_2 ist φ_2 .

Der sekundäre Strom i_2 sei OF , dann ist $OFEH$ das Stromdiagramm des Transformators, aus dem sich der primäre Strom i_1 ergibt. Der Endpunkt H liegt auf einem Kreis, dessen Durchmesser die Strecke EB ist, wobei EB wieder, wie in den vorhergehenden Diagrammen, den Teil des Wirkstroms von i_1 in Resonanz bedeutet, der die eigentliche Arbeit leistet, d. h. die mechanischen Schwingungen der Membran hervorruft, und den man aus dem Wirkungsgrad η in Resonanz findet. Alle möglichen Endpunkte H von i_1 liegen auf diesem Kreis (Phys. Z. 20. Jahrg., 1919, S. 111). Fallt H mit B zusammen, so wird $i_1 = OB$, φ_2 wird null und i_2 gleichphasig mit e_2 . Der Fall $i_1 = OB$ stellt den der mechanischen Resonanz dar.

Ist der Wirkungsgrad η oder — was dasselbe bedeutet — EB gegen ED sehr klein, und damit auch dieser Kreis im Diagramm klein gegen das Leerlaufstromdreieck, so ändert sich abhängig von der Frequenz in- und außerhalb der Resonanz für den elektrischen Stromvorgang, d. h. für i_1 und φ_1 , nur wenig. Es ist klar, daß bei schlechtem Wirkungsgrad die Rückwirkung der Membranbewegung, d. h. des gedachten Stromes i_2 , auf den primären Stromvorgang nur gering sein kann. Ist dagegen der Wirkungsgrad groß und infolgedessen auch der Kreisdurchmesser EB groß gegenüber ED oder gar auch gegenüber OD , so ist, wie ohne weiteres aus dem Diagramm klar, der primäre Stromvorgang ganz wesentlich abhängig davon, ob die Telefonmembran außerhalb oder in

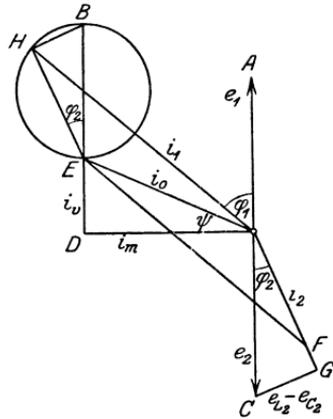


Abb. 1016. Kreisdiagramm. Erregung außerhalb Resonanz. e_1 und e_2 Primär- und Sekundärspannung, i_1 und i_2 Primär- und Sekundärstrom, i_o , i_m , i_v Leerlaufstromdreieck, φ_1 , φ_2 Phasenwinkel zwischen e , bzw. e_1 und i , bzw. e_2 , ψ Verlustwinkel.

der Resonanz betrieben wird, d. h. ob sie eine kinetische, potentielle oder eine rein ohmsche Belastung darstellt.

Aus dem Kreisdiagramm erkennt man auch, unter welchen Umständen das Telephon elektrisch als ein rein ohmscher Widerstand oder sogar als eine Kapazität wirken kann, d. h. unter welchen Umständen i_1 der Spannung e_1 gleichphasig sein bzw. sogar vorauslaufen kann. Dies tritt ein, wenn der Kreis so groß wird, daß er die Gerade OA berührt oder schneidet.

(1689) Auswertung des Kreisdiagramms. Aus dem Kreisdiagramm können die elektrischen Größen des Telephons, d. i. der Wirkwiderstand, der Blindwiderstand und der Phasenwinkel φ_1 zwischen Primärspannung und -strom in Abhängigkeit von der Frequenz berechnet werden (Phys. Z. 23. Jahrg., 1922, S. 322—335: „Zur Theorie des Telephons“). Als vorher bestimmt (gemessen oder berechnet) werden hierbei vorausgesetzt: η , der elektromechanische Wirkungsgrad (ohne Berücksichtigung der Kupferverluste); $90^\circ - \psi = \varphi_0$, der Phasenwinkel zwischen Strom und Spannung bei festgebremster Membran, und die zugehörigen Größen des Verlustwiderstandes R_v und der Leerlaufselbstinduktion L_0 . φ_2 , der Phasenwinkel zwischen e_2 und i_2 , oder — was dasselbe bedeutet — zwischen der auf die Membran wirkenden mechanischen Kraft und ihrer Geschwindigkeit.

η entnimmt man der Resonanzkurve oder errechnet es aus der mechanischen Dämpfung d und der Gütekonstante K . φ_0 , R_v und L_0 erhält man aus Strom-, Spannungs- und Wattaufnahme bei ruhender Membran im fraglichen Frequenzbereich oder findet φ_0 aus dem Verlustwinkel ψ , indem man auf die für Transformator bekannte Art und Weise für den Resonanzfall den Magnetisierungsstrom i_m und den Eisenverluststrom i_v aus den Maßen des Telephonmagnets, der Feldstärke und den Eisenverlustkonstanten berechnet; $\psi = 90^\circ - \varphi_0$ ist dann gegeben durch

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{i_v}{i_m}$$

und in bekannter Weise ergeben sich weiterhin hieraus die Größen für R_v und L_0 .

Für φ_2 gilt (vorausgesetzt, daß das Membransystem ein einfaches Schwingungsgebilde und die betrachtete prozentuale Verstimmung x nicht zu groß ist)

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{2\pi x}{d}$$

Man kann sich die Blind- und Wirkwiderstände sowohl in Reihe als auch parallel zueinander geschaltet denken. Dann ergeben sich für beide Größen verschiedene Ausdrücke (l. c. S. 329ff. „Zur Theorie des Telephons“). Es gestalten sich aber die Beziehungen in Parallelschaltung wesentlich einfacher als in Reihenschaltung. Im nachstehenden sind daher nur die Gleichungen für die Parallelschaltung gegeben. Hierbei sind also die Widerstände zueinander parallel an die Stromquelle geschaltet gedacht. Dies sind der Eisenverlustwiderstand R_v , der Widerstand, der der mechanischen Arbeit entspricht und mit R_p bezeichnet sei, und der Blindwiderstand ωL_p , wobei L_p die scheinbare Selbstinduktivität des Telephons mit schwingender Membran bei der fraglichen Frequenz ist.

Gesucht sind nun R_p und L_p . Die Beziehungen hierfür heißen:

$$R_p = \frac{R_v}{1 + \frac{\eta}{1-\eta} \cdot \cos^2 \varphi_2} \quad \text{und}$$

$$L_p = \frac{L_0}{1 + \frac{\eta}{1-\eta} \operatorname{tg} \varphi_0 \sin \varphi_2 \cos \varphi_2}$$

Für den Fall der Resonanz ($\omega_0 = 2\pi f_0$, $R_p = R_{p_0}$ und $L_p = L_{p_0}$), d. h. für $\varphi_2 = 0$, ergibt sich sonach

$$R_{p_0} = R_v (1 - \eta) \quad \text{und} \quad L_{p_0} = L_0,$$

was zu erwarten war.

(1690) Die Gütekonstante K kann aus den Dimensionen des Telephons berechnet werden; es ergeben sich aus dem Resonanzdiagramm (Ann. Physik 4. Folge, Bd. 63, 1920, S. 62 ff.) folgende beiden Ausdrücke

$$K = \frac{\eta \cdot b}{1 - \eta} = \frac{R_v \cdot B^2}{4 \pi \omega_0^3 \cdot m \cdot w^2 \cos^2 \varphi_0} \quad \text{oder}$$

$$K = \frac{\eta \cdot b}{1 - \eta} = \frac{1}{4 \omega_0^2} \cdot \frac{q \cdot B^2}{m \cdot c \cdot l}.$$

Hierbei ist B die Induktion der konstanten Magnetisierung des Telephons im Luftspalt, R_v der Verlustwiderstand in der Resonanzfrequenz f_0 , m die Schwingungsmasse an der Membran (Membranmasse reduziert auf den Mittelpunkt; siehe Phys. Z. 18. Jahrg. 1917, S. 264, Tab. II), w die Windungszahl der Spulen des Telephons, q der Querschnitt des Magnetfeldes, l die Länge des Eisenwegs und c die Verlustkonstante des Eisens¹⁾.

Der erste Ausdruck wird im allgemeinen bei Telephonen benutzt, da es für diese am bequemsten ist, für ein bestimmtes Magnetfeld R_v und $\cos \varphi_0$ zu bestimmen. Der zweite Ausdruck wird für Schallsender größerer Leistung verwendet, bei denen an der Membran ein besonderer Anker befestigt ist und die Induktion des Elektromagnets über den ganzen Weg im allgemeinen möglichst gleich gehalten ist. Der Grund dafür, daß in dem ersten Ausdruck die Frequenz in der dritten Potenz steht, während sie in dem zweiten Ausdruck nur in der zweiten Potenz vorkommt, ist der, daß R_v der Frequenz proportional ist, d. h. auch in der ersten Formel ist die Konstante K nur vom Quadrat der Frequenz abhängig.

Setzen wir im zweiten Ausdruck auf die eine Seite die reinen Maßgrößen des Telephons, d. h. q , B , c und l , dann erhalten wir eine neue Apparatkonstante für veränderliche Frequenz, sei es durch Änderung der Masse m , sei es durch Änderung der Elastizität ε des Membranebildes. Diese Konstante ist

$$K_\omega = \frac{q \cdot B^2}{4 c \cdot l} = \frac{\eta \cdot \delta}{1 - \eta} \cdot \omega_0^2 \cdot m \quad \text{oder,}$$

da $\omega_0^2 \cdot m \cdot \varepsilon = 1$,

$$K_\omega = \frac{\eta \cdot \delta}{1 - \eta} \cdot \frac{1}{\varepsilon}.$$

Diese Konstante K_ω ist für ein und denselben Apparat unveränderlich, ganz gleichgültig, ob man seine Schwingungsmasse, Elastizität oder die mechanisch-akustische Dämpfung ändert.

Im Wirkungsgrad η sind die Kupferverluste in den Spulen des Telephons noch nicht berücksichtigt; diese sind abhängig von ihrem Widerstand R_s und dem durch sie fließenden Strom i_1 . Den totalen elektromechanischen Wirkungsgrad η_{em} , in dem sowohl Eisen- wie Kupferverluste berücksichtigt sind, findet man nun aus dem Wirkungsgrad η , dem Eisenverlustwiderstand R_v und dem Winkel φ_0 des Leerlaufstromdreiecks durch die folgende Beziehung:

$$\eta_{em} = \eta \cdot \frac{\frac{R_v}{\sin^2 \varphi_0} \cdot \frac{(1 - \eta) \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_0}{1 + (1 - \eta)^2 \operatorname{tg}^2 \varphi_0}}{R_s + \frac{R_v}{\sin^2 \varphi_0} \cdot \frac{(1 - \eta) \operatorname{tg}^2 \varphi_0}{1 + (1 - \eta)^2 \operatorname{tg}^2 \varphi_0}}.$$

(Siehe Ann. Physik, 4. Folge, Bd. 63, 1920, S. 81 u. 82.)

¹⁾ Zugrunde gelegt ist eine durch Versuche bei etwa 1000 Perioden im Eisen gefundene Verlustformel:

$$V = c q l f B_{10}^2,$$

wobei B_{10} die Induktion des Wechselfeldes ist. (Siehe Ann. Physik 4. Folge, Bd. 63, 1920, S. 67.)

Bei den meisten Telephonen wird die Streuung nicht ohne Berücksichtigung bleiben dürfen. Durch sie wird vor allem die Gütekonstante verkleinert. (Die entsprechende Korrektur der Gütekonstante siehe I. c. S. 69—72.)

(169) Analytische Lösungen. Außer der vorstehenden Ersatzkreismethode zur Behandlung des elektromechanischen Verhaltens des Telephons sind wiederholt rein analytische Lösungen dieses Problems versucht worden; vor allem ist dies geschehen durch H. Poincaré und A. E. Kennelly (siehe zu beiden: Breisig: Theoret. Telegraphie 1924, S. 280ff. und Literaturangabe S. 538, Punkt 45), durch H. Lichte (Z. techn. Phys. 2, 1921, S. 12) und durch H. Carstens (Phys. Z. Bd. 22, 1921, S. 501 und Z. techn. Phys. 2, 1921, S. 312).

In diesen Arbeiten ist jedoch die Annahme der Proportionalität zwischen der durch das magnetische Wechselfeld hervorgerufenen Kraft und dem Primärstrom enthalten, die gerade für die Bestimmung des Wirkungsgrades in all den Fällen unzulässig ist, in denen dieser nicht vernachlässigbar klein ist. Von ihrer Darstellung ist hier daher abgesehen worden. (Siehe hierzu Phys. Z. 23. Jahrg. 1922, S. 326 u. 327, „Zur Theorie des Telephons“.)

Der mechanisch-akustische Aufbau des Telephons.

(1692) Die mechanisch-akustische Aufgabe des Telephons besteht darin, die in der Membran schwingende mechanische Energie in akustischer Form zum Ohrkanal überzuführen. Im Prinzip ist dieser Teil des Telephons in der Abb. 1017 dargestellt.

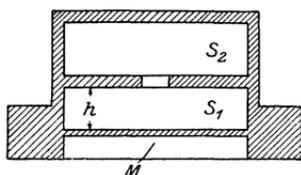


Abb. 1017. Mechanisch-akustischer Teil des Telephons. M Membran, S_1 und S_2 Teilräume des Tonraums, h Höhe des Teilraumes S_1 .

Er besteht aus zwei miteinander gekoppelten Schwingungsgebilden, einerseits aus der Membran M und andererseits aus dem Tonraum S_1 und S_2 .

Die Membran M stellt ein Schwingungsgebilde mit verteilter Masse und Elastizität dar. Zur Feststellung ihrer Schwingungseigenschaften führt man sie auf die Grundform des festen Schwingungsgebildes mit getrennter Masse und Elastizität, Tonpils genannt, zurück (Phys. Z. 21. Jahrg. 1920, S. 187—192: „Der

Tonpils“ und Gehlhoff: Lehrbuch d. techn. Phys. Bd. I, Abschn. III, Akustik, S. 143). In der Abb. 1018 ist der Schnitt durch eine Membran gegeben, die in einem Eisenring von der Masse m_1 eingespannt gedacht ist. Die Grundform

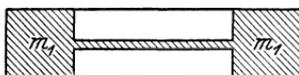


Abb. 1018.

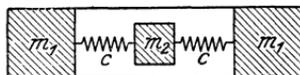


Abb. 1019.

Abb. 1018 u. 1019. Membran, zurückgeführt auf Tonpils. m Membranringmasse, m_2 Membranmittelpunktsmasse, c Membranelastizität, bezogen auf Membranmittelpunkt.

des mechanischen Schwingungsgebildes in fester Form, d. h. der Tonpils; besteht aus zwei elastisch verbundenen Massen. Die zweite Masse der Membran, die in allen praktischen Fällen die kleinere Masse ist, ist mit der Elastizität über die ganze Membran verteilt. Um den der Membran äquivalenten Tonpils mit getrennter zweiter Masse und getrennter Elastizität zu finden, reduziert man die über die Membran verteilte Masse auf den Mittelpunkt der Membran (Phys. Z. 18. Jahrg. 1917, S. 264—265, Tab. II). Man erhält dann das in Abb. 1019 dargestellte Schwingungsgebilde, in dem die Masse m_2 die auf den Mittelpunkt bezogene Schwingungsmasse der Membran ist und in welchem die die Ringmasse m_1 mit der Masse m_2 verbindenden Federn cc die auf den Mittelpunkt bezogene Elastizität der Membran darstellen.

(1693) Der Tonraum S_1 und S_2 (Phys. Z. 22. Jahrg. 1921, S. 353—360: „Der Tonraum“) besteht aus den beiden Teilräumen S_1 und S_2 . Der Teilraum S_1 ist der zwischen Membran und Hörmuschel liegende schmale Raum (Muschelraum). Der Teilraum S_2 ist der Ohrkanal. Beide Teilräume sind verbunden durch die Öffnung in der Hörmuschel und bilden zusammen mit dieser den Tonraum.

Die Kopplung zwischen der Membran und dem Tonraum kommt wie folgt zustande: Die Schwingungen der Membran rufen im Muschelraum Druckschwankungen hervor. Zur Elastizität der Membran tritt also die des Muschelraumes hinzu. Beide Schwingungsgebilde, die Membran und der Tonraum, sind also durch die beiden gemeinsame Elastizität des Muschelraumes miteinander gekoppelt. Der Muschelraum wird daher auch Kopplungsraum genannt. Die Größe der Kopplung ist einerseits durch das Verhältnis der Elastizität des Kopplungsraumes zu der der Membran, andererseits durch das Verhältnis des Volumens des Kopplungsraumes zu dem des Ohrkanals gegeben. Die Größe des Kopplungsfaktors k ergibt die folgende Beziehung (Gehlhoff: Lehrb. d. techn. Phys. Bd. I, Abschn. III, Akustik, S. 159):

$$k^2 = \frac{1}{1 + \frac{9}{0,22 \pi} \cdot \frac{1}{a^2 \rho} \cdot \frac{h E a^3}{R^4}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{S_1}{S_2}},$$

worin a die Schallgeschwindigkeit in der Luft, ρ deren Dichte, h die Höhe des Kopplungsraumes, E der Elastizitätskoeffizient des Membranmaterials, a die Dicke der Membran und R deren Radius darstellt. S_1 ist das Volumen des Kopplungsraumes, S_2 das des Ohrkanals.

Führt man in diese Gleichung an Stelle der Elastizität der Membran deren Eigenschwingungszahl ω_0 (Kreisfrequenz) sowie die auf den Mittelpunkt der Membran reduzierte Schwingungsmasse ein (letztere ausgedrückt durch die Dichte σ des Materials und die Abmessung der Membran), so ergibt sich für den Kopplungsfaktor k die folgende Beziehung:

$$k^2 = \frac{1}{1 + \frac{0,6 h}{a^2 \rho} \sqrt{\frac{\sigma^3}{E} \cdot R^2 \omega_0^3}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{S_1}{S_2}}.$$

Man erkennt aus dieser Formel, daß man bei gegebenem Radius und Eigenschwingungszahlen der Membran zu fester Kopplung kommt, wenn man einerseits die Höhe h des Kopplungsraumes S_1 niedrig macht und solches Material für die Membran verwendet, welches ein möglichst geringes Verhältnis von Dichte zu Elastizitätskoeffizient hat, und wenn man andererseits das Verhältnis des Volumens des Kopplungsraumes S_1 zu dem des anderen Raumes S_2 , d. h. des Ohrkanals, nicht zu groß gegenüber 1 macht. Das erstere ist nötig, damit die im Kopplungsraum bei den Schwingungen der Membran auftretenden elastischen Wirkungen vergleichbar zu denjenigen in der Membran sind, und das andere, damit ein nennenswerter Teil der Schwingungsenergie des Tonraumes im Kopplungsraum schwingt.

Die beiden den mechanisch-akustischen Aufbau des Telephons darstellenden Schwingungsgebilde, d. h. die Membran und der Tonraum, sind wenigstens bis vor kurzem bei den Telephonen der Telephontechnik nicht aufeinander abgestimmt worden, höchstens gelegentlich zufällig und dann unbewußt. Ihre Abmessungen sind fast ausschließlich durch Versuche bestimmt worden (z. B. Ann. d. Phys. 4. Folge, Bd. 60, 1919, S. 460 ff., insbesondere Kurvenblatt S. 466 u. 468). Erst in neuerer Zeit hat man begonnen, beim Entwurf von Telephonen die Vorstellung zugrunde zu legen, daß es sich beim mechanisch-akustischen Aufbau des Apparates um zwei miteinander gekoppelte Schwingungsgebilde, die Membran und den Tonraum, handelt.

(1694) Der mechanisch-akustische Wirkungsgrad ist gegeben durch das Verhältnis der dem Ohrkanal zugeführten Schalleistung zu der im elektromechanischen Vorgang erzeugten mechanischen Leistung der Membran. Bei dieser Überführung treten Verluste auf, die ihrer Art nach sehr verschieden sein können, z. B. Reibungsverluste in der Einspannung der Membran, in dem schmalen Luftraum zwischen Membran und Polschuhen des Elektromagnets, im Muschel- oder Kopplungsraum und in der Öffnung der Hörmuschel.

Man stellt diese Verluste fest, indem man die durch sie hervorgerufene Verlustdämpfung des Schwingungssystems bestimmt, insbesondere im Verhältnis zur Größe der Nutzdämpfung des Systems, die vom Ohrkanal hervorgerufen wird. Hierfür ist die folgende Methode entwickelt worden (Ann. d. Phys. 4. Folge, Bd. 70, 1923, S. 283: „Zur experimentellen Untersuchung von Telephonen“).

(1695) Resonanzkurve. Die Resonanzkurve des Telephons wird mittels Messung in Brückenordnung (Ann. d. Phys., Bd. 60, 1919, S. 454: „Der mechanisch-

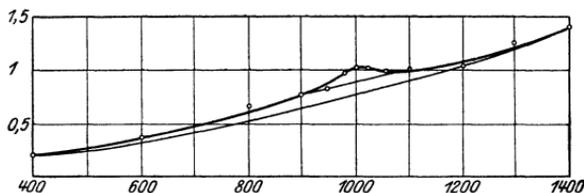


Abb. 1020.

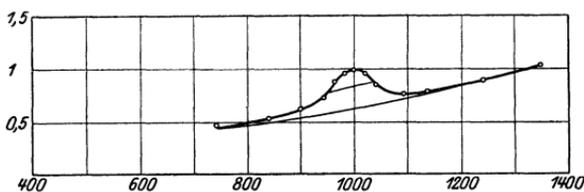


Abb. 1021.

Abb. 1020 u. 1021. Resonanzkurven eines Monotelephons älterer Ausführung. Obere Kurve am menschlichen Ohr, untere Kurve am „harten“ Ohr aufgenommen.

akustische Aufbau eines Telephons“) einmal am Ohr einer Versuchsperson aufgenommen, das andere Mal an einem „harten Ohr“, d. h. mit einem an Stelle des Ohrkanals an die Ohrmuschel des Telephons angelegten Teilraume mit harten, unnachgiebigen und daher verlustfreien Wänden, der dasselbe Volumen hat wie der Ohrkanal. Aus der Resonanzkurve am menschlichen Ohr erhält man die Summe der Dämpfungen, das ist die der im Ohrkanal sich ergebenden Nutzdämpfung und der an den anderen Stellen auftretenden Verlustdämpfungen. Aus der Resonanzkurve am „harten Ohr“ erhält man die Verlustdämpfungen allein. Nennt man die Dämpfung am menschlichen Ohr δ und die am harten Ohr δ_0 , so ist der mechanisch-akustische Wirkungsgrad des Telephons:

$$\eta_{ma} = \frac{\delta - \delta_0}{\delta}.$$

In den Abb. 1020 bis 1023 sind Beispiele für solche Resonanzkurven gegeben. (Die oberen Kurven sind am menschlichen Ohr, die unteren Kurven am „harten Ohr“ aufgenommen.) Die in Abb. 1020 u. 1021 gegebenen Werte beziehen sich auf ein Telefon älterer Konstruktion, wie es häufig noch heute für die Zwecke der

Übertragung von Signaltönen in der Telegraphie mit elektrischen oder Wasserschallwellen benutzt wird. Die in Abb. 1022 u. 1023 gegebenen Werte beziehen sich auf ein Telephon, wie es für den Empfang bestimmter Töne neuerdings entwickelt worden ist. Solche Telephone, die besonders für den Gebrauch in einem schmaleren Frequenzbereich bestimmt sind, werden Monotelephone genannt. Die vorliegenden beiden Telephone sind für den Ton 1000 abgestimmt.

Für das Telephon der Abb. 1020 u. 1021 ergibt sich die Dämpfung am menschlichen Ohr d zu 0,50, am „harten Ohr“ d_0 zu 0,30. Hiernach ist dessen mechanisch-akustischer Wirkungsgrad

$$\eta_{ma} = 0,4.$$

Für das Telephon der Abb. 1022 u. 1023 ist die Dämpfung am menschlichen Ohr 0,31, am „harten Ohr“ 0,11. Hiernach ist dessen mechanisch-akustischer Wirkungsgrad

$$\eta_{ma} = 0,65.$$

Für die beiden Telephone, deren Kurven in Abb. 1020 bis 1023 wiedergegeben sind, ergab sich der elektromechanische Wirkungsgrad unter Berücksichtigung der Kupferverluste zu 0,10 und 0,89, so daß ihr gesamter elektroakustischer Wirkungsgrad 0,04 und 0,58 beträgt (siehe l. c. Bd. 70, 1913, S. 288, Tab. II).

(1696) Das Sprechtelephon. Für die Güte eines Telephons zur Übertragung der menschlichen Sprache oder der Musik ist aber nicht allein dessen Wirkungsgrad an einer bestimmten Resonanzstelle maßgebend, sondern vor allem auch seine Empfindlichkeit innerhalb des gesamten Frequenzbereiches der Sprache oder der Musik. Nach neueren Forschungen (siehe K. W. Wagner: „Der Frequenzbereich von Sprache und Musik“, Funk-Sonderheft ETZ 1924, „Fernsprechen im Weltverkehr“, hrsggb. vom Reichspostministerium, Nov.

1923) liegt der wiederzugebende Frequenzbereich etwa zwischen 100 und 10000 Per/s. Für einen solchen großen Frequenzbereich ist es mit den bisher bekannt gewordenen Mitteln nicht möglich, einen gleichmäßig guten Wirkungsgrad bei der Umformung der elektrischen Energie in Schallenergie für das Telephon zu erreichen. Es wäre hierzu eine sehr flache Resonanzkurve, d. h. eine außerordentlich große Dämpfung des Schwingungssystems des Telephons notwendig, wie sie sich durch Dämpfung der Membran infolge Abgabe von Schallenergie an den Ohrkanal auch nicht annähernd bewirken läßt. Es bliebe also nur die Zuhilfenahme sehr großer Verlustdämpfung übrig, wodurch der mechanisch-akustische Wirkungsgrad entsprechend reduziert würde. Gleichzeitig würde der elektromechanische Wirkungsgrad für eine so große Dämpfung sehr klein, da bei gegebener Gütekonstante mit steigender Dämpfung dieser Wirkungsgrad immer mehr abnimmt. Es kommt daher beim Sprechtelephon auf ein möglichst günstiges Kompromiß an zwischen genügender Empfindlichkeit, d. h. befriedigendem Wirkungsgrad, und großem Frequenzbereich, welches bis jetzt auf fast rein empirischem Wege bei den Sprechtelefonen der Praxis angestrebt wurde.

Die in den letzten Jahren auf dem Gebiete der Theorie des Telephons gemachten Fortschritte haben nun eine Fortentwicklung der Sprechtelephone auf

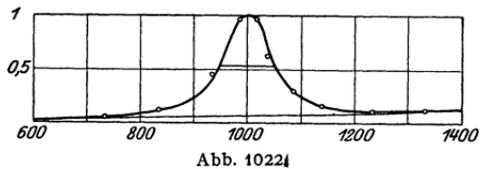


Abb. 1022a

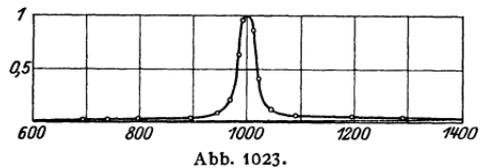


Abb. 1023.

Abb. 1022 u. 1023. Resonanzkurve eines Monotelephons neuerer Ausführung. Obere Kurve am menschlichen Ohr, untere Kurve am „harten“ Ohr aufgenommen.

mehr theoretischer Grundlage möglich gemacht. Nachstehend seien einige Punkte hierfür gegeben.

Um den elektromechanischen Wirkungsgrad zu erhöhen, ist es notwendig, die Gütekonstante K möglichst groß zu machen. Aus den in (1690) gegebenen Beziehungen für die Gütekonstante ersieht man, in welchem Maße ihre Größe von den einzelnen Abmessungen und Eigenschaften des elektromagnetischen Teils des Telefons abhängig ist.

(1697) Grundlagen des Baus. Als allgemeine Gesichtspunkte hierfür haben sich etwa die folgenden ergeben:

Die Schwingungsmasse der Membran ist möglichst klein zu wählen, d. h. es sind möglichst dünne Membranen zu verwenden. Die Eisenverluste sind ebenfalls möglichst klein zu halten. Der Flux der konstanten Vormagnetisierung ist so groß wie möglich zu machen, doch ohne einer Sättigung des Eisens der Polschuhe zu nahe zu kommen, weil sonst der Wechselstrom in den Telefonspulen

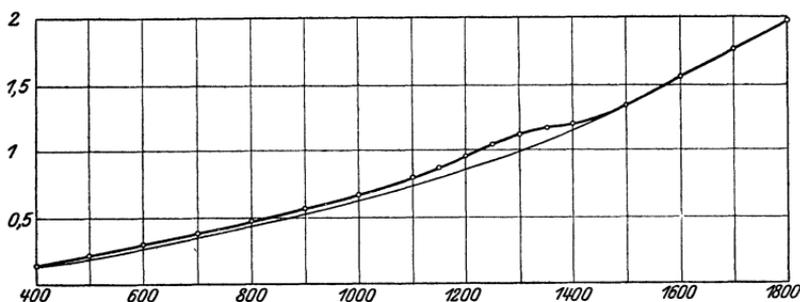


Abb. 1024. Resonanzkurve eines Sprechtelefons neuerer Ausführung, am menschlichen Ohr aufgenommen.

und die Membranbewegung nur ganz geringe Änderungen des Magnetfeldes hervorrufen, daher auch keine Wirkungen ausüben könnten. Da die Streuung die Gütekonstante verkleinert, ist sie möglichst gering zu halten. Dies gibt Veranlassung zu bestimmten günstigen Gestaltungen der Polschuhe.

Auch ein zweiter Grund spricht für die Wahl einer möglichst dünnen und leichten Membran. Die Membran soll zwecks guter Überführung der in ihr schwingenden mechanischen Energie als Schallenergie zum Ohrkanal mit dem an sie angrenzenden Tonraum möglichst fest gekoppelt sein, damit die Dämpfung des gesamten Schwingungssystems an sich möglichst groß und in Rücksicht auf einen guten mechanisch-akustischen Wirkungsgrad zu einem möglichst großen Betrage durch den Ohrkanal gegeben sein kann. Bei schwerer und dicker Membran, d. h. für gegebene Frequenz auch verhältnismäßig großer elastischer Kraft derselben, würde aber die Forderung der festen Kopplung zu einem so schmalen Muschel- oder Kopplungsraum führen, daß in diesem große Reibungswiderstände unvermeidlich wären. Diese würden infolge der durch sie hervorgerufenen großen Verlustdämpfung den mechanisch-akustischen Wirkungsgrad stark verkleinern.

Bei den neueren Telephontypen wurden diese Gesichtspunkte in steigendem Maße berücksichtigt. In den Abb. 1024 u. 1025 sind die Resonanzkurven am menschlichen und „harten“ Ohr eines solchen neuen Sprechtelefons gegeben, wie es insbesondere auch für Rundfunkzwecke viel Verwendung findet.

Aus der Resonanzkurve am „harten“ Ohr (Abb. 1025) ersieht man, daß die Membran einschließlich Tonraum eine Abstimmung bei etwa 1300 Per/s hat und eine Gütekonstante von etwa 0,16, was für Sprechtelefone sehr befriedigend ist. Am menschlichen Ohr ist die Dämpfung um das Mehrfache erhöht und da-

durch der Frequenzbereich bei in Betracht kommender Empfindlichkeit ganz wesentlich vergrößert. Der mechanisch-akustische Wirkungsgrad ist also recht gut, und auch der elektromechanische Wirkungsgrad ist trotz der großen Dämpfung durch den Ohrkanal noch nicht allzu sehr verkleinert.

Bei längeren Freileitungen oder Kabeln ist nun die obere Grenze der übertragbaren Frequenzen beschränkt und liegt praktisch etwa bei 2500 Per/s. Aus den oben gegebenen Resonanzkurven eines Sprechtelephons am menschlichen Ohr ist ersichtlich, daß für diese Zwecke das Telephon schon ein annehmbares Kompromiß darstellt. Sein Frequenzbereich stimmt schon ziemlich gut mit dem für die Fernleitungen oder Kabel in Betracht kommenden überein.

Anders liegt es jedoch für die drahtlose Telephonie (Rundfunk). Hier muß für die Zukunft erwartet werden, daß die Apparate zur Übertragung und Umformung der elektrischen Wellen immer weiter für die Aufnahme und Wiedergabe eines möglichst großen akustischen Frequenzbereiches vervollkommenet

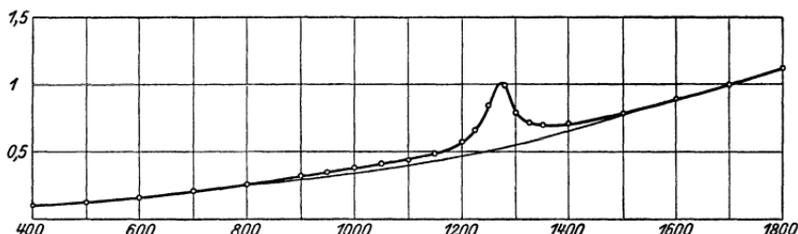


Abb. 1025. Resonanzkurve eines Sprechtelephons neuerer Ausführung, am „harten“ Ohr aufgenommen.

werden. Hierfür ist also auch der Ausbau von Sprechtelefonen für noch größere Frequenzbereiche und gute Wirkungsgrade wichtig und wird eine Aufgabe der weiteren Entwicklung des Telephons sein.

Lautsprecher.

(1698) Aufgabe. Der Lautsprecher formt, wie das Telephon, die Energie elektrischer Ströme in Schallenergie um. Im Gegensatz zu diesem gibt er aber die Schallenergie an den freien Raum ab.

(1699) Der elektromechanische Teil ist meist dem des Telephons ganz ähnlich; es ist in diesem Falle ohne weiteres die elektromechanische Theorie des Telephons für ihn anwendbar. Bei verschiedenen Ausführungen von Lautsprechern wird an Stelle des schwingenden Magnetankers (elektromagnetisches Prinzip) ein im konstanten Magnetfeld schwingender, wechselstromdurchflossener Leiter (elektrodynamisches Prinzip) benutzt. Die Theorie ergibt auch für diese Art der Erregung ganz ähnliche Resultate (Phys. Z. 1920, S. 264 u. 426, Schallgeber und Schallempfänger III u. IV).

(1700) Der mechanisch-akustische Teil des Lautsprechers unterscheidet sich bei den meist verwendeten Typen von dem des Telephons durch den an die Öffnung der Muschel angesetzten Trichter, während bei beiden Apparaten in ganz ähnlicher Weise die Membran und ein an diese angrenzender schmaler Raum, der Muschelraum, verwendet wird. Der Muschelraum dient wieder zur Kopplung des durch die Membran gegebenen mechanischen Schwingungsgebildes mit einem Tonraum, der hier aus dem Muschelraum (erster Teilraum) und dem unteren Teil des Trichters (zweiter Teilraum) gebildet ist. An Stelle des Ohrkanals tritt also beim Lautsprecher der Trichterraum; dieser dient dazu, die von der Membran zunächst an den Muschelraum abgegebene mechanische Schwingungsenergie in den freien Raum in Form von Schallenergie auszustrahlen. Durch ihn wird also die Strahlungsdämpfung des Schwingungsgebildes hervorgerufen.

(1701) Der mechanisch-akustische Wirkungsgrad ist durch das Verhältnis der Strahlungsdämpfung zur Gesamtdämpfung des Gebildes gegeben, die von der Strahlung und den in den einzelnen Teilen des Lautsprechers auftretenden Reibungsverlusten herrührt. Letztere lassen sich ähnlich, wie beim Telephon, in verschiedene Arten unterteilen (1694). An Stelle der Reibungsverluste in der Öffnung der Hörmuschel treten die Reibungsverluste in dem von dem unteren Teil des Trichters gebildeten Schallkanal.

(1702) Gesamtdämpfung. Da der Lautsprecher zur Wiedergabe von Sprache und Musik dient und daher innerhalb eines sehr großen Frequenzbereiches möglichst gleichmäßig wirken soll, muß die Gesamtdämpfung seines Schwingungsbildes möglichst groß sein. Ließe man den Trichter fort, so würde die Schallenergie aus der Öffnung des Muschelraumes direkt an den freien Raum abstrahlen. Der dann nur noch durch den Muschelraum und dessen Öffnung gegebene Tonraum würde einen Helmholtzschen Resonator darstellen (Phys. Z. 1921, S. 357), dessen Strahlungsdämpfung zu klein wäre (Z. techn. Phys. 1923, S. 98).

(1703) Strahlungsdämpfung. Trichter. Die Forderung großen Frequenzbereiches (große Gesamtdämpfung) und möglichst guten mechanisch-akustischen Wirkungsgrades (Strahlungsdämpfung großer Anteil an Gesamtdämpfung) führt zur Forderung möglichst großer Strahlungsdämpfung. Dies zu erreichen ist Aufgabe des Trichters, dessen an die Öffnung des Muschelraumes angrenzendes Gebiet den zweiten Teilraum des Tonraumes darstellt. Je kleiner der Durchmesser des Trichterraumes am Anfang und je geringer bei gleichem Enddurchmesser seine Zunahme mit fortschreitendem Schallweg, d. h. je länger der Trichter ist, desto größer ist die Strahlungsdämpfung.

(1704) Die Kopplung zwischen Tonraum und Membran muß in Rücksicht auf die große Dämpfung des Tonraumes möglichst fest sein. Dies führt ähnlich, wie beim Telephon, wieder zur Forderung einer möglichst leichten Membran und eines möglichst schmalen Muschelraumes. In diesem, sowie in dem vom Anfang des Trichters gebildeten schmalen Schallkanal treten aber Reibungsverluste auf, die um so größer sind, je schmäler diese Räume, und die den mechanisch-akustischen Wirkungsgrad und hiermit die Lautstärke des Lautsprechers herabsetzen. Bei der Ausbildung des Lautsprechers handelt es sich nun ähnlich, wie beim Telephon, darum, ein möglichst günstiges Kompromiß zwischen diesen Forderungen zu finden. Bei den üblichen Lautsprechern wird ein solches meist rein empirisch durch Feststellung optimaler Wirkungen angestrebt.

(1705) Der trichterlose Lautsprecher. Neuerdings werden an Stelle von Lautsprechern mit Trichtern solche ohne Trichter verwendet, bei denen an dem elektromagnetisch erregten, schwingenden Teil (Anker, Spule) eine strahlende Fläche angebracht ist. Der mechanisch-akustische Wirkungsgrad eines solchen Lautsprechers und damit seine Lautstärke ist dann bei den verschiedenen Frequenzen davon abhängig, wie weit es gelingt, die Schwingungsmasse dieser Fläche klein im Verhältnis zu der schwingenden Masse des Ankers bzw. der Spule und ihre Steifigkeit und Strahlungsdämpfung groß zu machen.

Theorie und Aufbau des Mikrophons.

(1706) Aufgabe. Der Energieumwandlungsprozeß beim Mikrophon besteht darin, daß es Schallenergie in elektrische umformt.

(1707) Aufbau. Das Mikrophon besteht im allgemeinen aus zwei Elektroden, zwischen denen eine Anzahl Kontaktteilchen gelagert sind, wobei die eine Elektrode mit dem Gehäuse fest verbunden, die andere entweder an einer Schallmembran befestigt ist oder von dieser selbst dargestellt und durch ankommende Schallwellen in mechanische Schwingungen versetzt wird. Der Widerstand der Kontaktteilchen zwischen den Elektroden wird hierdurch im entsprechenden Rhythmus geändert. In einem diesen Widerstand enthaltenden und von Gleich-

strom durchflossenen elektrischen Stromkreis entstehen hierdurch Wechselströme entsprechender Frequenz.

Die die eine Elektrode tragende oder darstellende Schallmembran grenzt meist nicht direkt an den freien Raum, sondern ist — ähnlich wie z. B. beim Lautsprecher — mit diesem durch einen Tonraum verbunden, der aus einem an die Membran angrenzenden Kopplungsraum und einem Trichter besteht.

Die Umwandlung der Energie beim Mikrophon ist wieder zweierlei Art; erstens wird die ankommende Schallenergie in Form von mechanischen Schwingungen zur Schallmembran übergeführt und zweitens werden durch diese mechanischen Schwingungen elektrische Wechselströme hervorgerufen.

(1708) Der akustisch-mechanische Teil ist ähnlich dem des Telephons und des Lautsprechers. Der akustisch-mechanische Aufbau des Mikrophons besteht aus einem aus Muschelraum und Trichterraum gebildeten Tonraum, der mit der Schallmembran gekoppelt ist. Es handelt sich jedoch beim Mikrophon um einen Schallempfänger und nicht, wie beim Telephon und Lautsprecher, um einen Schallgeber. Hierdurch wird die Wirkungsgradbetrachtung verändert; zur Strahlungsdämpfung und Verlustdämpfung kommt noch die sogenannte Nutzdämpfung hinzu, die der durch die Kontaktteilchen auf die Membran bewirkten Abdämpfung entspricht (Gehlhoff: Lehrbuch der techn. Physik. Bd. 1, S. 167, Abschn. 201).

Der akustisch-mechanische Wirkungsgrad ergibt sich aus dem Produkt zweier Faktoren. Der eine Faktor ist durch die Größe gegeben, die angibt, wie groß der Betrag der aus dem Schallfeld aufgenommenen Schallenergie im Verhältnis zu der ist, die maximal möglich (Optimalbedingung: absorbierte gleich reflektierter Energie). Dieser Teilwirkungsgrad wird äußerer oder Feldwirkungsgrad genannt (l. c., S. 167, Abschn. 203). Der andere Faktor gibt an, ein wie großer Teil der absorbierten Energie Nutzenergie darstellt. Er ist also aus dem Verhältnis der Nutzdämpfung zur gesamten Absorptionsdämpfung [Nutzdämpfung + Verlustdämpfung] gegeben und wird innerer Wirkungsgrad genannt (l. c., S. 168, Abschn. 205).

Das Produkt aus beiden Teilwirkungsgraden ergibt den akustisch-mechanischen Gesamtwirkungsgrad des Mikrophons. Bei den in der Technik vorliegenden Mikrophonkonstruktionen ist bisher dieser Wirkungsgrad nicht bestimmt und der mechanisch-akustische Aufbau des Mikrophons rein empirisch entwickelt worden.

(1709) Der mechanisch-elektrische Teil des Mikrophons ist von dem des Telephons gänzlich verschieden. Beim Telephon handelt es sich um eine reine Umformung elektrischer Energie in mechanische. Beim Mikrophon wird die mechanische Schwingungsenergie nur indirekt in elektrische Wechselstromenergie verwandelt dadurch, daß ein stromdurchflossener, beweglicher Kontaktwiderstand in mechanische Schwingungen versetzt wird, er hierdurch seinen Widerstand ändert und in seinem Stromkreis als Wechselstromerzeuger wirkt. Die Größe der für die mechanischen Schwingungen des Kontaktwiderstandes nötigen mechanischen Energie hat direkt nichts mit der erzeugten Wechselstromenergie zu tun. Die erzeugte elektrische Wechselstromenergie ist bei den üblichen Mikrophonen um ein vielfaches größer (etwa 100:1) als die zur Schwingung des Kontaktwiderstandes erforderliche mechanische Energie. Beim Mikrophon liegt also keine Energieumformung, sondern eine Relaiswirkung vor.

(1710) Verstärkerwirkung. Das Mikrophon ist ein Verstärker, der Energie aus mechanischer in elektrische Form umwandelt. Es ist daher für die Güte des Mikrophons weniger von Bedeutung, wie groß sein akustisch-mechanischer Wirkungsgrad, sondern wichtiger, wie groß sein Verstärkungsgrad bei der Umwandlung der mechanischen Energie in elektrische Wechselstromenergie ist. Dieser ist aber vor allen Dingen abhängig von der Art des Kontaktwiderstandes, der meist aus Kohlepulver oder Kohlekügelchen zwischen Kohle-, seltener Metall-elektroden besteht.

Neben der Größe des Verstärkungsgrades ist für die Güte des Mikrophonkontaktwiderstandes besonders noch seine Konstanz und Dauerhaftigkeit im Betrieb wichtig. Die zahlreichen Arten bisher verschieden ausgeführter Mikrophone haben mehr oder weniger diesen Forderungen der Praxis entsprochen. Die besten Ausführungsformen, die sich bei der jahrelangen technischen Entwicklung des Mikrophons ergeben haben, sind im wesentlichen in der Telephontechnik der verschiedenen Länder eingeführt worden. Aus der zahlreichen Literatur über die Entwicklung und Theorie des Mikrophons, insbesondere seines Kontaktwiderstandes, sei auf folgendes verwiesen:

Literatur: Jensen, Chr. und Sieveking, H.: Anwendungen des Mikrophonprinzips. Hamburg und Karlsruhe, Januar 1906. Gedruckt bei Lutcke Wulff, Hamburg. Hierin zahlreiche Literaturangaben. — Rohmann: Elektrische Kontakte. Phys. Z. 1920, S. 417. — Ragnar Holm: Über Kontaktwiderstände, besonders bei Kohlekontakten. Z. techn. Phys. 1922, S. 290, 320, 349. — Hersen & Hartz: Die Fernsprechtechnik. Braunschweig: Fr. Vieweg, 1910.

(711) **Frequenzbereich.** Zu der oben genannten Forderung nach hohem Verstärkungsgrad kommt noch die nach guter Wiedergabe von Sprache und Musik, d. h. gleichmäßiger Empfindlichkeit innerhalb großen Frequenzbereiches. Diese wird erreicht durch eine möglichst große Abdämpfung des Schwingungsgebildes des Mikrophons, d. i. insbesondere der Mikrophonmembran. Soweit dies nicht durch Nutzdämpfung (Abdämpfung der Membran durch die Kohleteilchen) und Strahlungsdämpfung (Trichterndämpfung) erreichbar ist, werden die Schwingungen der Membran noch durch Verlustdämpfung (z. B. in ihrer Randfassung) abgebremst. Die bisherigen Mikrophonkonstruktionen wurden hierin fast ausschließlich empirisch entwickelt.

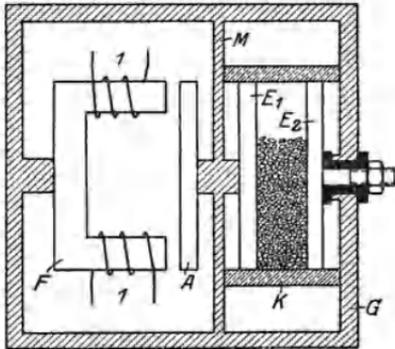


Abb. 1026. Elektromechanischer Verstärker: G Gehäuse, F Feldmagnet, 1, 1 dessen Spulen, A Anker, M Membran, E_1 , E_2 Elektroden, K Filz- oder Seidenring.

(1712) **Der Mikrophonkontakt als Wechselstromerzeuger** und einige prinzipielle Schaltungsarten seines Stromkreises sind von H. Barkhausen be-

handelt worden (Das Problem der Schwingungserzeugung, S. 18 u. f., Leipzig: S. Hirzel, 1907). Als Resultat der darin gegebenen Theorie sei besonders erwähnt, daß für eine gute Sprachverständigung die Stromschwankungen im Mikrophon klein gegenüber dem Betrag des im Mikrophon fließenden konstanten Gleichstroms sein müssen, da sonst höhere harmonische Wechselströme auftreten, die die Sprache bzw. Musik verzerren.

(1713) **Der elektromechanische Verstärker** [Mikrophonrelais] besteht aus der Verbindung des elektromechanischen Teils des Telephons mit dem mechanisch-elektrischen Teil des Mikrophons.

Sein Aufbau ist in einfachster Form in Abb. 1026 dargestellt. G ist das Gehäuse, F der daran befestigte Feldmagnet und 1, 1 sind dessen Spulen; der Anker A ist an der Membran M befestigt. Auf der anderen Seite der Membran ist die eine Elektrode E_1 angebracht, während die zweite Elektrode E_2 , vom Gehäuse G elektrisch isoliert, an diesem befestigt ist. Zwischen den beiden Elektroden E_1 und E_2 befindet sich der veränderliche Kontaktwiderstand des Mikrophons, z. B. Kohlepulver. Ein über die Elektroden gezogener zylindrischer, die mechanischen Schwingungen der Elektrode E_1 zulassender Körper K (z. B. Filz oder ein Seidenring) hält die Kohleteilchen zwischen den Elektroden gelagert.

Die Wirkung des Verstärkers kommt dadurch zustande, daß zunächst die dem Elektromagneten zugeführte elektrische Energie in mechanische Schwin-

gungsenergie der Membran umgeformt und diese durch den Mikrophoneffekt in Wechselstromenergie wesentlich höherer Leistung verstärkt wird. Bei der Umformung der elektrischen Energie in mechanische treten die schon bei der Theorie des Telephons behandelten Verluste auf, deren Großen den elektro-mechanischen Wirkungsgrad dieser Umformung bestimmen. Die neueren Fortschritte in der Entwicklung von Telephonmagneten haben ermöglicht, Wirkungsgrade von mehr als 50 vH hierbei zu erreichen.

(1714) Der Verstärkungsgrad des Verstärkers ist durch das Produkt aus diesem elektromechanischen Wirkungsgrad des elektromagnetischen Teils und aus dem Verstärkungsgrad seines Mikrophoneils gegeben. Ist z. B. dieser Wirkungsgrad 50 vH und der Mikrophonverstärkungsgrad 100:1, so ergibt sich für den Verstärkungsgrad des Verstärkers 50:1. Der elektromechanische Wirkungsgrad ist bei gegebener Gütekonstante des Apparates abhängig von der Dämpfung des Gebildes, und zwar um so kleiner, je größer die Dämpfung, d. h. je flacher die Resonanzkurve des Verstärkers ist. Dies erklärt, daß bisher solche elektromechanische Verstärker mit befriedigendem Verstärkungsgrad nur für verhältnismäßig schmalen Frequenzbereich (Tonverstärker) entwickelt und angewendet wurden, während sie sich für Sprechzwecke weniger eingeführt haben.

Anstatt, wie in Abb. 1026, die schwingende Elektrode E_1 und den Magnetanker A an demselben Schwingungsgebilde, der Membran, zu befestigen, kann man auch mehrere miteinander gekoppelte Schwingungsgebilde verwenden und Elektrode E_1 und Magnetanker A an verschiedenen Massen dieser schwingenden Gebilde anbringen. Hierdurch wird auf bequeme Art und Weise eine Übersetzung der Amplituden zwischen beiden Organen ermöglicht, wenn dies bei gegebener Ausführung des Telephon- und Mikrophoneils zwecks Erreichung eines optimalen Wirkungsgrades erforderlich ist.

Literatur: v. Hippel, Dr. A.: Mikrophone und Telephone in ihrer neuzeitlichen Entwicklung, Radio Export 1925 Nr. 9, 10 u. 11. Verlag von Hachmeister & Thal, Leipzig. Literaturverzeichnis dort S. 52.

Fernsprechapparate.

(1715) Der Fernsprecher (Telephon), ursprünglich zum Geben und Empfangen verwendet, dient heute nur noch als Empfangsapparat (Fernhörer). Seine Wirkungsweise beruht auf der Abhängigkeit der Zugkraft eines Elektromagnets von dem Erregerstrom. Durchfließt der Sprech-(Wechsel-)strom die Spulen des Telephons, so wird die als Anker vor den Polschuhen angebrachte und durch einen permanenten Magnet bereits vorgespannte Membran, den Änderungen der Zugkraft folgend, im Rhythmus der Sprechstromkurve in Schwingungen versetzt.

(1716) Bellsches Telephon. Den ersten für die Praxis brauchbaren Fernhörer konstruierte Bell. Abb. 1027 zeigt die verbesserte Form dieses Hörers.

In einem runden Gehäuse aus Hartgummi befinden sich zwei Stahlmagnete S , die durch ein Weicheisenstück E zu einem Hufeisenmagnet verbunden sind. Die flachen, ungeschlitzten Polschuhe P mit den darüber gewickelten Spulen sind in einem durchlocherten Metallbecher B befestigt. Durch eine Hartgummihörmuschel wird eine Membran M aus Weich-eisen an den eben geschliffenen Rand des Bechers gedrückt. Der Abstand zwischen Membran und Polschuhen beträgt 0,7 bis 1,2 mm.

Der Bellhörer ist in dieser Form auch heute noch in Amerika in Gebrauch. Seine Handhabung ist nicht bequem, zudem ist die Schnurbefestigung ungünstig.

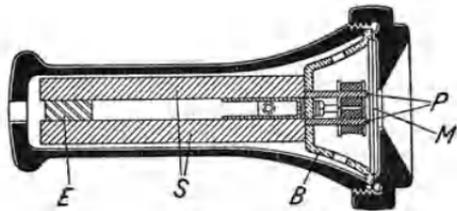


Abb. 1027. Bellsches Telephon.

(1717) **Siemensches Telefon.** In Deutschland führte die RTV den Siemenschörer ein (Abb. 1028). Die geschlitzten Polschuhe *P* sind rechtwinklig auf den Polen eines Hufeisenmagnets, der gleichzeitig als Griff dient, befestigt. Das Messinggehäuse, an dessen äußeren Rand die Membran *M* mit fünf durch die Holzhörmuschel gehende Schrauben angedrückt wird, ist an dem engen Teil mit Innengewinde versehen. Hierdurch kann die Membran nebst Hörmuschel gegen die Polschuhe verstellbar werden. Durch einen Stelling *S* wird die Membran in der günstigsten Lage festgehalten. Der Fernhörer ist bequemer zu handhaben als der Bellsche, auch ist die Schnurbefestigung günstig und die Sprachwiedergabe besser.

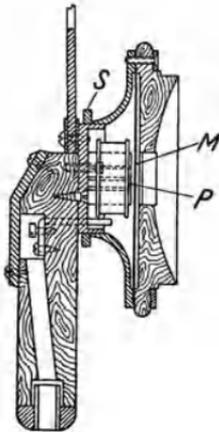


Abb. 1028. Siemensches Telefon.

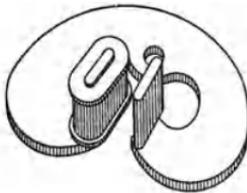


Abb. 1029. Magnet des Dosentelephons.

(1718) **Das Dosentelephon** ist bei geringerem Gewicht und billigerem Preis dem schweren Siemenstelefon in der Sprachgüte fast gleichwertig und wird daher heute hauptsächlich verwendet. Der Magnet ist ringförmig, mit rechtwinklig aufgesetzten, meist geschlitzten Polschuhen (Abb. 1029). Das Dosentelephon der RTV ist mit einer verstellbaren Membran versehen. Die Einstellung erfolgt entweder durch eine im Boden des Gehäuses befestigte Stellschraube mit Schlitz oder durch einen Stelling an der Hörmuschel. Das Dosen-

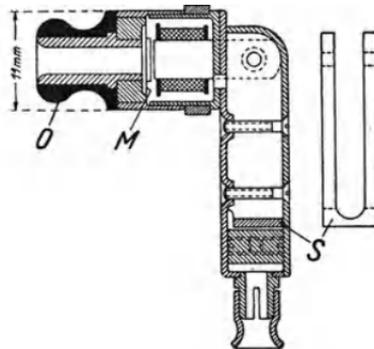


Abb. 1030. Ohrtelefon.

telefon wird jetzt in der Regel mit dem Mikrophon zusammen als Handapparat (Mikrotelefon) verwendet (Abb. 1224 a, b u. 1225). Für die Bedienungspersonen in Zentralen gebraucht man Dosentelephone mit Bügel (Kopftelephone).

(1719) **Das Ohrtelefon** (Gehörgangstelephon) ist im konstruktiven Aufbau dem Siemenschörer ähnlich, unterscheidet sich aber von ihm durch die Größe. Dieser Hörer wird nicht an die Ohrmuschel gedrückt, wie das Dosentelephon, sondern in den Gehörgang eingeführt. Die Hartgummilive *O* (Abb. 1030) ist so geformt, daß das Telefon im Gehörgang mit gelindem Druck festgeklemmt wird. Da der Hörer sehr leicht ist (vgl. Tabelle), braucht er nicht mit der Hand festgehalten zu werden, ist daher ein brauchbarer Ersatz für Kopftelephone. Die Membran *M* besteht aus Goldschlägerhaut mit einem aufgeklebten, kleinen Eisenstück. *S* ist der Stahlmagnet. Die Lautstärke dieses Hörers ist geringer als die der großen Dosentelephone. Da aber die Olive mit ihrer ganzen Oberfläche den inneren Gehörgang berührt, werden die Sprachschwingungen auch durch die Schädelknochen wahrgenommen, so daß der Gehöreindruck dem eines Dosen-

telephons gleichwertig ist. Die Mitwirkung der Schädelknochen beim Hören macht dies Gerät auch als Schwerhörigentelephon geeignet, besonders für Personen mit beschädigtem Trommelfell.

(1720) Eigenschaften der Fernhörer.

	Windungen	Durchmesser des Drahtes	Ohm Gleichstrom	Durchmesser der Membran mm	Stärke der Membran mm	Gewicht g
Bell	2 × 765	0,12	2 × 45	55	0,23	420
Siemens	2 × 880	0,1	2 × 100	97	0,4	560
RTV	2 × 880	0,1	2 × 100	85	0,35	370
Dosen- telephon OB	2 × 840	0,2	2 × 75	65	0,2	177
Dosen- telephon ZB	2 × 600	0,2	2 × 30	65	0,2	177
Ohrtelephon	2 × 1050	0,06	2 × 60	7	0,02	15

(1721) Magnetische Verbesserungen. In dem prinzipiellen Aufbau des Telephons ist trotz verschiedenartiger Ausführungsformen seit Jahren fast nichts geändert worden, wenn es auch an theoretischen Überlegungen über Verbesserungsmöglichkeiten nicht gefehlt hat. Eine Vergrößerung des Kraftlinienflusses in den Polschuhen durch Verwendung kräftigerer Magnete hat nur bis zu einem gewissen Grade Erfolg, da bei Sättigung der Membran die weitere Erhöhung des Kraftlinienflusses nur die Streuung vergrößert. Durch Anordnung eines magnetischen Nebenschlusses soll eine Verbesserung der Sprachübertragung möglich sein (ETZ 1922, S. 269 u. 1923, S. 257). Der magnetische Nebenschluß ist in manchen Fernhörern schon durch die Anordnung der Polschuhe vorhanden.

Über die Zweckmäßigkeit geschlitzter Polschuhe gehen die Meinungen auseinander. Während die RTV geschlitzte Polschuhe vorschreibt, sind im Auslande überwiegend Spulenkern aus massivem Eisen im Gebrauch. Ebenso ist die äußere Einstellbarkeit des Abstandes zwischen Membran und Polschuh nur in Deutschland Vorschrift. In den Vereinigten Staaten wird der günstigste Luftspalt in der Fabrik fest eingestellt, eine Anordnung, die entschieden ihre Vorteile hat.

(1722) Weicheisenmagnet. An Stelle des Dauermagnets verwendet man auch Spulen mit Weicheisenkern, der bei ZB-Betrieb oder direkter Sprachübertragung durch den Mikrospaisestrom magnetisiert wird (Abb. 1031). Der Elektromagnet ist als Topfmagnet ausgebildet, der innere Schenkel S trägt die Spule, der äußere Schenkel ist mantelförmig und dient als Auflage für die Membran. Durch den Wegfall des Dauermagnets wird der Fernhörer in der Form kleiner und leichter, auch bleibt die Lautstärke stets gleich. Bei Hörern mit Stahlmagnet läßt erfahrungsgemäß die Lautstärke mit der Zeit nach, da die Magnete altern. Die Verwendung des magnetlosen Hörers erfordert jedoch eine Abweichung von der bisher üblichen Schaltung der Teilnehmerapparate und Ämter. Bei weiterer Automatisierung der Fernsprechämter ist eine allgemeine Einführung sehr wahrscheinlich.

(1723) Sprachgüte. Die Güte eines Telephons wird im allgemeinen durch Vergleich mit einem anerkannt guten Fernhörer beurteilt. Die Erfahrung lehrt, daß die Feststellung der Gleichheit von Lautwirkungen leichter ist als das Bestimmen der Größe der Unterschiede (Tel.- u. Fernspr.-Techn. 1914, S. 189).

Vergleicht man zwei Telephone durch abwechselndes Hören miteinander, so ergeben sich wegen der ungleichen Empfindlichkeit des menschlichen Ohres

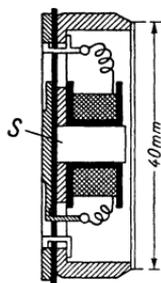


Abb. 1031. Magnetloses Telephon.

oft erhebliche Abweichungen in der Beurteilung. Zum gleichzeitigen Abhören kann man das zu prüfende Telephon und das Vergleichstelephon schall dicht auf die Enden eines zylindrischen Rohres aufsetzen, in dessen Mitte ein Hörschlauch mit Hörmuschel angesetzt ist. Schaltet man die Telephone gegeneinander, so muß der Schall bei gleicher Empfindlichkeit der Hörer verschwinden. Sind die Hörer ungleich, so kann man durch Hinzu- oder Abschalten von Widerstand an den Klemmen des zu prüfenden Telephons den Schall zum Erlöschen bringen und hat in der Größe des zu- oder abgeschalteten Widerstandes ein Maß für die Sprachgüte des zu untersuchenden Hörers (El. Nachrichtentechnik 1925, S. 26). Als Normaltelephon hat der vorbereitende Ausschuß für die europäische Fernsprechkonferenz den Bellhörer vorgeschlagen. Gegen diesen Vorschlag ist jedoch, besonders von deutscher Seite, Widerspruch erhoben worden, da einerseits der Bellhörer in Europa wenig verbreitet ist und andererseits die eindeutige Festlegung der elektrischen Eigenschaften des vorgeschlagenen Telephons als Maßeinheit technisch sehr schwer ist (ETZ 1924, S. 398). Arbeiten, um an Stelle eines Vergleichs mit einem Normaltelephon eine absolute Messung zu setzen, deren Ergebnis in einer Zahl ausgedrückt werden kann, sind im Gange.

Die seit 1923 aufgerollte Frage des europäischen Fernkabelnetzes hat ein internationales Übereinkommen über eine Maßeinheit für die Güte der Sprachübertragung als wünschenswert erwiesen.

(1724) **Lautsprecher** werden für geräuschvolle Räume (z. B. Maschinenhäuser) und für Kommando zwecke (z. B. Stellwerke) verwendet. Diese sind im Prinzip dem Dosentelephon ähnlich, jedoch werden die Magnete kraftiger ausgeführt (Gewicht etwa 2000 g und mehr), die Membran ist meist größer, an Stelle der ans Ohr zu legenden Hörmuschel werden Schalltrichter angebaut.

Die nicht elektromagnetischen Lautsprecher (Bändchenlautsprecher, elektrodynamischer Lautsprecher) werden in der Drahttelephonie selten benutzt (2247).

(1725) **Das Mikrophon** bestand in seiner ursprünglichen Anordnung aus einem runden Kohlenstab, der auf oder zwischen zwei Kohleblöcken lose ruhte. Seine Wirkungsweise beruht auf der Abhängigkeit des Übergangswiderstandes zwischen zwei Leitern von dem Kontaktdruck. Auftreffende Schallwellen verändern den Kontaktdruck und dementsprechend den Widerstand des Mikrophons. Durch Vergrößerung der Anzahl der Berührungstellen wird die Wirkung gesteigert.

Man verwendete daher mehrere Kohlenstäbe (Walzenmikrophon), neuerdings Kohlenkugeln von 0,5 bis 3 mm Durchmesser oder Kohlengries.

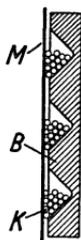


Abb. 1032.
Kugel-
mikrophon.

(1726) **Kohlenkugel- und Kohlenkörner-Mikrophon** (Abb. 1032).

In den Vertiefungen eines Kohlenblockes *B*, der dicht hinter der Kohlenmembran *M* angeordnet ist, befinden sich Kugeln *K* aus harter Kohle. Der Abstand zwischen Membran und Kohlenblock ist kleiner als der Durchmesser der Kugeln, so daß diese nicht seitlich herausfallen können.

Für das Kohlenkörnermikrophon verwendet man als Füllung feinkörniges Kohlengries. Der Kohlenblock ist hierbei von einem Filzring eingeschlossen, der einerseits ein Herausfallen der Körner verhindert, gleichzeitig aber auch als Dämpfung für die Kohlenmembran wirkt.

(1727) **Mikrophonkapseln.** Während man anfänglich die Mikrophone fest in die Gehäuse einbaute, zieht man jetzt die bequemeren Mikrophonkapseln vor. Es sind dies Metallkapseln von etwa 50 bis 60 mm Durchmesser und 10 bis 15 mm Höhe, in die alle Teile des Mikrophons eingebaut werden. Abb. 1033 zeigt eine solche Kapsel im Schnitt, *R* ist der Filzring. Die Kapsel wird in das Gehäuse oder das Mikrotelephon eingesetzt. Die Kapseln werden auch auseinandernehmbar gebaut. Man kann nach Abheben eines Sprenglings oder eines durchlochenden Deckels die Membran auswechseln und neues Kohlengries einfüllen.

Während in Deutschland meist die billigen und leichten Kapseln bevorzugt werden, ist in Amerika eine schwerere Konstruktion (solid back) im Gebrauch. Die Kontaktflächen werden von zwei auf Hochglanz polierten Kohlenplatten gebildet, von denen die eine an einer starken Metallschiene, die andere an einer Aluminiummembran befestigt ist. Der Zwischenraum zwischen den Platten ist mit Kohlengrües ausgefüllt und wird durch eine Hilfsmembran, meist aus Glimmer, nach außen abgeschlossen. Die Aluminiummembran wird zwischen Gummiringen eingespannt und durch zwei Federn mit Gummiüberzug gedämpft. Dies Mikrofon ist in der Wirkung nicht kraftiger, als die Kapselmikrophone, zeichnet sich aber durch deutliche Sprache und große Lebensdauer aus.

Mikrophone für Ortsbatterie haben im Ruhezustand meist einen Widerstand von 10... 50 Ω und können mit Strömen bis zu 150 mA belastet werden.

ZB-Mikrophone haben höheren Widerstand (100... 500 Ω) und sprechen am besten mit etwa 15... 40 mA.

(1728) Starkstrommikrophon. Die Lautstärke eines Mikrophons wächst in gewissen Grenzen mit der durch das Mikrofon fließenden Stromstärke. Es liegt

daher nahe, durch Erhöhung der Batteriespannung die Mikrofonwirkung zu verstärken. Diese verhältnismäßig starken Ströme führen jedoch zu einer Erwärmung der Membran und der Kohlenkugeln bzw. -körner, eine Erscheinung, die sich im Telefon durch ein Rauschen und Brodeln bemerkbar macht. Die Oberfläche der Kohle bedeckt sich bei längerer Erhitzung mit einer grauen, nicht leitenden Ascheschicht, wobei die Körner oft zusammenbacken. Das Mikrofon wird dadurch unbrauchbar.

Es hat nicht an Versuchen gefehlt, diese im Mikrofon entstehende Wärme unschädlich zu machen. So ist versucht worden, das Gluhen der Kohleteilchen dadurch zu verhindern,

daß die Kontaktstellen von geeigneten Gasen umgeben sind (z. B. Wasserstoff). Ferner kann die schädliche Wärme durch Einbau guter Wärmeleiter nach außen abgeleitet werden (Kupferklotz). Endlich kann das ganze Mikrofon mit Wasserkühlung versehen werden (ETZ 1912, S. 205). Mikrophone solcher Bauart nehmen einen Strom von einigen Ampere auf bei Batteriespannungen bis zu 20... 30 V. Trotz großer Lautstärke haben sich diese Konstruktionen für die Drahttelefonie wegen der unbequemen Bedienung nicht eingeführt.

Durch Unterteilung des Kohleblockes in zwei voneinander isolierte Teile, z. B. konzentrische Ringe, kann man bei Hintereinanderschaltung dieser Teile den Stromweg verlängern, also den Spannungsabfall vergrößern. Schaltet man die Kammern parallel, so wird die Kontaktfläche vergrößert, demnach die Stromaufnahme trotz gleicher Belastung je Flächeneinheit größer.

Für Lautsprechanlagen (Kommandotelephon) wird das Mikrofon im allgemeinen nur auf kurze Zeit mit längeren Pausen zwischen den Gesprächen eingeschaltet. Da in diesen Pausen das Mikrofon Zeit hat, sich abzukühlen, kann oft eine in mäßigen Grenzen bleibende Erwärmung ohne Schaden zugelassen werden. Es ist alsdann für gute Oberflächenbearbeitung der Kohle (Hochglanz) und Ableitung der Wärme (dickwandige Kapsel) Sorge zu tragen. Abb. 1034 zeigt eine solche Kapsel im Schnitt. Der Kohleblock *K* ist durch zwei kreuzweis angebrachte dünne Glasstreifen *G* in vier Kammern geteilt, die mit Kohlengrües gefüllt sind. Diese Teilung der Kohlekammer verhindert ein Zu-

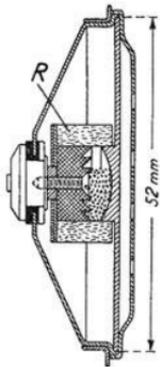


Abb. 1033.
Mikrofonkapsel.

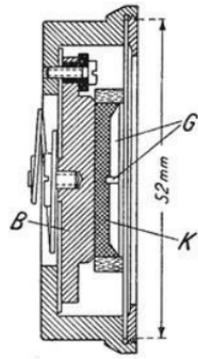


Abb. 1034.
Starkstrommikrophon.

sammenbacken der Körner. Der starke Messingblock *B* leitet die Wärme des Kohlenblockes auf die Kapselwand ab. Die Wand der Kapsel ist aus starkem Aluminium gefertigt und dient auch als Wärmespeicher. Abb. 1035 zeigt eine andere Starkstrommikrofonkapsel im Schnitt. Die die Sprachschwingungen aufnehmende Membran *M* besteht aus dünnem Aluminiumblech und ist durch einen Stift mit einem Block gekuppelt, dessen Flächen mit auf Hochglanz polierten Kohleplatten bedeckt sind. Der Block befindet sich in der Mitte eines mit Kohlengrie gefüllten Raumes, der durch Glimmer- und Papiermembranen in zwei Teile geteilt wird. Dieser zylindrische Raum ist an den Grundflächen durch polierte Kohleplättchen abgeschlossen, während die Mantelfläche von zwei starken, innen isolierten Messingringen *R* gebildet wird, die zur Wärmeableitung dienen. Die Wand der Kapsel ist mehrfach durchlocht, so daß die beim Gespräch erwärmten Messingringe sich in den Gesprächspausen rasch nach außen abkühlen. Da der schwingende Block beiderseits von Kohlenkörnern umgeben ist, erfolgt bei Zusammendrücken der Kohlenkörner auf der einen Seite (Widerstandsverringering) ein gleichzeitiges Lockern der Körner auf der anderen Seite des Blockes (Widerstandsvergrößerung). Die beiden Hälften der Kammern wirken daher entgegengesetzt. Verbindet man jedoch die festen Kohleplatten mit den Enden der Induktionsspule, den beweglichen Kohleblock mit der Mitte der Primärwicklung, so addieren sich die einander entgegengesetzten Wirkungen der beiden Mikrofonhälften in ihrer Wirkung auf die Sekundärspule. Das Mikrofon hält Belastungen von 1 A längere Zeit ohne Schaden aus.

Mikrophone ohne Kohlekontakte (Wasserstrahlmikrophone, Kathodophone, Bändchenmikrophone, Kondensatormikrophone) werden in der Drahttelefonie selten verwendet (2240).

Das Interesse an dem Bau von Starkstrommikrophonen für Gespräche auf große Entfernungen hat seit Einführung der Verstärkerröhren merklich nachgelassen, da die Verstärker im allgemeinen eine reinere Sprachübertragung ermöglichen. Die Verständlichkeit eines Gespräches ist nicht allein von der Lautstärke, sondern besonders auch von der Reinheit der Sprache abhängig. Die Lautstärke kann durch Vergrößerung der Leistung des Mikrophons erhöht werden. Meist geht aber diese Vergrößerung der Leistung auf Kosten der Deutlichkeit der Sprache, indem die Sprache verzerrt wird (1615). Je nach der Beschaffenheit des Gerätes und der Leitung werden (durch Resonanz) einzelne Frequenzen schwächer gedämpft als andere. So wird im allgemeinen der Vokal *a* stärker als alle anderen Laute übertragen, am schlechtesten ist die Wiedergabe der Konsonanten. Das vom Mikrophon auf die Leitung übertragene elektrische Kurvenbild ist daher dem Schallkurvenbild nicht gleich (Tel.- u. Fernspr.-Techn. 1919, S. 6). In der Ferntelefonie hat man außer der Verzerrung im Mikrophon und Telefon auch mit der Verzerrung in der Leitung zu rechnen (1633 u. f.).

(1729) Mikrotelephon. Mikrofonkapsel und Telefon können auch in einem Apparat zusammengebaut werden (Mikrotelephon, Handapparat). In Deutschland ist diese Form die häufigere, während in Amerika auch bei Tischgehäusen das solid-back-Mikrophon und der Bellhörer vorherrschen. In dem Abfrageapparat der RTV ist der Fernhörer *F* und das Mikrophon *M* mit Sprechtrichter an beiden Enden eines Metallrohres befestigt, das in der Mitte durch einen Griff aus Isolierstoff geschützt ist (Abb. 1036; 1224 a, b u. 1225).

Bei einer anderen im Auslande verbreiteten Form befinden sich der Fernhörer *F* und das Mikrophon *M* dicht hintereinander, das Mikrophon wird durch einen langen Trichter besprochen. Zum Anschluß an ZB-Ämter wird hierbei ein magnetloses Telefon benutzt, dessen Spulenwicklung gleichzeitig als Induktionsspule dienen kann (Abb. 1037).

(1739) Hilfsapparate, Wecker. In den Teilnehmerstationen der Fernsprechnetze werden jetzt ausschließlich polarisierte Wechselstromwecker mit gewöhnlich zwei Glockenschalen verwendet. Sie besitzen ein zweiseitenkliges Elektromagnetsystem, über dem ein um seine mittlere Querachse drehbarer Anker an-

gebracht ist. Der Dauermagnet ist so angeordnet, daß der eine Pol am Joch des Magnetsystems, der andere am Anker liegt. Hierbei ist der Stahlmagnet entweder rechtwinklig gebogen und befindet sich außerhalb der Spulen, oder er ist stabförmig und ist dann zwischen den Spulen befestigt. Der auf diese Weise magnetisierte Anker wird von den Enden beider Spulen gleich stark angezogen. Fließt nun ein Wechselstrom durch die im entgegengesetzten Sinne gewickelten Spulen des Weckers, so bilden sich an den dem Anker zugekehrten Enden der Spulenkern ungleichnamige magnetische Pole. Die durch den Dauermagnet einerseits und den Wechselstrom andererseits hervorgerufenen Kraftlinien addieren sich in der einen Spule, während in der anderen nur die Differenz beider zur Wirkung kommt. Der beiderseits gleichnamig polarisierte Anker wird daher

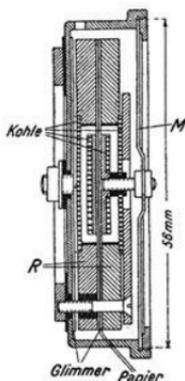


Abb. 1035. Starkstrommikrophon.

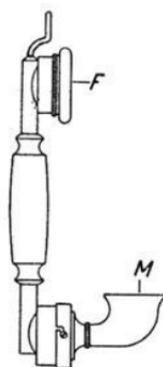


Abb. 1036. Mikrotelephon RTV.

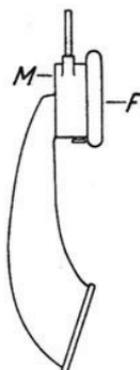


Abb. 1037. Mikrotelephon.

an seinem einen Ende angezogen, am anderen abgestoßen. Der in der Mitte des Ankers befestigte Klöppel schlägt bei jedem Stromwechsel abwechselnd an die Glocken.

Die in OB-Apparaten verwendeten Wechselstromwecker werden meist mit Spulen von geringem Widerstand versehen, da der Wecker durch den Hakenumschalter beim Gespräch abgeschaltet wird. In ZB-Stationen bleibt beim Gespräch der Wecker vorwiegend als Nebenschluß in der Sprechleitung eingeschaltet und muß daher, um die Sprache nicht zu schwächen, hohen Widerstand haben. Der Selbstinduktionskoeffizient solcher Wecker soll möglichst hoch sein.

Eigenschaften von Wechselstromweckern.

Bezeichnung	Drahtstärke mm	Windungszahl	Gleichstromwiderstand Ω	Selbstind. bei $n = 700$ H	Scheinwiderstand bei $n = 700 \Omega$	Empfindlichkeit mA
RTV 03	0,18	2×4880	2×150	1	4900	2,5
RTV	0,14	2×9500	2×500	3	19200	5
ZB 06						
S & H	0,12	2×6000	2×300	2	12000	4

Dem Gleichstromwecker gegenüber hat der Wechselstromwecker den Vorzug der größeren Empfindlichkeit. Außerdem hat der Wechselstromwecker keinen Unterbrecherkontakt, ist also frei von den mit letzterem verbundenen Störungen und demnach auch dauerhafter. Die Empfindlichkeit des Weckers läßt sich erhöhen, wenn der Widerstand des magnetischen Kreises durch Einfügen eines

Luftspaltes zwischen Magnet und Joch vergrößert wird. Da aber der Magnetismus im Anker hierbei geringer wird, verschlechtert sich die Lautwirkung. Umgekehrt läßt sich eine kraftigere Lautwirkung nur auf Kosten der Empfindlichkeit erreichen.

Gleichstromwecker, auf dem Prinzip der Selbstunterbrechung beruhend, finden in Hausanlagen zum Anruf und als Zusatzwecker im Ortsstromkreis in Verbindung mit Klappen- und Fallscheibenapparaten Verwendung. Widerstand bei kurzen Leitungen und niedriger Spannung 2...20 Ω , bei höheren Spannungen und längeren Leitungen 150...600 Ω (2069).

(1731) Induktoren werden zum Anrufen des Amtes und der Sprechstellen verwendet. Es sind magnetelektrische Maschinen mit Doppel-T-Anker, deren Antrieb durch Kurbel und Zahngetriebe erfolgt. Sie erzeugen in der Regel Wechselstrom von 15...21 Per/s, der an der Ankerachse durch Schleiffedern abgenommen wird. Eine automatische Umschaltvorrichtung, die beim Drehen der Kurbelwelle in Tätigkeit tritt, verbindet die Schleiffedern mit der Leitung. Wird auf der Ankerachse ein Stromwender angebracht, so läßt sich dem Induktor auch Gleichstrom entnehmen, der allerdings wellenförmiger Art ist. Ein Vorzug der Induktoren gegenüber anderen Stromquellen ist ihre große Betriebssicherheit.

Kleineren Induktoren gibt man 2 bis 3, größeren 4 bis 5 hufeisenförmige Dauermagnete. Eine weitere Erhöhung der Lamellenzahl vermehrt die Leistung nicht in dem Maße, wie Gewicht und Größe des Induktors zunehmen. Wesentlich ist, daß die Magnete nach längerem Gebrauch eines Induktors nicht oder nur wenig in ihrer Kraft nachlassen. Man verwendet daher als Material nur besten Magnetstahl, besonders solchen mit hohem Wolframgehalt, noch besser ist Kobalt-Chromstahl. Hohe Hufeisenmagnete zeigen ein geringeres Nachlassen als kurze dicke Magnete. Sorgfältige Herstellung, namentlich was die Hartung betrifft, ist bei Induktormagneten Bedingung. Als Material für Anker und Polschuhe ist weiches Schmiedeeisen, für den Anker auch bester, feinkörniger Temperguß, gut gegläht, am geeignetsten. Unterteilung des Ankereisens zwecks Herabsetzung der Wirbelströme wird teuer und bringt kaum einen Gewinn. Die Ankerlappen brauchen in keinem Fall unterteilt zu sein. Neuerdings gibt man dem Anker in der Wicklungzone nur wenig Eisen und legt mehr Wert auf die Unterbringung recht vieler Windungen bei möglichst niedrigem Leitungswiderstand.

Die Ankerachse kann entweder durchgehend sein, also mit dem Ankernern ein Ganzes bilden, oder aus zwei getrennten Teilen bestehen, die in seitlichen Anschlußscheiben am Anker fest eingepaßt sind. Die erste Ausführung ist im Aufbau einfacher, die zweite etwas teurer, ergibt aber einen größeren Wickelraum, der für die Erhöhung der Induktorleistung vorteilhaft ausgenutzt werden kann.

Der Luftabstand zwischen Anker und Polschuhen wird möglichst klein gehalten (0,15...0,2 mm auf jeder Seite).

Die mit dem Oszillographen aufgenommenen Strom- und Spannungskurven nähern sich der Dreiecksform, welche auch für die durch Induktoren betriebenen Apparate (Wechselstromwecker und Fallklappen) günstiger als die Sinusform ist. Durch geeignete Bemessung der Ankerlappen und Polschuhe sorgt man jedoch dafür, daß der obere Teil des Dreiecks nicht zu spitz ausläuft; da Spannungsspitzen von 100, 200 und mehr Volt auftreten können, würde sonst die induktive Beeinflussung benachbarter Leitungen zu groß werden.

Genauen Aufschluß über die Leistung eines Induktors erhält man, wenn man ihn bei konstanter Tourenzahl mit einem induktionsfreien Widerstand belastet, in den Stromkreis ein Hitzdrahtamperemeter mit möglichst geringem Widerstand einschaltet, den Belastungswiderstand schrittweise ändert und Punkt für Punkt die sich ergebenden Stromstärken feststellt.

Vielfach ist es üblich, die offene Klemmenspannung eines Induktors zu messen und nach deren Größe den Induktor zu beurteilen. Abgesehen davon, daß eine solche Messung kaum einen Wert hat, wenn nicht auch gleichzeitig eine

Strommessung damit verbunden wird, haben die gewöhnlich dazu benutzten technischen Spannungsmesser einen viel zu großen Eigenverbrauch (zuweilen bis 10 vH des Stromes, den der Induktor bei Kurzschluß hergeben würde) und zeigen außerdem je nach der Größe ihres inneren Widerstandes ganz verschiedene Werte an.

Eigenschaften der Induktoren.

Induktortype		Siemens		Western		RTV
		I	II	I	II	
Gewicht in kg		3,87	1,2	5,2	2,0	1,2
Ma- gnete	Anzahl	4	2	5	2	2
	Höhe in mm	140	80	144	140	80
Anker	Windungszahl	3300	5600	2100	3680	3000
	Drahtstärke mm . . .	0,22	0,17	0,27	0,10	0,20
	Widerstand Ohm . . .	200	365	110	570	163
	Länge in mm	88	48	100	51	51
	Durchmesser in mm . .	44	38	47,5	46	38
	Ankerachsen	nicht unterteilt				
		nicht durchgehend		durchgehend		
Zahnradübersetzung		1 : 7	1 : 6,2	1 : 5,5	1 : 4,8	1 : 7
Strom in mA	500 Ω	110	56	90	62	55
bei 3 Kurbelumdreh./s .	1000 Ω	88	47	62	48	35
und einer Belastung von	1500 Ω	72	40	45	39	26
Größte Nutzleistung in Watt bei Belastung mit Ohm . .		8	2,4	5	2,3	1,6
		1300	1500	300	1000	550

(1732) **Induktionsspulen** sind kleine Transformatoren, die in Fernsprechgehäusen mit Ortsbatterie zur Umwandlung der durch das Mikrophon erzeugten Schwankungen des niedrig gespannten Gleichstromes in Wechselstrom von höherer Spannung dienen. In ZB-Gehäusen dient die Spule zur induktiven Kopplung zwischen Mikrophon- und Fernhörerkreis, da letzterer nicht von Gleichstrom durchflossen werden soll.

Die Induktionsspulen werden mit offenem oder geschlossenem Eisenkern gebaut. Bei der offenen Form, die in Abb. 1038 schematisch dargestellt ist, besteht der Kern von 6... 10 cm Länge und 10 mm Durchmesser, auf dem zunächst die primäre und darüber die sekundäre Wicklung liegt, aus Weicheisendraht. Auf die Enden des Eisenkernes sind viereckige Spulenköpfe aus Holz aufgeschoben.

Nach Ansicht der Praktiker schien diese Bauart die beste zu sein. Man glaubte, daß der Wirkungsgrad der Spule am besten sei, wenn der Kraftlinienfluß des Gleichstromes (Vormagnetisierung) ein bestimmtes Maß nicht übersteigt. Eingehendere Untersuchungen und Dämpfungsmessungen führten jedoch zu dem Ergebnis, daß bei Wahl geeigneter Windungszahlen eine Spule mit geschlossenem Eisenkern der früheren Form in vieler Hin-

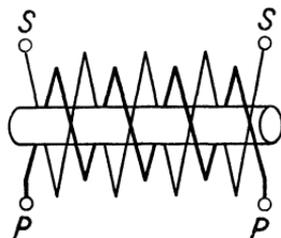


Abb. 1038. Induktionsspule mit offenem Kern.

sicht überlegen ist. Da sie zudem kleiner, leichter und billiger ist, dürfte sie die Spule mit offenem Kern bald verdrängen. Der Kern der geschlossenen Spule wird aus dünnem Dynamoblech hergestellt, Länge des Kerns etwa 50 mm (Abb. 1039).

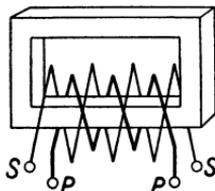


Abb. 1039. Induktionsspule mit geschlossenem Kern.

Die Wicklungsangaben der Spulen in nachstehender Tabelle beziehen sich nur auf die in Deutschland üblichen Typen. Man sieht aus der Tabelle, daß das Übersetzungsverhältnis bei der alten OB-Spule 3:40, bei der neuen nur noch 3:12 beträgt. Der Scheinwiderstand der Spulen ist dem des normalen Fernhörers angepaßt.

Außer diesen vier Typen der RTV sind noch die Wicklungen 1:200 Ω , 3:50 Ω , in Amerika auch 28:51 Ω üblich. Induktionsspulen für die Abfrageschaltungen in Zentralen erhalten oft noch eine dritte Wicklung (Mithörwicklung), ebenso sind für besondere Zwecke auch Differentialwicklungen im Gebrauch (1762).

Eigenschaften der Induktionsspulen.

Type	Primär				Sekundär		
	Kern	Windungszahl	Drahtdurchmesser mm	Widerstand Ω	Windungszahl	Drahtstärke mm	Widerstand Ω
OB	offen	300	0,5	0,8	4000	0,15	200
OB	geschl.	300	0,4	1,4	1200	0,2	29
ZB	offen	1700	0,35	16	1400	0,22	22
ZB	geschl.	1500	0,2	29	1100	0,2	32

(1733) **Haken- und Gabelumschalter.** Zum selbsttätigen Umschalten des Teilnehmerapparates von der Ruhe- in die Sprechstellung benutzt man Haken- oder Gabelumschalter. Bei Gehäusen mit hängendem Stieltelefon oder Mikrotelefon ist der Haken als ein- oder zweiarziger Hebel ausgebildet, dessen hakenförmiger, aus dem Gehäuse herausragender Arm durch eine Feder nach oben gezogen wird (Abb. 1225). Das Gewicht des angehängten Hörers (oder Mikrotelefons) überwindet den Zug der Feder und zieht den Haken nach unten. Bei einfachen Hausapparaten wird der Haken selbst als Kontakt benutzt, indem er bei seiner Bewegung an Federn vorbeischieft. Der Haken ist daher spannungsführend. Da aber die aus dem Gehäuse ragenden, der Berührung zugänglichen Metallteile aus Sicherheitsgründen nicht stromführend sein sollen, verwendet man neuerdings den Haken nur als mechanisch bewegenden Teil, der einen isoliert angeordneten Federsatz betätigt.

Bei Tischgehäusen und Wandgehäusen mit liegendem Mikrotelefon ist der Träger des Abfrageapparats (die Gabel) beweglich angeordnet (Abb. 1224). Die Gabel dreht sich ähnlich dem Hakenumschalter um eine horizontale Achse (Wippe) oder wird in einer Geradföhrung senkrecht verschiebbar angeordnet. In beiden Fällen wird die den Schalter in der Sprechstellung haltende Federspannung durch das Gewicht des Mikrotelefons überwunden. Gabelschalter betätigen den isoliert angeordneten Federsatz in ähnlicher Weise wie Hakenschalter. Oft ist auch das untere Ende der senkrecht gleitenden Geradföhrung als Kegel aus Isoliermaterial ausgebildet, der zwischen die Federn des Umschalterfedersatzes hineingedrückt wird und die Kontakte umlegt.

Hakenumschalter für OB-Gehäuse haben meist 5 Federn (1 Umschalte- und 1 Arbeitskontakt), für ZB-Gehäuse 2 Federn (1 Arbeitskontakt), für SA-Gehäuse 3 Federn (1 Doppelarbeitskontakt) (1962).

Haken- und Gabelschalter für Linienwähler- und Rückfragestationen haben meist noch eine mechanische Kupplung mit dem Linienschalter (1963, 1972).

(1734) Kondensatoren. Der Wirkwiderstand eines Kondensators ist abhängig von der Periodenzahl des Stromes. Während für Gleichstrom der Widerstand gleich dem Isolationswiderstand, also praktisch unendlich ist, beträgt er bei den in der Fernsprechtechnik üblichen Konstruktionen je nach Wechselzahl einige tausend oder hundert Ohm. Diese Eigenschaft macht den Kondensator als Sperrwiderstand für Gleichstrom sehr geeignet. Der in der Fernsprechtechnik häufig verwendete Kondensator der RTV mit der Kapazität 2 Mikrofarad zeigt folgende Widerstandswerte:

für Gleichstrom	330 000 000 Ω
„ Rufstrom 15 Per/s	5 300 „
„ Sprechstrom 800 Per/s	100 „

In den Gehäusen der ZB-Stationen wird der Kondensator mit dem Wecker in Reihe geschaltet, in den OB-Gehäusen zum Anschluß an Ämter mit Galvanoskopschlußzeichen liegt der Kondensator im Telephonstromkreis.

Das Dielektrikum der Fernsprechkondensatoren besteht aus einer oder zwei Lagen dünnen, paraffinierten Papiers, für die Belegungen verwendet man Stanniol. Aluminiumfolie ist zeitweise auch benutzt worden, hat sich aber nicht bewährt. Die beiden Stanniolbänder, die bei einer Breite von 38 . . . 90 mm eine Länge von 18 m haben, werden zusammen mit den Papierzwischenlagen entweder um einen Dorn mäßig fest gewickelt oder gefaltet. Zum Anschluß der Klemmen oder Lötösen werden Elektroden aus dünnem Messingblech mit eingewickelt. Hierauf wird der Kondensator durch Pressen in die gewünschte Form gebracht, im Vakuum getrocknet und paraffiniert. Der Kondensator wird alsdann in ein Schutzgehäuse aus lackierter Pappe oder Blech gebracht, das mit Isoliermasse vergossen wird.

Eigenschaften der Kondensatoren der RTV.

Kapazität μF	Isolation M Ω	Durchschlags- spannung V	Außenmaße mm	Stärke des	
				Stanniols mm	Papiers mm
2	1100	500	117 × 47,5 × 47,5	0,01	0,02
2	330	500	50 × 45 × 35	0,007	0,02

Polarisationszellen, die früher zum Absperren von Stromkreisen gegen Gleichstrom verwendet wurden, sind heute nicht mehr im Gebrauch.

Literatur: Hersen, C. und Hartz, R.: Die Fernsprechtechnik der Gegenwart. — Esselborn: Lehrbuch der Elektrotechnik, Telegraphie und Fernsprechwesen. Bd. II. — Goetsch: Taschenbuch für Fernmeldetechniker. — Kenelly: Electrical Vibration Instruments.

Die Schaltschränke.

I. Die Teilnehmer(A)-Schränke.

(1735) Allgemeines. Die Teilnehmerschränke müssen mit sämtlichen Einrichtungen ausgerüstet sein, welche zur Abwicklung des Verbindungsverkehrs zwischen einem Teilnehmer und einem beliebigen anderen in demselben Amte angeschlossenen Teilnehmer erforderlich sind. Diese Einrichtungen sind:

1. Anrufzeichen (Lampen, Schauzeichen, Klappen), durch welche der Teilnehmer sich dem Amte bemerkbar macht, wenn er eine Verbindung wünscht,
2. Klinken, an deren Federn die Sprechleitungen der Teilnehmer angeschlossen sind und über welche die Verbindung ausgeführt wird,
3. Schnurpaare mit je einem Stöpsel an jedem Schnurende, mittels deren die Verbindung zwischen der Klinke des anrufenden und der Klinke des verlangten Teilnehmers hergestellt wird,

4. zu jedem Schnurpaar ein Sprech- und Rufumschalter, durch welchen sich die Telephonistin in die Verbindung einschalten, den Teilnehmer abfragen und den verlangten Teilnehmer rufen kann.

5. Eine Abfragevorrichtung mit Einschaltklinke, an welche die Telephonistin bei Dienstantritt ihren Abfrageapparat (Brustmikrophon und Kopfhörer) mittels eines Einschaltstöpsels anschließt.

6. Zu jedem Schnurpaar zwei Schlußsignale (Lampen, Schanzeichen), von denen die eine betätigt wird, wenn der anrufende Teilnehmer und die andere, wenn der angerufene Teilnehmer anhängt.

7. Eine Zähltaaste für jedes Schnurpaar, mittels deren die Telephonistin, wenn das Gespräch zustande gekommen ist, den Gesprächszähler des anrufenden Teilnehmers betätigt.

8. Kontrolllampen, und zwar Anrufkontrolllampen, durch welche die Telephonistin und die Aufsichtsbeamtin aufmerksam gemacht werden, daß ein oder

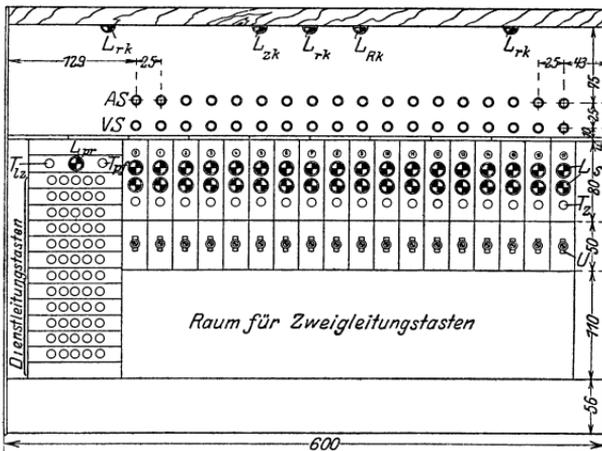


Abb. 1040. Arbeitsplatz des A-Schranks.

mehrere Anrufe an dem betreffenden Arbeitsplatz vorliegen, eine Rufkontrolllampe, welche beim Rufen anzeigt, daß Rufstrom abgeht, und eine Zählkontrolllampe, welche beim Betätigen der Zähltaaste, nachdem der Gesprächszähler ordnungsgemäß gearbeitet hat, aufleuchtet.

(1736) Der Arbeitsplatz der Teilnehmerschränke. Die Schnurpaare nebst den zugehörigen Schlußlampen, Sprech- und Rufumschaltern und Zähltaasten werden in die wagerechte Tischplatte des Umschalteschranks, dem Stöpsel- und Schlüsselbrett, eingebaut. Die Zahl der Schnurpaare ist bedingt durch die Zahl der an einem Arbeitsplatz gleichzeitig zu erwartenden Verbindungen in der Hauptverkehrsstunde, vermehrt für etwa gestörte Schnurpaare. Bei voller Belegung der Anrufzeichen eines Arbeitsplatzes mit Teilnehmern und einer durchschnittlichen Gesprächsdauer von 3 Minuten sind, wie die Erfahrung gezeigt hat, 18 Schnurpaare für den Platz erforderlich. Ihre Anordnung auf der Tischplatte ist in Abb. 1040 dargestellt. Zunächst dem Schrankoberbau (dem Klinkenfelde) im Abstände von 75 mm sind die Abfragestößel angeordnet, davor im Abstände von 25 mm die Verbindungsstößel, davor in der gleichen Reihenfolge die beiden Stöpseln zugeordneten Schlußlampen L_z , dann die Zähltaaste T_z und zunächst zur Telephonistin die Sprech- und Rufumschalter U , da diese am häufigsten betätigt werden und daher möglichst günstig für die Bedienung liegen müssen. Die ein-

zelen Schnurpaare mit den zugeordneten Apparatsätzen werden ebenfalls in Abständen von 25 mm nebeneinander in die Tischplatte eingebaut. Unter dieses Maß herunter zu gehen empfiehlt sich nicht, weil dann die Bedienung erschwert wird, während bei größeren Abständen die Aufnahmefähigkeit des Arbeitsplatzes nicht mehr für 18 Schnurpaare ausreichen würde.

Links neben den Schnurpaaren werden die Dienstleitungstasten für den Dienstleistungsverkehr mit anderen Ämtern eingebaut, im allgemeinen in Streifen zu 5 Tasten. 12 bis 13 Tastenstreifen, und damit die Tasten für 60 bis 65 Dienstleitungen, lassen sich im Arbeitsplatz unterbringen. In Reihe mit den Diensttastenstreifen zunächst dem Stöpselbrett ist noch ein Streifen mit zwei Tasten und einer Lampe vorgesehen, von denen die Lampe L_{pr} und eine Taste T_{pf} zum Anruf und Abragen der Aufsicht und die zweite Taste T_{lz} als Leistungsanzahlta- ste dient. An ihrem Schließkontakt ist ein außerhalb des Arbeitsplatzes (meistens am Aufsichtstisch) untergebrachter Platzzähler angeschlossen. Die Taste wird von der Telephonistin nur zu gewissen Zeiten auf besondere Anordnung betätigt, wenn Betriebszählungen vorgenommen werden sollen.

Die Einschaltklinke für den Abfrageapparat der Telephonistin wird im allgemeinen in die unter der Tischplatte liegende Holzleiste eingebaut und die Kontrolllampen in die senkrecht über dem Stöpselbrett unterhalb des Abfragefeldes angebrachte Lampenleiste. Für jeden Platz sind eine Zähl- (L_{zk}) und eine Ruf- (L_{rk})kontrolllampe und drei Anruflampen L_{rk} (für jedes Paneel- des Abfrageklinkenfeldes eine) vorgesehen.

(1737) Das Klinkenfeld der Teilnehmerschränke. a) das Abfragefeld. Die Anrufzeichen (Klappen, Schanzeichen oder Lampen und Abfrageklinken) werden in den oberhalb der Arbeitsplätze senkrecht angeordneten Aufbau über der Lampenleiste eingebaut (Abb. 1048). Die Anrufzeichen sowie die zugehörigen Abfrageklinken werden im allgemeinen zu zehn, in gleichen Abständen voneinander, in einem Streifen vereinigt und die einzelnen Klinkenstreifen unter den zugehörigen Lampenstreifen angeordnet, so daß beim Aufleuchten der Anruflampe die Telephonistin den Abfragestöpsel nur in die darunter liegende Klinke einzuführen braucht, um sich mit dem anrufenden Teilnehmer zu verbinden und nach Umlegen des Sprechschalters ihn abzufragen.

Solange in einem Amte die Verbindungsarbeit von einer oder zwei Telephonistinnen geleistet werden kann, solange also nicht mehr wie zwei Arbeitsplätze vorhanden sind, wird die Verbindung mit dem verlangten Teilnehmer über die gleiche Klinke, über welche er abgefragt wird, abgeführt. Liegt diese Klinke am Nachbarplatz, so muß die Telephonistin auf diesen Platz übergreifen. Wächst die Zahl der Arbeitsplätze auf drei und mehr, so ist ein Übergreifen nicht mehr möglich und es muß ein Vielfachfeld vorgesehen werden.

(1738) b) das Teilnehmergevielfachfeld. Beim Vielfachsystem werden sämtliche den einzelnen Arbeitsplätzen eines Fernsprechamtes zugewiesenen Abfrageklinken in einem oberhalb liegenden Klinkenfelde, dem Vielfachfelde, so oft wiederholt, daß jede Telephonistin mit dem Verbindungsstöpsel die Klinken sämtlicher an das Amt angeschlossener Teilnehmer erreichen und somit sämtliche ihrem Arbeitsplatz zur Bedienung zugewiesenen Teilnehmer mit sämtlichen Teilnehmern des Amtes unmittelbar verbinden kann.

Das Vielfachfeld an jedem Arbeitsplatz zu wiederholen, würde unwirtschaftlich sein, auch würde es bei Ämtern mit großer Teilnehmerzahl zu hoch werden, so daß die obersten Klinken nicht mehr erreichbar wären. Man sieht daher im allgemeinen bei Ämtern bis zu etwa 3000 Teilnehmer für zwei Arbeitsplätze und bei Ämtern über 3000 Teilnehmer für drei Arbeitsplätze ein gemeinsames Vielfachfeld vor. Im ersteren Falle muß die Telephonistin bei Herstellung einer Verbindung mit den entferntesten liegenden Klinken über einen halben, im letzteren Falle über einen ganzen Nachbarplatz nach rechts und links übergreifen.

Das Vielfachfeld wird in dem senkrechten Aufbau des Klinkenfeldes oberhalb des Abfragefeldes angeordnet. Seine untere Begrenzung ist also durch das

Abfragefeld gegeben, während die obere und seitliche Begrenzung durch die Reichweite einer weiblichen Bedienungsperson von mittlerer Größe und Armlänge bedingt ist. Die Erfahrung hat ergeben, daß die oberste Vielfachklinkenlage nicht über 95 cm vom Arbeitspult und die seitliche Begrenzung nicht über 1 m von der Mitte des Arbeitsplatzes nach jeder Seite entfernt sein darf. In dem so zur Verfügung stehenden Raume lassen sich bei neunteiligem Klinkenfeld und bei Verwendung dreiteiliger Klinken 10 000 Teilnehmervielfachklinken und außerdem noch 900 Klinken für abgehende Leitungen unterbringen, ohne daß dieselben in ihren Abmessungen so klein gehalten werden müssen, daß ihre Betriebssicherheit nicht mehr ausreicht. Bei zweiadrigen Systemen mit zweiteiligen Klinken und zweiteiligen Stöpseln, die unter Voraussetzung gleicher Betriebssicherheit entsprechend kleiner gehalten werden können, ließe sich das Fassungsvermögen des Vielfachfeldes noch wesentlich über 10 000 Klinken erhöhen, jedoch geht man, wenn nicht besondere Verhältnisse es bedingen, auf folgenden Gründen nicht über 10 000 Vielfachklinken hinaus:

1. Die Kosten der Amtseinrichtung werden zu hoch. Ist t die Zahl der Teilnehmerleitungen eines Amtes, a die durchschnittliche Zahl der Teilnehmer, welche eine Telephonistin in der Hauptverkehrsstunde bedienen kann, so ist die Gesamtzahl der für das Amt erforderlichen Vielfachklinken, wenn Ansatzplätze und Fernvermittlungsplätze unberücksichtigt bleiben:

a) bei einem Vielfachfeld für drei Arbeitsplätze = $t^2/3a$,

b) bei einem Vielfachfeld für zwei Arbeitsplätze = $t^2/2a$.

Es wächst also die Zahl der Vielfachklinken eines Fernsprechamtes und damit die Kosten für Vielfachklinkenstreifen und Vielfachkabel einschließlich der anteiligen Form- und Montagekosten quadratisch mit der Zahl der Teilnehmer, für welche das Vielfachfeld vorzusehen ist.

2. Die Verwendung fünfstelliger Anschlußnummern ist unzweckmäßig, da sie leicht Falschverbindungen veranlassen. Die Teilnehmer sind daran gewöhnt, zur klaren Übermittlung ihre Anschlußnummer in Gruppen unterteilt anzusagen. Wird nun beispielsweise die Nummer 10045 in 100—45 unterteilt, so wird die Telephonistin mit 145 verbinden. Ferner prägen sich fünfstellige Zahlen dem Gedächtnis der Telephonistin viel schlechter ein wie vierstellige Zahlen, wodurch die Gefahr der Falschverbindung vermehrt wird.

3. Das Kabelnetz wird zu teuer. Fernsprechnetze für mehr als 10 000 Teilnehmer erstrecken sich im allgemeinen über eine große Fläche. Werden nun die Leitungen alle in einem Amte zusammengeführt, so wird die durchschnittliche Länge einer Teilnehmerleitung sehr groß und damit die Kosten des Kabelnetzes sehr hoch. Da bei großen Netzen meistens mehrere Verkehrszentren vorhanden sind, richtet man im Mittelpunkt eines jeden ein besonderes Fernsprechamt ein. Dadurch wird die durchschnittliche Länge der Teilnehmerleitungen wesentlich verringert. Auch können Sprechleitungen mit geringerem Querschnitt genommen werden, wodurch eine weitere Ersparnis eintritt. Zwischen den einzelnen Ämtern werden hierbei nur soviel Verbindungsleitungen benötigt, wie der Sprechverkehr es erfordert. Da die Kosten des Kabelnetzes in jedem Falle wesentlich höher sind wie die der gesamten übrigen Fernsprecheinrichtungen, wiegt die Ersparnis an Kabeln die Mehrkosten für Grundstücke, Gebäude, Einrichtung und Personal für den Verbindungsverkehr auf.

Ein Vielfachfeld für 10 000 Teilnehmer ist in Abb. 1048 dargestellt. Die einzelnen Vielfachklinken werden zu 20 in einem Streifen vereinigt. Je fünf übereinander liegende Streifen bilden ein Hundertfeld (s. Abb. 1041). Die Zählweise eines Hundertfeldes, z. B. 3700 bis 3799, ist innerhalb der Streifen wagrecht von links nach rechts und zwischen den Streifen von oben nach unten, d. h., der oberste Streifen hat die Teilnehmer 0 bis 19, der nächste 20 bis 39 usw. und der unterste 80 bis 99 eines jeden Hunderts. Zur leichteren Auffindung der einzelnen Klinken wird an den Klinkenstreifen hinter der fünften, zehnten und fünfzehnten Klinken noch eine besondere Punktbezeichnung angebracht. Die Hunderter-

bezeichnung wird links von den Klinkenstreifen in der Mitte von fünf Streifen eines jeden Hunderts auf den Leisten, welche zum Abdecken der Klinkenbefestigungsschrauben dienen, eingraviert. Bei 9teiligem Feld werden die ersten neun Hundertfelder, z. B. 0 bis 899, nebeneinander in die neun Paneele eingelegt, darauf die nächsten neun Hundertfelder 900 bis 1799 usw. Die Zählweise ist also innerhalb eines Hunderts von links nach rechts und von oben nach unten und zwischen den Hunderten von links nach rechts und von unten nach oben, das

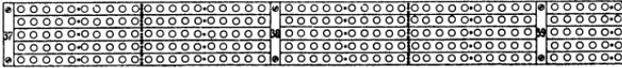


Abb. 1041. Teil eines Klinkenfeldes.

letztere deshalb, weil das Vielfachfeld nur in den seltensten Fällen von Anfang an voll ausgebaut wird und ein Nachlegen von Vielfachklinken- und Kabellagen nur nach oben stattfinden kann.

(1739) c) Das Vielfachfeld für abgehende Leitungen. Dasselbe wird zwischen Abfragefeld und Teilnehmervielfachfeld angeordnet. An die Klinken für abgehende Leitungen werden im allgemeinen die Dienststellen des Amtes: Auskunft, Aufsicht, Störungsmeldestelle usw., ferner die Meldeleitungen nach dem Fernamt sowie die abgehenden Verbindungsleitungen nach anderen Ämtern angeschlossen. Diese Klinken werden meistens, da mit ihnen viel mehr Verbindungen hergestellt werden müssen, als im Durchschnitt mit den einzelnen Teilnehmervielfachklinken, zur Erleichterung der Bedienung über zwei Arbeitsplätze vielfach geschaltet, d. h., ihr Vielfachfeld ist sechsteilig. Auch wird über jeden Klinkenstreifen ein Bezeichnungstreifen eingelegt, auf welchem die Leitungsnummer und das Amt, bzw. die Dienststelle angegeben ist, zu welchen die an den darunter liegenden Klinken angeschlossenen Leitungen führen.

II. Die Verbindungs(B)-Schränke.

(1740) Allgemeines. Wächst die Zahl der Teilnehmer eines Ortsnetzes über 10000 oder sprechen bei weniger wie 10000 Teilnehmern Gründe der Wirtschaftlichkeit für die Einrichtung von zwei oder mehr Ämtern, so wird der Verkehr zwischen den einzelnen Ämtern über Verbindungsleitungen abgewickelt. Hierbei kann die Einrichtung so getroffen werden,

1. daß dieselben Verbindungsleitungen für den Verkehr in beiden Richtungen benutzt werden,
2. daß für jede der beiden Verkehrsrichtungen ein besonderes Leitungsbündel vorgesehen und der Verkehr über jedes der beiden Bündel nur in einer Richtung betrieben wird.

Die Betriebsweise nach 1. kommt nur dann in Anwendung, wenn der Sprechverkehr zwischen den beiden Ämtern ein verhältnismäßig geringer ist und dafür wenig Leitungen zur Verfügung stehen, z. B. zwischen einem Hauptamt und einer Unterzentrale oder zwischen einem Amt und einer Nebenstellenzentrale. Die Verbindungsleitungen endigen hierbei an beiden Enden in Klinken und Anrufzeichen, die auf Teilnehmerschränken liegen. Die Verbindung sowohl des anrufenden Teilnehmers mit der Verbindungsleitung als auch die Weiterverbindung der Verbindungsleitung mit dem verlangten Teilnehmer erfolgt über Schnurpaare. Es besteht hier der Nachteil, daß gleichzeitig in beiden Ämtern mit derselben Leitung Verbindungen in entgegengesetzter Richtung hergestellt und dadurch fremde Teilnehmer miteinander verbunden werden können.

(1741) Beim Richtungsbetrieb sind die Verbindungsleitungen an der abgehenden Seite an Klinken angeschlossen, welche über die Teilnehmerplätze vielfach geschaltet werden, während sie am ankommenden Ende an den Arbeits-

plätzen besonderer Verbindungsschranke (B-Schranke) in Schnur und Stöpsel enden. (In Ausnahmefällen, z. B. bei Leitungen vom Amte nach Nebenstellenzentralen, werden auch beim Richtungsverkehr die Verbindungsleitungen am ankommenden Ende an Klinken angeschlossen und mittels Schnurpaare weiterverbunden, und zwar immer dann, wenn an demselben Arbeitsplatz noch andere Leitungen liegen, welche durch Schnurpaare verbunden werden, oder wenn bei Verkehrsspitzen die Telephonistinnen an den Nachbarplätzen aushelfen sollen.)

Beim Richtungsverkehr kommen folgende zwei Betriebsweisen in Anwendung:

(1742) Anrufbetrieb. Beim Anrufbetrieb tritt sowohl die A-Beamtin wie die B-Beamtin mit dem Teilnehmer in Sprechverbindung. Letzterer gibt, wenn die A-Beamtin sich meldet, ihr nur das gewünschte Amt an, worauf sie ihn mit der Klinke einer nach diesem abgehenden Verbindungsleitung verbindet, nachdem sie sie auf Freisein geprüft hat. Bei Stecken der Klinke am A-Platz leuchtet am B-Platz eine der Verbindungsleitungsschnur zugeordnete Überwachungslampe, die gleichzeitig als Anruf- und als Schlußlampe dient, auf, woraufhin die B-Beamtin sich durch Umlagen eines Abfrageschalters in die Verbindungsleitung einschaltet und vom Teilnehmer die verlangte Teilnehmernummer angesagt erhält. Das Prüfen und Verbinden mit der Vielfachklinke des zweiten Teilnehmers erfolgt in der üblichen Weise. Der Anruf ist im allgemeinen automatisch bei Einführen des Verbindungsleitungsstöpsels. Die Gesprächsüberwachung obliegt der A-Beamtin. Hängen nach Beendigung des Gespräches die beiden Teilnehmer an, so erscheint nur am A-Platz das Schlußzeichen. Erst nachdem hier getrennt ist, leuchtet am B-Platz die Überwachungslampe auf und gibt auch hier das Schlußzeichen.

(1743) Beim Dienstleistungsbetrieb tritt der Teilnehmer nur mit der A-Beamtin in Verbindung und gibt ihr Amt und Nummer des verlangten Teilnehmers an. Die A-Beamtin verbindet sich durch Drücken einer Taste mit einer Dienstleitung, welche fest mit dem Abfrageapparat einer B-Beamtin des verlangten Amtes verbunden ist, und übermittelt dieser die gewünschte Teilnehmernummer, woraufhin diese die Nummer der Verbindungsleitung zurücksagt, über welche die Verbindung ausgeführt werden soll. Die A-Beamtin verbindet ohne zu prüfen mit der Vielfachklinke dieser Leitung, während die B-Beamtin gleichzeitig die Verbindung mit der Vielfachklinke des verlangten Teilnehmers herstellt. Das Rufen, die Überwachung, die Schlußzeichengabe und Trennung erfolgen in der gleichen Weise wie beim Anrufbetrieb.

Die Vorteile des Dienstleistungsbetriebes gegenüber dem Anrufbetrieb sind im wesentlichen folgende:

1. Die A-Beamtin braucht keine freie Leitung auszuprüfen.
2. Doppelverbindungen über dieselbe abgehende Verbindungsleitung kommen bei geordnetem Betrieb nicht vor (bei Anrufbetrieb können zwei A-Beamtinnen gleichzeitig die Verbindung mit derselben beim Prüfen noch freien Verbindungsleitung herstellen).

3. Die Leistung der B-Beamtin ist wesentlich größer, da sie sich nicht in die Verbindungsleitung einzuschalten und den Teilnehmer abzufragen braucht.

Die Nachteile des Dienstleistungs- gegenüber dem Abfragebetrieb sind:

1. Der Mehraufwand besonderer Dienstleitungen.
2. Die Möglichkeit von Falschverbindungen, da die Nummer des gewünschten Teilnehmers von der A-Beamtin der B-Beamtin weitergemeldet werden muß und dabei falsch verstanden werden kann. Diese Gefahr besteht besonders in der Hauptverkehrszeit, wenn in dem Augenblick, wo von einer Beamtin eine Verbindung in der Dienstleitung übermittelt wird, andere Beamtinnen durch Drücken der Dienstleitungstaste sich in dieselbe Dienstleitung einschalten, um der gleichen B-Beamtin den Auftrag zur Herstellung einer Verbindung zu geben, da durch Einschalten mehrerer Abfrageapparate die Verständigung verschlechtert wird. Dies kann durch Relais- oder Wählereinrichtungen (Dienstleistungswähler) verhindert werden, jedoch wächst hierdurch der Mehraufwand.

3. Sinken der Leistung der B-Beamtin, wenn letztere Verbindungsleitungen von mehreren Ämtern zu bedienen hat. In diesem Falle muß die A-Beamtin der B-Beamtin neben der Nummer des verlangten Teilnehmers ihr eigenes Amt ansagen, damit die B-Beamtin die richtige Verbindungsleitung wählen und zurück-melden kann. Man sieht daher fast immer in den Fällen, wo der Verbindungs-leitungsverkehr zwischen zwei Ämtern nicht stark genug ist, um eine B Beamtin voll zu beschäftigen, Anrufbetrieb vor und legt auf denselben B-Platz Verbindungsleitungen von mehreren Ämtern.

(1744) **Verbindungsleitungsverkehr** zwischen Selbstanschluß- und Handämtern. Die Verbindung der Teilnehmer eines Selbstanschlußamtes mit Teilnehmern eines Handamtes erfolgt ebenfalls über B-Plätze mit Anrufbetrieb. An die Stelle der A-Plätze treten hier die Wählereinrichtungen des Selbstanschlußamtes. Bei Betätigen der Nummernscheibe stellen sich die Wähler auf eine freie Verbindungsleitung nach dem betreffenden Amte ein und bringen die

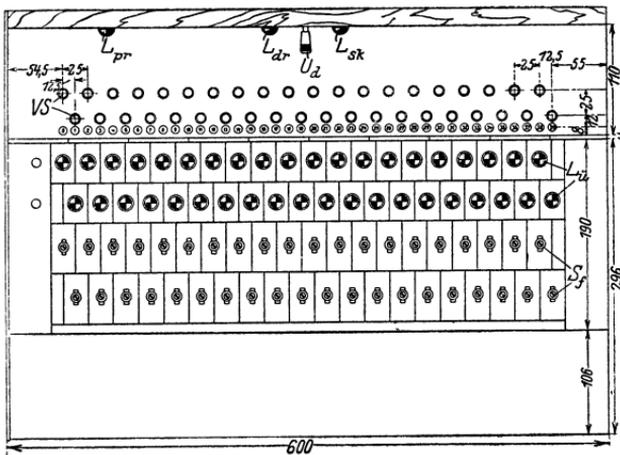


Abb. 1042. Arbeitsplatz eines B-Schranks.

Überwachungslampe am B-Platz zum Aufleuchten. Das Abfragen, Weiterverbinden usw. durch die B-Beamtin geschieht in der gleichen Weise wie beim Anrufbetrieb von Handämtern.

Auch der Verbindungsleitungsverkehr von Schnellverkehrsämtern nach den einzelnen Ortsämtern erfolgt über B-Plätze mit Anrufbetrieb oder Dienstleitungs-betrieb.

(1745) **Der Arbeitsplatz der B-Schränke.** Die Zahl der einem B-Platz zur Bedienung zugewiesenen Verbindungsleitungen ist abhängig von der Leistung der B-Beamtin und der durchschnittlichen Gesprächsdauer. Wie die Erfahrung gezeigt hat, schwankt die Zahl der Verbindungsleitungen, welche eine Telephonistin bedienen kann, zwischen 30 und 40. Man rüstet daher jetzt im allgemeinen die B-Plätze mit 40 Schnüren aus und schließt so viel Verbindungsleitungen an, wie der Betrieb zuläßt. Für jede Verbindungsleitung ist bei Dienstleitungsbetrieb am B-Platz ein Stöpsel mit Schnur sowie eine Überwachungslampe, bei Anrufbetrieb außerdem noch ein Abfrageschalter erforderlich. Abb. 1042 zeigt die Anordnung dieser Apparate auf der Tischplatte eines B-Platzes. Zunächst zum Schrankoberbau und im Abstände von 25 mm voneinander sind in zwei Reihen gegeneinander versetzt die Verbindungsstöpsel VS angeordnet. Sie in einer Reihe einzubauen, empfiehlt sich nicht, da sie dann zu dicht nebeneinander zu liegen kommen würden, wodurch die Bedienung erschwert würde. Vor den Stöpseln

sind Nummernplättchen mit der Bezeichnung der Verbindungsleitungen in die Tischplatte eingelassen. An Stelle dieser Nummernplättchen kommen auch Bezeichnungsrahmen mit auswechselbaren Streifen in Anwendung. Dann folgen ebenfalls gegeneinander versetzt die Überwachungslampen L_u und dann, nur bei Plätzen mit Anrufbetrieb, die Abfrageschalter S_f . Links von den Schlußlampen ist ähnlich wie in den A-Plätzen die Leistungszähltaste und die Platzabfragetaste eingebaut. In der senkrechten, unterhalb des Klinkenfeldes liegenden Lampenleiste wird die Platzanruf Lampe L_{pr} und ferner die Schlußzeichenkontrolllampe L_{sk} , die Dienstanruf Lampe L_{dr} und der Diensthebelumschalter U_d angeordnet. Der letztere dient dazu, in Zeiten schwachen Verkehrs, wenn der Platz nicht besetzt wird, die Dienstleitung auf den Nachbarplatz oder auf Anrufzeichen zu schalten.

9600	9700	9800	9900		
9000	9100	9200	9300	9400	9500
8400	8500	8600	8700	8800	8900
7800	7900	8000	8100	8200	8300
7200	7300	7400	7500	7600	7700
6600	6700	6800	6900	7000	7100
6000	6100	6200	6300	6400	6500
5400	5500	5600	5700	5800	5900
4800	4900	5000	5100	5200	5300
4200	4300	4400	4500	4600	4700
3600	3700	3800	3900	4000	4100
3000	3100	3200	3300	3400	3500
2400	2500	2600	2700	2800	2900
1800	1900	2000	2100	2200	2300
1200	1300	1400	1500	1600	1700
600	700	800	900	1000	1100
	100	200	300	400	500

↘ Lage Klinkenstreifen f. bes. Zwecke ↙

Abb. 1043. Klinkenfeld der B-Schränke.

(1746) Das Klinkenfeld der B-Schränke. Da bei den B-Schränken der Raum, den bei den A-Schränken das Abfragefeld und das abgehende Verbindungsleitungs-feld einnimmt, für das Teilnehmer-Vielfachfeld zur Verfügung steht, ist es möglich, bei gleicher Höhe das Klinkenfeld über zwei Arbeitsplätze, d. h. über sechs Paneele vielfach zu schalten. Hierdurch wird der B-Beamten, deren Haupt-tätigkeit in Herstellung und Trennung der Verbindung besteht, die Arbeit er-leichtert und damit ihre Leistung erhöht. Infolge dieser Mehrleistung werden weniger B-Plätze und weniger Beamten erforderlich und durch diese Ersparnis das Mehr an Vielfachkabeln und Klinkenstreifen, welches durch das sechstellige Feld bedingt ist, ausgeglichen. Abb. 1043 zeigt das B-Vielfachfeld. Die Zählweise innerhalb eines Hunderts sowie der einzelnen Hunderterlagen ist hier im Prinzip die gleiche wie beim Vielfachfeld der Teilnehmerschränke.

Unterhalb des Teilnehmer-Vielfachfeldes ist noch Raum für eine Klinken-lage vorgesehen. Hier werden die Signalklinken, die Klinken zur B-Auskunft sowie zu den Dienststellen des Amtes eingebaut.

III. Die Fernvermittlungsschränke.

(1747) Der **Verbindungsverkehr** zwischen Fernamt und Ortsteilnehmer erfolgt im Verbindungsleitungsverkehr über Fernvermittlungsschränke genau in derselben Weise wie beim Ortsverkehr über B-Schränke. Demzufolge sind der Aufbau der Fernvermittlungsschränke, die Anordnung der Apparate am Arbeitsplatz und die Belegung des Klinkenfeldes die gleichen wie bei den B-Schränken.

IV. Die Schnellverkehrsschränke.

(1748) **Allgemeines.** An den Arbeitsplätzen eines Schnellverkehrsamtes [(1902) bis (1921)] werden die aus den einzelnen Ortsämtern des Schnellverkehrsbezirkes ankommenden Anrufleitungen mittels Schnurpaare mit abgehenden Verbindungsleitungen verbunden. Diese abgehenden Verbindungsleitungen führen entweder direkt oder über Zahlengeberplätze zu B-Plätzen von Handämtern oder zu den Gruppenwählern der Selbstanschlußämter des eigenen Knotenamtsbezirkes oder zu den Zahlengeberplätzen eines zweiten Schnellverkehrsamtes, von wo die Weiterverbindung über B-Plätze der Handämter oder über Selbstanschlußämter mit dem verlangten Teilnehmer erfolgt.

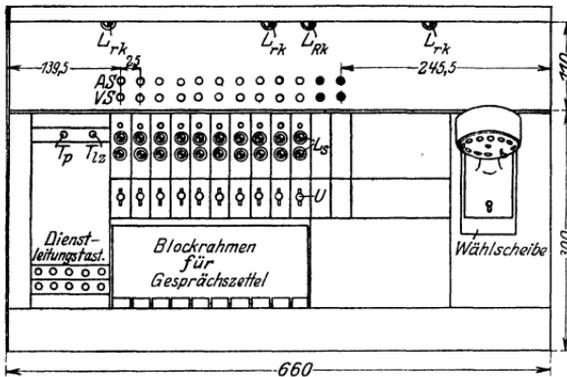


Abb. 1044. Arbeitsplatz der Schnellverkehrsschränke.

(1749) **Der Arbeitsplatz der Schnellverkehrsschränke.** Die Anordnung der Apparate ist die gleiche wie in Abb. 1040, da die Schnurpaare gleichfalls einen Abfrage- und einen Verbindungsstöpsel, zwei Schlußlampen sowie einen Sprech- und Rufumschalter besitzen. Jedoch rüstet man den Arbeitsplatz nur mit 10 bis 12 Schnurpaaren aus, da durchschnittlich eine Beamtin höchstens 10 Anrufleitungen bedienen kann. Dienstastestreifen werden im allgemeinen nur dann eingebaut, wenn in abgehender Richtung im Dienstleitungsbetrieb gearbeitet wird, oder für den Verkehr mit den Kontrollplätzen der Seitenämter. Die Zähltafeln kommen in Fortfall, da die Gesprächsgebühr nach Zeit und Entfernung berechnet wird. Zur Feststellung der Gesprächsdauer wird jedem Schnurpaar ein Zeitmesser zugeordnet. Dieselben werden entweder in dem Arbeitsplatz vor den Umschaltern oder im Klinkenfeld über den Anrufzeichen eingebaut (Abb. 1045).

(1750) **Das Klinkenfeld der Schnellverkehrsschränke.** Die Schnellverkehrsbeamtin hat dieselbe Verbindungsarbeit zu leisten wie eine Teilnehmerbeamtin. Hinzu kommt noch eine viel intensivere Gesprächsüberwachung zur genauen Festlegung der Gesprächszeiten und die Ausfertigung der Gesprächszettel. Bei dieser Inanspruchnahme kann eine Beamtin fünf bis zehn Anrufleitungen bedienen. Man sieht daher zehn Anrufzeichen je Arbeitsplatz vor und belegt sie mit soviel Leitungen, wie der Betrieb es erfordert. Die Anrufzeichen (Anrufampen

und Abfrageklinken) werden jeweils am dritt- und am siebentnächsten Arbeitsplatz nach links oder rechts wiederholt, so daß jeder Anruf in einer Gruppe von neun Arbeitsplätzen an drei Plätzen erscheint. Da auch die Nachbarbeamtinnen die betreffenden Klinken erreichen können, kann somit jeder Anruf von neun Beamtinnen beantwortet werden. Die Anordnung wird dabei so getroffen, daß die zehn Hauptanrufzeichen weiße Blenden erhalten und in das Mittelpaneel, die ersten Wiederholungsanrufzeichen mit roten Lampenblenden in das linke und die zweiten Wiederholungsanrufzeichen mit grünen Lampenblenden in das rechte Paneel eines jeden Arbeitsplatzes eingelegt werden. Die Beamtinnen haben die Anweisung, in erster Linie Anrufe mit weißer Blende zu bedienen und nur, wenn keine solchen vorliegen, die roten und zuletzt erst die grünen Anrufe zu beant-

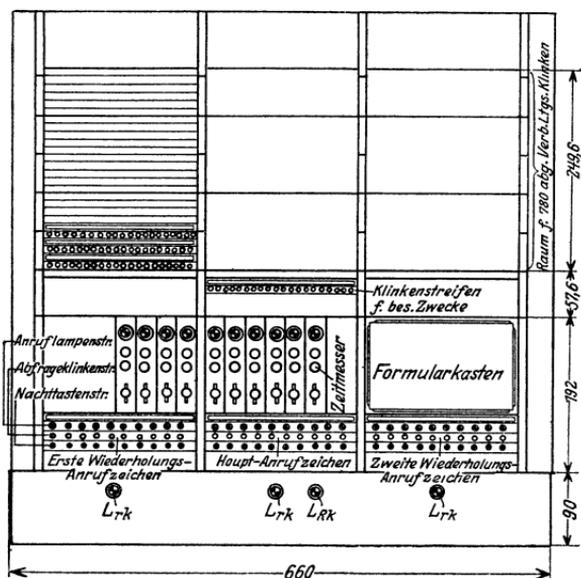


Abb. 1045. Klinkenfeld der Schnellverkehrsschranke.

worten. Hierdurch soll möglichst vermieden werden, daß zwei oder mehrere Beamtinnen gleichzeitig denselben Anruf beantworten. Da immer auf drei benachbarten Arbeitsplätzen $3 \times 10 = 30$ Hauptanrufzeichen, ferner $6 \times 10 = 60$ Wiederholungsanrufzeichen der übrigen sechs Plätze einer Gruppe von neun Arbeitsplätzen liegen, kann in Stunden schwachen Verkehrs eine Beamtin von ihrem Arbeitsplatz aus sämtliche an einer Gruppe von neun Plätzen ankommende Anrufe bedienen. Die Anrufzeichen und Wiederholungsanrufzeichen werden in einer Reihe in den unteren Teil des Klinkenfeldes eingelegt (Abb. 1045), und zwar unten die Abfrageklinkenstreifen, darüber die Anruflampenstreifen und über diesen die Bezeichnungstreifen. Bei großen Schnellverkehrsämtern werden an den ersten drei Arbeitsplätzen jeder Neunergruppe unterhalb der Klinkenstreifen noch 10teilige Tastenstreifen eingebaut, durch welche die Anrufzeichen auf Nachtplätze umgeschaltet werden können. Über den Anrufzeichen sind die zu den einzelnen Schnurpaaren gehörigen Zeitmesser eingebaut, außerdem im rechten Paneel ein Formularkasten zur Aufnahme der Gesprächszettel.

Die abgehenden Verbindungen werden in Vielschaltung, und zwar über je zwei Arbeitsplätze geführt. Hierbei kommen 20teilige Klinken-

streifen in Anwendung, so daß jede Klinkenlage 120 Leitungen umfaßt. Jedem Klinkenstreifen ist ein Bezeichnungstreifen zugeordnet, auf welchem Amt und Leitungsnummer der an der darunterliegenden Klinke angeschlossenen Verbindungsleitung angegeben wird.

V. Die Fernschränke.

(1751) Meldeverfahren. Im Fernverkehr werden die Teilnehmer nicht, wie beim Schnellverkehr, beim Anruf von der Beamtin sofort über die Fernleitung mit dem verlangten Teilnehmer verbunden. Die Teilnehmer werden vielmehr, wenn sie ein Ferngespräch führen wollen, auf besondere Meldeplätze geschaltet, an denen ihre Anmeldung entgegengenommen und auf einem Gesprächszettel vermerkt wird. Während der Teilnehmer wieder anhängt, wird der Gesprächszettel demjenigen Fernplatze (durch Rohrpost oder von Hand) zugeführt, an welchen die Fernleitung des betreffenden Fernortes zur Bedienung angeschlossen ist.

(1752) Herstellung der Fernverbindung. Die Fernbeamtin stellt die Verbindung zwischen Fernleitung und Teilnehmern in Reihenfolge der Anmeldung und unter Berücksichtigung der Dringlichkeit rückwärts her. Demzufolge erhalten die Fernschränke nur Anrufzeichen der Fernleitungen. Mit den Ortsteilnehmern werden sie mittels Schnurpaare über Fernvermittlungsleitungen verbunden, das sind Verbindungsleitungen nach den Ortsämtern, welche in Vielfachschaltung auf sämtlichen Arbeitsplätzen des Fernamtes liegen. Diese Fernvermittlungsleitungen endigen in den Ortsämtern an Fernvermittlungsplätzen (s. unter III) in Schnur und Stöpsel und werden im Dienstleitungsverkehr betrieben oder sie werden über Zahlengeberplätze geführt, von denen aus die Verbindung mit dem Teilnehmer über Wähler hergestellt wird, oder die Fernbeamtin wählt über die Fernvermittlungsleitung mittels einer Nummernscheibe den gewünschten SA-Teilnehmer. Bei kleineren Fernämtern, die in demselben Gebäude mit dem Ortsamte liegen, werden, wenn die Zahl der Ortsteilnehmer keine zu große ist, die Ortsteilnehmerleitungen auch in Vielfachschaltung über die Fernplätze geführt und die Fernleitungen mittels Schnurpaare direkt mit den Teilnehmerleitungen verbunden.

(1753) Durchgangsverkehr. Neben der Verbindung mit den Ortsteilnehmern müssen an den Fernplätzen die ankommenden Fernleitungen mit allen anderen Fernleitungen verbunden werden. Zu dem Zwecke werden sie in Vielfachklinken über sämtliche Fernplätze geführt. Die Verbindung mit der zweiten Fernleitung erfolgt mit den gleichen Schnurpaaren wie die Teilnehmerverbindungen. Bevor die Fernbeamtin eine Durchgangsverbindung mit einer zweiten Fernleitung ausführt, muß sie sich mit derjenigen Fernbeamtin, welche diese Leitung im Endverkehr bedient, in Verbindung setzen, um sich mit ihr zu verständigen, wann die Leitung für den Durchgangsverkehr abgegeben werden kann. Dieses geschieht über Ferndienstleitungen; sie (für jeden Arbeitsplatz eine) werden durch sämtliche Arbeitsplätze in Vielfachklinken geführt und endigen an den einzelnen Arbeitsplätzen in Abfrageklinke und Anruflampe. Bei großen Fernämtern erfolgt der Verkehr zwischen den Fernplätzen neuerdings auch über Wähler. Hierbei kommen die Dienstleitungsvielfachklinken in Fortfall und es bleibt nur die Dienstabfrageklinke nebst Anruflampe in Anwendung. Wenn die Fernbeamtin mit einem zweiten Fernplatz in Verbindung treten will, führt sie den Verbindungsstöpsel eines freien Schnurpaares in ihre eigene Dienstabfrageklinke ein und wählt mittels Nummernscheibe den Fernplatz.

Neuerdings wird bei größeren Fernämtern der Durchgangsverkehr mit gutem Erfolg über besondere Durchgangsschränke, und zwar unverstärkt im Einschnurbetrieb und verstärkt mit Schnurpaaren abgewickelt, wobei das Fernklinken-Vielfachfeld in den übrigen Fernschränken entfällt.

Literatur: Kruckow, A.: Neue Wege beim Bau großer Fernämter. TFT 1926, S. 301.

Jeder Fernplatz wird im allgemeinen mit fünf Fernanrufzeichen ausgerüstet, doch werden meistens weniger Fernleitungen angeschlossen. Lange Fernleitungen

mit starkem Verkehr werden zur besseren Ausnutzung häufig nur einzeln oder zu zweit auf einen Arbeitsplatz gelegt, wobei die höheren Bedienungskosten durch die Ersparnis an Fernleitungen wieder ausgeglichen werden. Die Arbeitsplätze werden auch nur mit 4 bis 5 Schnurpaaren ausgerüstet, mit Ausnahme der Sammel- und Nachtplätze, die 9 bis 10 Schnurpaare und bis 30 Anrufzeichen erhalten.

(1754) Arbeitsplatz des Fernschrankes 25 der Reichstelegraphenverwaltung (Abb. 1046). Die fünf Schnurpaare mit je zwei Schlußlampen und einem Abfrage- und Mithörschalter U sind in derselben Weise angeordnet wie beim A-Schrank. Links davon in Reihe mit den Schlußlampen ist der den Schnurpaaren gemeinsame Rufumschalter U_r mit zwei Stellungen zum Rufen über beide Stöpsel und davor ebenfalls sämtlichen Stöpseln gemeinsam der Trennschalter U_t mit zwei Arbeitsstellungen zum Abtrennen der einen oder anderen Leitungsseite eingebaut. Davor liegt noch die Hilfslampe L_n , welche als Schlußlampe dient, wenn der Trennschalter umgelegt ist, ferner die Prüftaste T_p und die Auftrenntaste T_t , durch deren Betätigung eine etwa bestehende Verbindung im Ortsverkehr aufgetrennt wird. Links

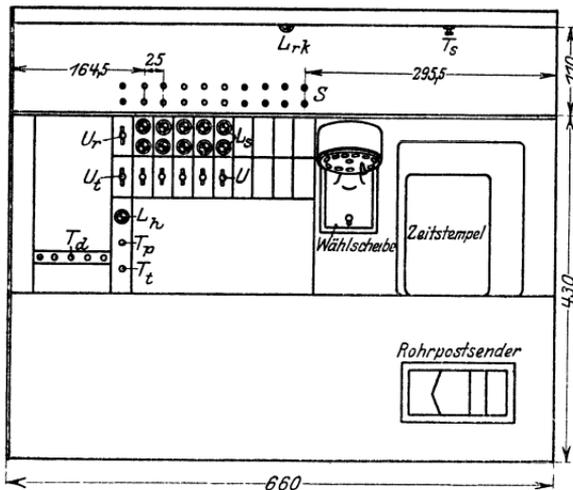


Abb. 1046. Arbeitsplatz des Fernschrankes.

von den Schnurpaaren werden die Dienstleitungstasten für den Verkehr mit den Fernvermittlungsplätzen oder Zahlengeberplätzen der Ortsämter und rechts die Nummernscheibe und daneben der Zeitstempel eingebaut.

An jedem zweiten Arbeitsplatz ist ferner ein Rohrpostsender rechts in die vordere Leiste der Tischplatte eingelassen, während der Rohrpostempfänger ebenfalls an jedem zweiten oder dritten Platze links in der Lampenleiste mündet.

(1755) Klinkenfeld des Fernschrankes (Abb. 1047). Im mittleren Panel sind unten die Dienstklinke K_d nebst Dienstanruf Lampe L_{dr} eingebaut, darüber die fünf Fernanrufzeichen, jedes bestehend aus Abfrageklinke und Mithörklinke, darüber die Fernanruf Lampe und die Fernklinkenlampe und darüber die Nachtaste und Fernklinkentaste. Im rechten Panel ist der Formularekasten für Gesprächszettel angebracht. Das linke untere Panel bleibt bei den gewöhnlichen Fernschranken unbelegt. In dasselbe werden an den Sammel- und Nachtplätzen weitere Anrufzeichen eingelegt. Das 6teilige Vielfachfeld besitzt eine Aufnahme-fähigkeit für 360 Ferndienstleitungen nebst Bezeichnungstreifen, darüber für 1800 Fernvermittlungsleitungen und im obersten Teil für 1200 Fernklinkenleitungen.

Die Abb. 1049 und 1050 veranschaulichen den einplätzigern Fernschrank ZB 24 in Vorder- und Rückansicht. Er weicht von dem oben beschriebenen Fernschrank ZB 25 nur in der Schnurschaltung ab, und zwar ist hier jedes Schnurpaar neben dem Abfrage- und Mithörschalter mit einem Rufumschalter und einem Trennschalter ausgerüstet, während bei dem Fernschranke 25 (Abb. 1046) nur ein Abfrage- und Mithörschalter je Schnurpaar und für sämtliche Schnurpaare gemeinsam ein Rufumschalter und ein Trennschalter vorgesehen sind.

VI. Die Bauart der Vielfachumschalter.

(1756) **Zahl der Arbeitsplätze.** Die Vielfachumschalter werden im allgemeinen entweder mit einem oder mit drei Arbeitsplätzen ausgeführt. Die ersteren haben ungefähr ein Drittel der Breite der Schränke mit drei Arbeitsplätzen.

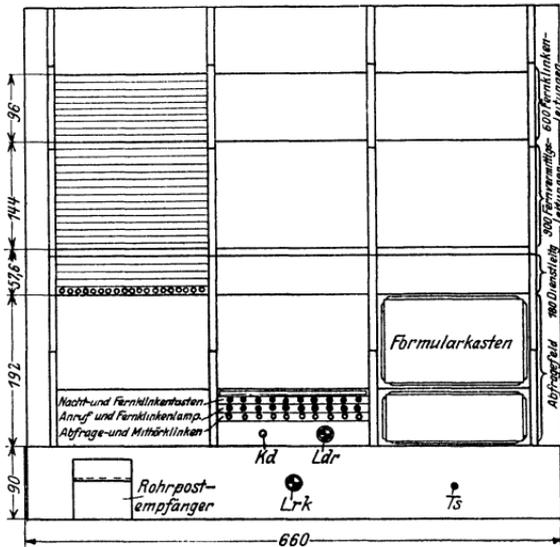


Abb. 1047. Klinkenfeld des Fernschrankes.

Einplätzigere Vielfachumschalter kommen bei kleineren Fernsprechämtern mit einer Endkapazität von 3000 Teilnehmerleitungen in Anwendung, bei denen infolge des geringeren Zuwachses häufig nur eine Erweiterung von ein bis zwei Arbeitsplätzen in Frage kommt, ferner bei Schnellverkehrsämtern und Fernämtern. Sie bieten den Vorteil, daß die Schrankreihe beim Übergang aus einer Richtung in die dazu senkrechte in einem kleineren Bogen aufgestellt werden kann, wie bei dreiplätzigern Schränken, was bei kleineren Betriebsräumen von Bedeutung ist. Die einplätzigern Schränke erhalten fast immer ein Vielfachfeld über zwei Arbeitsplätze. Der Mehrbedarf an Klinkenstreifen gegenüber Verwendung eines Vielfachfeldes über drei Arbeitsplätze wird hier durch Kostenersparnis infolge Fortfall von Ansatzplätzen und durch die Erleichterung der Bedienung aufgewogen.

Schränke mit drei Arbeitsplätzen werden bei Ämtern für mehr wie 3000 bis 10000 Teilnehmerleitungen als A-, B- und V-Plätze verwendet. Entsprechend dem größeren Klinkenfeld ist ihr Oberbau größer gehalten. Auch muß infolge der größeren Schnurlänge, welche zur Bedienung eines Vielfachfeldes mit 10000 Klinken erforderlich ist, der Abstand der Tischplatte vom Fußboden größer

gehalten werden wie bei einplätzi gen Schränken. Sonst stimmen die einplätzi gen Vielfachumschalter in ihrer Bauart mit den dreiplätzi gen überein. Abb. 1048 stellt einen dreiplätzi gen Vielfachumschalter als Teilnehmerschrank dar, während in Abb. 1049 die Vorderansicht und in Abb. 1050 die Rückansicht eines als Fernschrank ausgebildeten einplätzi gen Vielfachumschalters veranschaulicht ist.

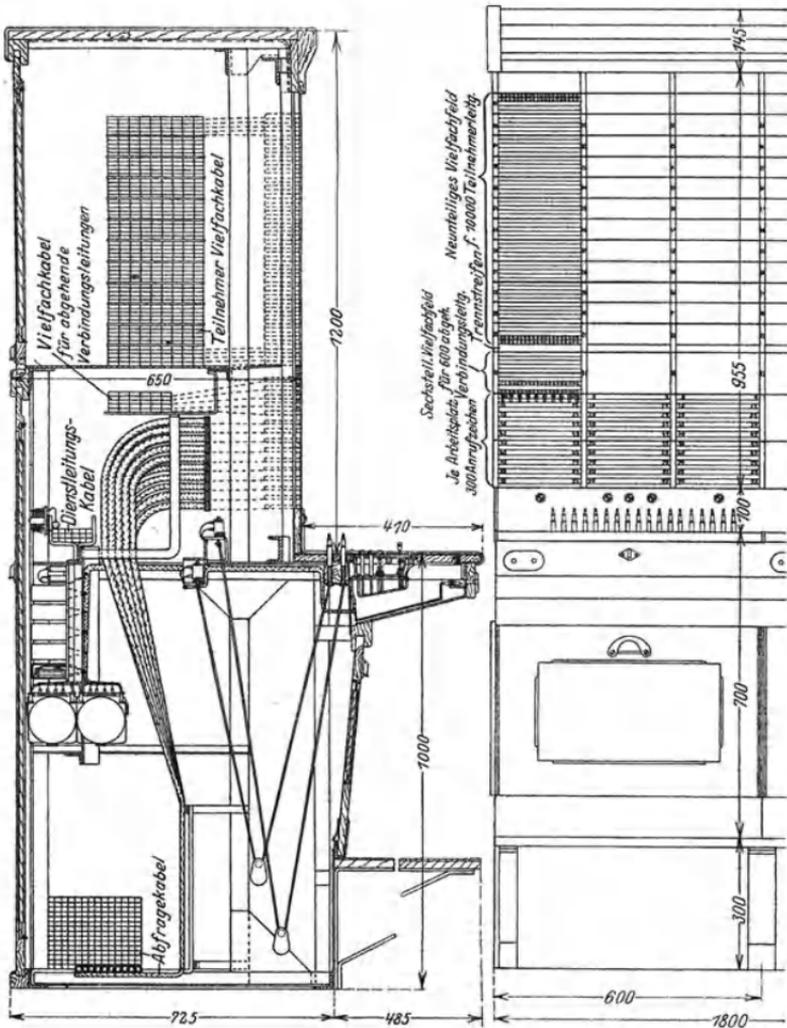


Abb. 1048. Vielfachumschalter großer Form.

(1757) Aufbau des Schrankes. Bei beiden besteht das Schrankgestell aus einem Eisengerüst mit Holzverkleidung. Das Eisengerüst, das aus Winkel-, U- und Flacheisen zusammengesetzt ist, wird in seinem Unterteil bis zur Tischplattenhöhe kräftig gehalten, da dieser Teil die Last der Vielfachklinkenstreifen, der Vielfachkabel und im rückwärtigen Teile das Gewicht der in der Schnur-

schaltung und Platzschaltung liegenden Relais, Induktionsspulen, Kondensatoren oder Ringübertrager aufnehmen muß. Der Oberbau hingegen wird möglichst leicht gehalten, damit sein Eigengewicht nicht zu groß wird. Oberhalb des Kabel-

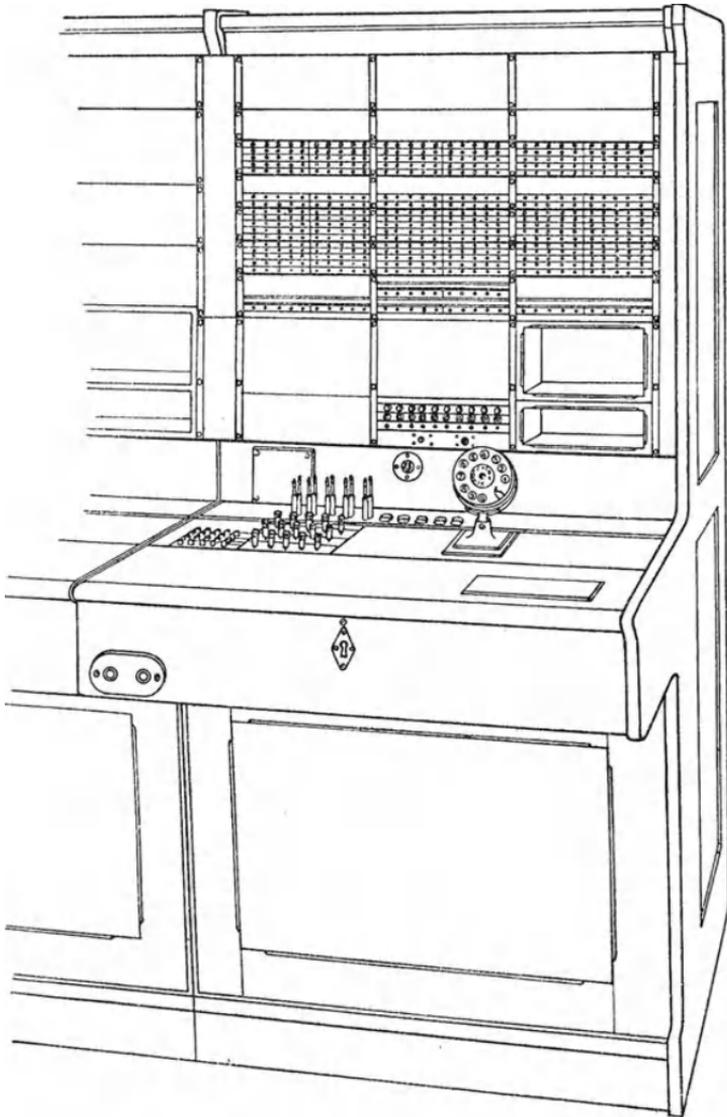


Abb. 1049. Fernschrank (Vorderansicht).

bodens, auf dem die Vielfachkabel lagern, sind nach rückwärts alle senkrechten Stützen zur Schrankdecke vermieden, damit die in einem Strang verlöteten Teilnehmervielfachkabel, die durch sämtliche Schränke laufen, bei Neubau oder

Erweiterung des Amtes ohne Behinderung eingelegt werden können und damit auch die Vielfachkabel für die Störungsbeseitigung an jeder Stelle zugänglich sind.

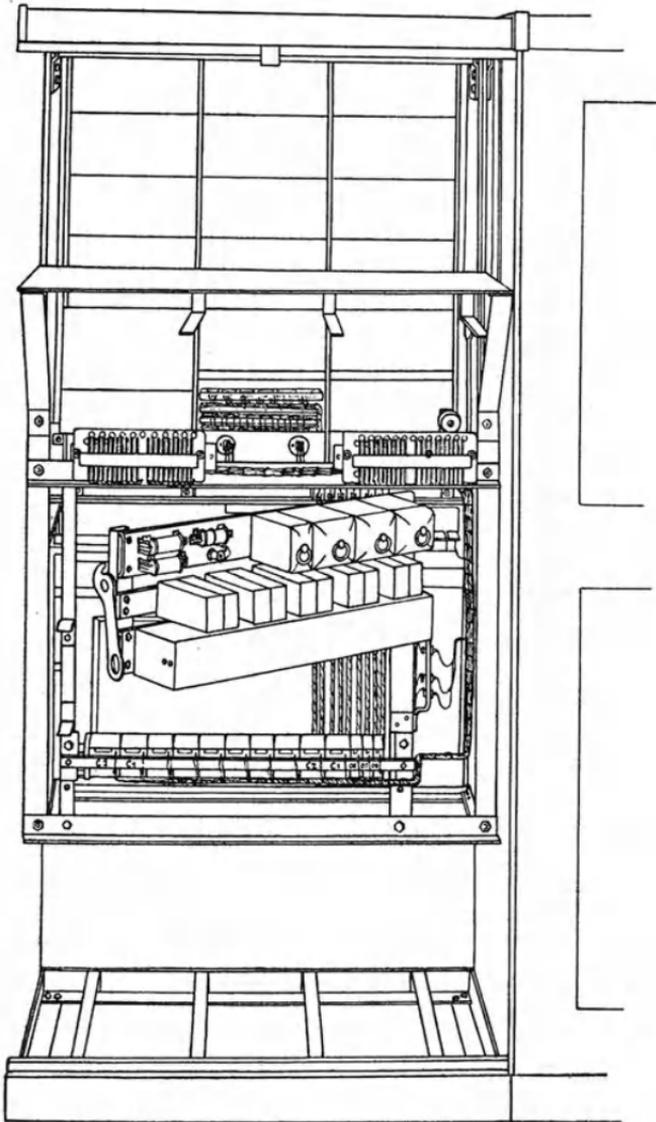


Abb. 1050. Fernschrank (Rückansicht).

Diejenigen Teile des Schrankgestelles, in welche nach außen keine für die Bedienung erforderlichen Apparateile eingebaut werden, sind mit Holz verkleidet. Die Holzverkleidung ist, soweit sie nicht Teile im Innern, welche zu-

gänglich sein müssen, abdeckt, mit dem Eisengestell fest verschraubt, während Stellen, die zugänglich sein müssen, durch herausnehmbare Türen abgeschlossen werden. Fest mit dem Eisengestell verbunden sind: das Schrankdach, das Gesims, die zwischen Abfragefeld und dem Stöpselbrett senkrecht stehende Lampenleiste, das Stöpselbrett und die an der Vorderseite der Arbeitsplätze dicht unterhalb der Tischplatte verlaufende Einschaltklinkenleiste, während die Vorderseite unterhalb des Arbeitsplatzes sowie die Rückseite durch Einsatztüren abgeschlossen sind. Bei kleineren Umschalteschränken reichen die rückwärtigen Türen vom Fußboden bis zur Schrankdecke, bei großen Vielfachumschaltern sind sie in Höhe des Kabelbodens für die Vielfachkabel unterteilt. Die Türen haben im allgemeinen die Breite eines Arbeitsplatzes. Die Holzteile an der Vorderseite werden aus edelem Holz: Nußbaum, Mahagoni oder Eiche hergestellt mit Ausnahme der Lampenleiste, des Stöpselbrettes und des nicht mit Apparaten ausgerüsteten Teiles der Tischplatte. Bei diesen kommt mit Fiber bezogenes Elsenholz in Anwendung, da Fiber durch den Aufschlag der Stöpsel nicht angegriffen und in seinem Aussehen beeinträchtigt wird. Für die Schrankdecke und die Einsatztüren der Rückseite wird ein billigeres Holz, beispielsweise Elsenholz, verwendet.

Die Schrankhöhe ist von der Aufnahmefähigkeit des Klinkenfeldes sowie von dem Abstände der Tischplatte vom Fußboden abhängig, und zwar bedingt von einer bestimmten Größe an ein höheres Klinkenfeld auch eine höhere Anordnung der Tischplatte. Am zweckmäßigsten ist es, die Tischplatte in Schreibtischhöhe, also etwa 700 bis 800 mm vom Fußboden anzuordnen. Bei den einplätzig Schränken der Reichstelegraphenverwaltung mit einem Vielfachfeld über zwei Arbeitsplätze bis zu 3000 Klinken bei Fernschränken und Schnellverkehrsschränken beträgt der Abstand der Tischplatte vom Fußboden allgemein 760 mm. Hierbei ist die Höhe des Schrankoberbaues 720 mm und damit die gesamte Schrankhöhe 1480 mm. Bei größerem Vielfachfeld, insbesondere wenn es über drei Arbeitsplätze verläuft, muß die Tischplatte in größerem Abstände vom Fußboden angeordnet werden, damit die entsprechend längeren Schnüre frei hängen. Bei den dreiplätzig Vielfachschränken der Reichstelegraphenverwaltung für 10000 Teilnehmer beträgt der Abstand der Tischplatte vom Fußboden 1 m. Hierbei müssen entsprechend der höher angeordneten Tischplatte die Telephonistinnen auf einstellbaren Drehstühlen erhöht sitzen. Als Rast für die Füße ist am unteren Teile des Schrankes ein mit Linoleum belegtes Trittbrett angebracht, auf welches sich die Telephonistin auch stellen kann, wenn sie im Stehen Verbindungen herstellt. Der Abstand des Trittbrettes vom Fußboden beträgt bei den dreiplätzig Schränken der Reichstelegraphenverwaltung 300 mm und sein Abstand von der Tischplatte 700 mm, die Höhe des Schrankoberbaues 1200 mm und damit die gesamte Schrankhöhe 2200 mm. — Die Breite des Arbeitsplatzes muß im Interesse der Raumausnutzung des Betriebsssaales möglichst gering bemessen sein. Unter 600 mm herunter zu gehen, ist jedoch nicht zweckmäßig, weil sonst die Telephonistin in ihrer Tätigkeit durch die Nachbarbeamtinnen gehemmt wird. Bei großen dreiplätzig Vielfachumschaltern der Reichstelegraphenverwaltung kommt allgemein eine Arbeitsplatzbreite von 600 mm in Anwendung. Da die 20teiligen Vielfachklinkenstreifen 200 mm breit sind, lassen sich an jedem Arbeitsplatz drei Klinkenstreifen nebeneinander anordnen, so daß das Vielfachfeld, wenn es über zwei Plätze verläuft, 6 teilig, und wenn es über drei Plätze verläuft, 9 teilig wird. Bei einplätzig Schränken ist die Arbeitsplatzbreite 660 mm. Die größere Breite ist durch den für jeden Arbeitsplatz erforderlichen Seitenrahmen des Schrankgestelles bedingt. — Die Schranktiefe ist abhängig von der Tiefe der Tischplatte und dem Raumbedarf der im Oberbau des Schrankes verlaufenden Vielfachkabel und Vielfachklinkenstreifen, bzw. von dem Raum, welchen die im rückwärtigen Unterteil eingebauten Apparateile wie Relais, Übertrager, Kondensatoren, Drosselspuln sowie Schnüre und Zuführungskabel in Anspruch nehmen. Die Tiefe der Tischplatte wird bei Schränken für den Orts-

verkehr möglichst gering gehalten, damit die Telephonistin dem Klinkenfelde möglichst nahe sitzt. Sie beträgt bei den Ortsvielfachumschaltern der Reichstelegraphenverwaltung 410 mm, während die gesamte Schranktiefe bei dreiplätzi-

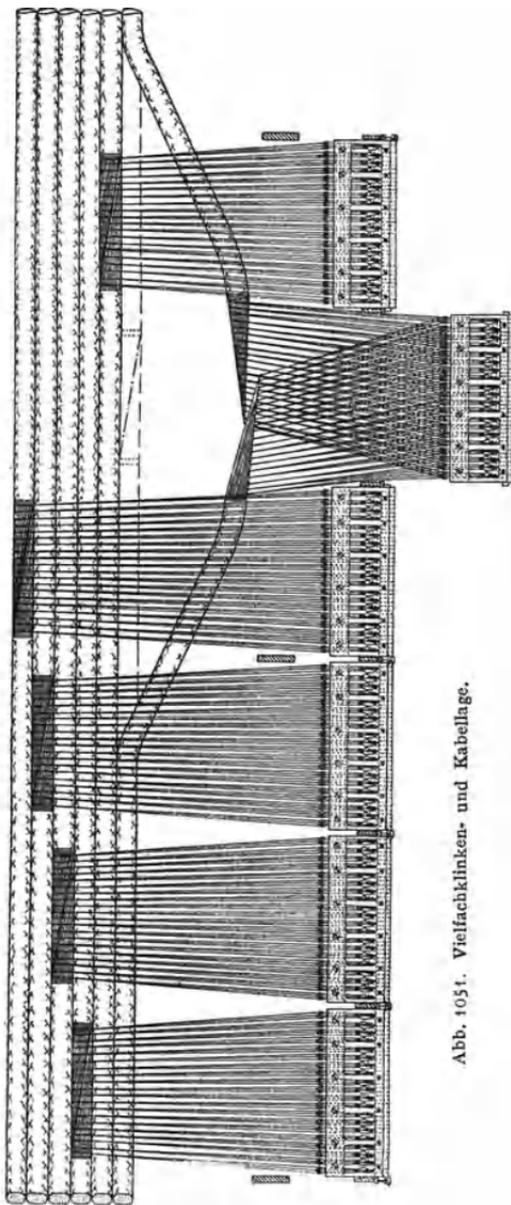


Abb. 1051. Vielfachklinken- und Kabellage.

gen Schranktiefe bei dreiplätzi- gen Schränken 1060 mm und bei einplätzi- gen Schränken 930 mm beträgt. Bei Fernschränken macht man die Tischplatte zur Erzielung einer größeren Schreibfläche und gleichzeitig wegen des Raumbedarfes des unterhalb der Tischplatte verlaufenden Rücksenderohres der Zettelrohrpost tiefer. Die Tiefe der Arbeitsplätze beträgt hier 540 mm und demzufolge die Schranktiefe 1060 mm.

(1758) Unterbringung der Apparate und Kabel. Die den einzelnen Schnüren zugeordneten Relais, Übertrager und Kondensatoren, sowie die Platzrelais, die Spulen und Kondensatoren der Platzschaltung, ferner die Lötösenstreifen zum Anschluß der zu den Schnüren und Diensttastenstreifen führenden Leitungen werden an einem im rückwärtigen Schrankunterteil eingebauten Eisengestell, dem Einbau, untergebracht. Nach Entfernung der unteren Schranktüre sind sie der Wartung leicht zugänglich. Hierbei sind die Relais und sonstigen Apparatteile, deren Lötstifte nach der Innenseite des Schrankes zu liegen, seitlich an Scharnieren aufgehängt, so daß sie nach rückwärts aufgeklappt werden können (Abb. 1050), wenn an den Lötstellen Arbeiten vorzunehmen sind, oder wenn Schnüre ausgewechselt werden müssen.

In einem unterhalb des Relaiseinbaues angeordneten Roste verlaufen die Abfragekabel oder Zuführungskabel zu den Schnüren und werden von hier an den einzelnen Arbeitsplätzen zwischen Relaiseinbau

und Schnüren zu den Abfrageklinken- und Anruflampenstreifen bzw. zu den im Einbau oben untergebrachten Lötösenstreifen emporgeführt. In einem kleinen Rost dicht hinter diesen Lötösenstreifen verlaufen die Dienstleitungsvielfachkabel sowie die Batterieleitungen.

Die Teilnehmervielfachkabel werden auf einem in Höhe der Unterkante des Teilnehmer-Vielfachfeldes angeordneten Eisenblech, dem Kabelboden, gelagert. Je nachdem 6teiliges oder 9teiliges Klinkenfeld vorgesehen ist, kommen hierbei sechs oder neun Kabel hintereinander zu liegen. Auf unterhalb des Kabelbodens angebrachten Eisenbügeln werden die Vielfachkabel für abgehende Verbindungsleitungen geführt. Bei Fernschranken werden hier die Vielfachkabel der Ferndienstleitungen, auf dem Kabelboden die Vielfachkabel der Fernvermittlungsleitungen und auf einem zweiten, weiter oben angebrachten beweglichen Kabelblech die Vielfachkabel der Fernklinkenleitungen geführt.

Die Vielfachkabel nebst den zwischen den einzelnen Kabellagen durchgeführten Vielfachformen müssen dieselbe Höhe wie die Vielfachklinkenstreifen besitzen und fest aufeinander gelagert werden, damit die Formen zwischen den einzelnen Lagen wagerecht zu den zugehörigen Klinkenstreifen geführt werden können. Liegt eine Störung an einer Vielfachklinke vor, so wird die ganze Kabelpackung über der betreffenden Vielfachklinkenlage bei Schränken mit kleinem Vielfachfeld (bis 3000 Teilnehmer, bei Schnellverkehrs- und Fernämtern) mittels Holzkeile und bei großen Vielfachschränken mittels besonders konstruierter Kabelwinden emporgehoben. Der dadurch gewonnene Raum ermöglicht es, nach Lösung der Klinkenabdeckschiene und der beiden Befestigungsschrauben den Vielfachklinkenstreifen mit der Form nach vorne herauszuziehen (Abb. 1051).

Die Schaltungen der Handvermittlungsämter.

Die Anrufschaltungen.

Der Anruf des Amtes erfolgt entweder mittels Gleich- oder mittels Wechselstroms.

(1759) Anruf durch Gleichstrom. Die anrufende Stelle legt eine Gleichstrombrücke zwischen die beiden Leitungszweige der Sprechleitung. Kommt der Anruf von einem Teilnehmerapparat, so erfolgt er selbsttätig durch Abnehmen des Hörers, wobei das Mikrophon in Brücke mit der Leitung gelegt wird. Im Amte sind die beiden Leitungszweige über ein Relais mit den beiden Polen der Amtsbatterie verbunden. Das Relais spricht an und bringt die Anruflampe zum Aufleuchten.

Es besteht nun die Bedingung, daß beim Einsetzen des Abfragestöpsels die Anruflampe zum Erlöschen gebracht wird. Auch darf die Anruflampe eines angerufenen Teilnehmers (über dessen Vielfachklinke die Verbindung hergestellt ist) nicht aufleuchten, wenn er sich meldet. Zur Erfüllung dieser Bedingung gibt es folgende Wege:

1. Das Anrufrelais wird durch Einsetzen des Stöpsels in die Abfrage- oder Vielfachklinke abgeschaltet, so daß seine Wicklung stromlos wird und sein Anker abfällt (Western-Schaltung).

Das Anrufrelais *A* (Abb. 1052) wird durch ein Trennrelais *T* abgeschaltet, das mit dem einen Wicklungsende an Erde liegt, während das andere Ende mit den Klinkenbuchsen verbunden ist. Beim Stöpseln einer Abfrageklinke *A K* oder einer Vielfachklinke *K v* wird über die Klinkenbuchse der Minuspol der Batterie an das *T*-Relais gelegt. *T* spricht an und schaltet das Anrufrelais ab. Über einen zweiten Kontakt von *T* wird aus Gründen der Symmetrie die Erde vom *a*-Zweig der Leitung abgeschaltet.

Abb. 1053 gibt dieselbe Anordnung für Systeme mit zweidrätiger Klinken- und Stöpselleitung. Hier ist in der Ruhelage die Außenleitung von der Innenleitung vollkommen abgetrennt; sie werden erst beim Stöpseln durch das *T*-Relais zusammengeschaltet. Dies ist notwendig, weil sonst das *T*-Relais durch die Erde

an seinem Ruhekontakt kurzgeschlossen würde und beim Stöpseln nicht ansprechen könnte. Auch ergibt sich durch Abtrennung der Außenleitung in der Ruhelage eine einwandfreie Besetztprüfung, da etwaige Fremdspannungen in der Außenleitung keine Besetztkontrolle hervorrufen können.

Bei kleinen Fernsprechanlagen mit wenigen oder keinen Vielfachklinken wird zur Kostenersparnis die Abschaltung des Anrufrelais und der Erdverbindung statt durch ein Relais *T* durch Unterbrechungskontakte an den *a*- und *b*-Federn der Klinken vorgenommen.

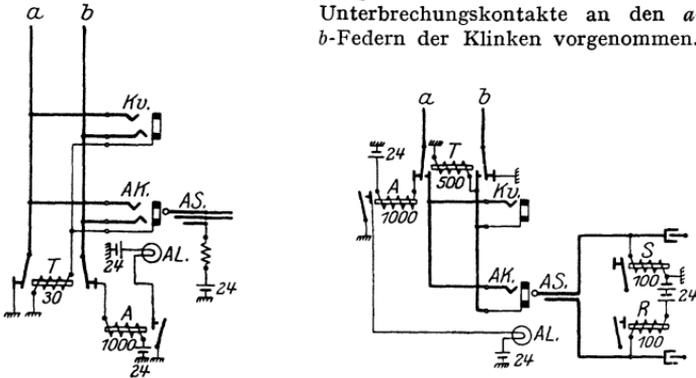


Abb. 1052 u. 1053. Anruf durch Gleichstrom; Anrufrelais *A* wird abgeschaltet, Anruflampe *AL* wird stromlos. Abb. 1052 dreidrähtige, Abb. 1053 zweidrähtige Schaltung.

2. Das Anrufrelais bleibt unter Strom und der Stromkreis der Anruflampe wird unterbrochen (Ericsson-Schaltung).

Hier wird wie unter 1. das Trennrelais *T* beim Stöpseln betätigt. Es unterbricht (Abb. 1054) den Stromkreis der Anruflampe, während das Anrufrelais auch

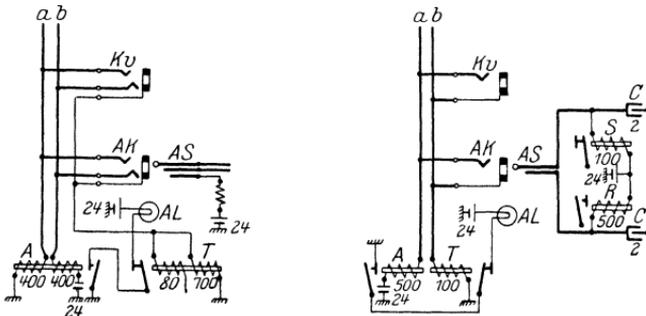


Abb. 1054 u. 1055. Anruf durch Gleichstrom; *A* bleibt unter Strom. *AL* wird unterbrochen. Abb. 1054 dreidrähtig, Abb. 1055 zweidrähtig.

während der Verbindung mit der Leitung fest verbunden bleibt. Hierbei ist aus Gründen der Symmetrie seine Wicklung in zwei Hälften mit gleicher Windungszahl unterteilt, von denen jede an einen Leitungszweig und einen Pol der Batterie angeschlossen ist. Über die beiden Wicklungen erfolgt die Speisung des Teilnehmermikrophons.

Statt durch ein Trennrelais kann auch hier, wenn nur wenige Klinken vielfachgeschaltet sind, die Lampe durch einen Klinkenkontakt abgetrennt werden.

Abb. 1055 zeigt ein Beispiel derselben Anordnung für zweidrähtige Klinkenleitungen. Wenn der Anruf erfolgt, so spricht hier nur das *A*-Relais an und bringt

die Anruflampe AL zum Aufleuchten, während das T -Relais so unempfindlich ist, daß es über den Widerstand der Teilnehmerleitung, des Teilnehmerapparates und des A -Relais nicht anspricht. Wenn Stöpsel AS gesteckt wird, fließt Strom vom Minuspol der 24-V-Batterie über R nach T und parallel dazu vom Minuspol über A bzw. S , a -Leitung, Teilnehmerapparat und b -Leitung nach T und über Erde zurück zur Batterie. Unter dem verstärkten Strom spricht das T -Relais an und schaltet die Anruflampe ab. Über die Funktion des S - und R -Relais s. (1767).

3. Die Anruflampe wird durch Stromverminderung (z. B. durch einen Nebenschluß oder Vorschalten eines Widerstandes usw.) zum Erlöschen gebracht, ohne daß ihr Stromkreis unterbrochen wird.

Ein Beispiel dieser Anordnung zeigt Abb. 1056. Der Anruf erfolgt durch ein mit den beiden Leitungszweigen fest verbundenen Relais A , genau wie bei 2. Beim Stöpseln der Abfrageklinke wird die Anruflampe AL durch den Widerstand w , der auch als Relais oder Schlußlampe ausgebildet sein kann, nebengeschlossen, so daß der durch AL dann noch fließende Strom nicht mehr ausreicht, sie zum Leuchten zu bringen.

(1760) Der Wechselstromanruf findet Anwendung bei Anruf von OB-Apparaten mit Induktor, bei Anruf über Verbindungsleitungen oder nach besonderen Stellen des Amtes, welche von der Beamtin in der gleichen Weise angerufen werden wie Teilnehmer, ferner beim Anruf über Fernleitungen.

Als Anruforgane für Wechselstromanruf dienen entweder Fallklappen (Abb. 1057 u. 1077), die von Hand oder beim Einführen des Stöpsels automatisch (Abb. 1078) aufgerichtet oder Anruflampen (Abb. 1058 u. 1082), welche durch Anrufrelais mit Haltewicklung betätigt werden:

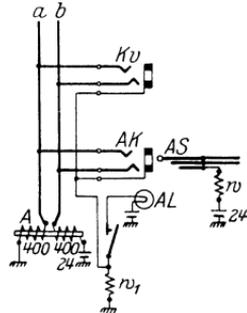


Abb. 1056. Anruf durch Gleichstrom. AL durch Stromverminderung gelöscht.

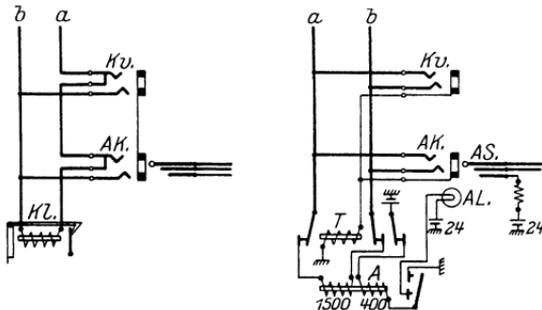


Abb. 1057 u. 1058. Anruf durch Wechselstrom.
Abb. 1057 mit Fallklappe, Abb. 1058 mit Lampe.

Der über die Leitung gesandte Wechselstrom bringt das Relais A über seine in Brücke mit der Leitung liegende 1500- Ω -Wicklung zum Ansprechen. Sein Arbeitskontakt legt die über Ruhekontakt von T mit dem Minuspol der Batterie verbundene 400- Ω -Haltewicklung an Erde. Das Relais A hält sich über die 400- Ω -Wicklung, auch nach Abschaltung des Rufstromes.

Die Haltewicklung muß so bemessen sein, daß auch dann, wenn der Wechselstrom in der Anzugwicklung dem Gleichstrom in der Haltewicklung magnetisch entgegenwirkt, das Übergewicht der letzteren so groß ist, daß der Anker nicht wieder abfällt. Durch einen weiteren Kontakt von A wird der Stromkreis von

AL geschlossen. Dieser besondere Kontakt ist deshalb erforderlich, d. h. AL darf deshalb nicht dauernd parallel zur 400- Ω -Wicklung von A geschaltet sein, weil sonst die 400- Ω -Wicklung in Reihe mit AL wie eine Kurzschlußwicklung dampfend wirken und die Empfindlichkeit des A -Relais auf Anzug wesentlich vermindern würde. AL leuchtet solange, bis beim Stecken des Stöpsels durch Relais T die Haltewicklung unterbrochen und dadurch A zum Abfallen gebracht wird. Durch zwei weitere Öffnungskontakte des T -Relais wird die 1500- Ω -Wicklung während der Verbindung in allen den Fällen abgeschaltet, wo besondere Schlußrelais vorgesehen sind, d. h. das Anrufrelais nicht gleichzeitig als Schlußrelais dient.

Die Herstellung der Verbindung.

(1761) Abfragen des Teilnehmers. Hat die Telephonistin den Teilnehmer abzufragen, so schaltet sie ihre Abfrageeinrichtung durch Umlegen eines Umschalters H (Abb. 1059 u. 1091) in das betreffende Schnurpaar ein. Abweichend von der Schaltung der Teilnehmerapparate liegt bei der Abfrageeinrichtung der Telephonistin der Hörer H hintereinander mit der Sekundärwicklung der Induktionsspule in Brücke zu der Leitung und ist durch den Kondensator C_2 gegen Gleichstrom gesperrt, während das Mikrophon M im lokalen Stromkreis über die Drosselspule D gespeist wird. Die durch das Mikrophon M erzeugten Sprechströme verlaufen über Kondensator C und 3- Ω -Wicklung der Induktionsspule und werden von dieser auf die 50- Ω -Wicklung übertragen, von wo sie ihren Weg in die Leitung und zum Teilnehmer über den Kopfhörer H der Beamtin nehmen. Dies hat den Nachteil, daß auch das Sprechen der Nachbarbeamtinnen und sonstige Saalgeräusche, die von dem Mikrophon der Telephonistin aufgenommen werden, sich auf ihren Hörer übertragen und die Verständigung beeinträchtigen.

Dieser Übelstand ist bei der in Abb. 1060 dargestellten Abfrageschaltung vermieden. Hier kommt eine Brückenschaltung in Anwendung. Abb. 1061 zeigt eine schematische Darstellung der Wirkungsweise. Die Induktionsspule J besitzt zwei Sekundärwicklungen mit gleichem Widerstand und gleicher Windungszahl. Ist $w = l_a + T + l_b$, wobei l_a und l_b der Widerstand der beiden Leitungszweige und T der Widerstand des Teilnehmerapparates ist, so fließt der vom Mikrophon der Beamtin ausgehende und durch die Induktionsspule J übertragene Sprechstrom zum Teilnehmer T , jedoch nicht durch den Hörer der Telephonistin H , dagegen nehmen die vom Teilnehmer T ausgehenden Sprechströme (gestrichelter Pfeil) ihren Weg über eine Hälfte der Induktionsspule und Hörer H sowie in Abzweigung dazu über die zweite Hälfte der Induktionsspule und Widerstand w . Da die Leitungen und Sprechstellen in ihrem Widerstand schwanken, gibt man w einen mittleren Widerstand, und zwar in Ortsämtern 1000 Ω und in Fernämtern 750 Ω .

(1762) Die Besetzprüfung. Die Feststellung, ob eine Leitung, welche auf mehreren Plätzen in Vielfachschaltung liegt, nicht bereits an einem anderen Platze besetzt ist, geschieht durch Knackkontrolle, indem die Telephonistin mit der Stöpselspitze die Klinkenbuchse der betreffenden Leitung kurz berührt. Ist die Leitung besetzt, so ertönt ein Knacken im Hörer.

A. An Abfrageplätzen erfolgt die Prüfung, wie in Abb. 1059 und Abb. 1060 dargestellt ist, über den Schalter H , der in Abfragestellung umgelegt ist. Der Kopfhörer der Beamtin ist bei Schaltung 1059 über die Prüfdrosselspule P mit dem geerdeten Pol der Batterie verbunden, während an die Klinkenbuchsen einer besetzten Leitung durch den Stöpsel Minuspotential gelegt ist. Beim Berühren der Klinkenhülse mit der Spitze des Verbindungsstöpsels fließt Strom über die Stöpselspitze, a -Ader der Schnur, Schließkontakt von H , Kopfhörer und P nach Erde und verursacht Knacken.

Bei Schnurschaltungen mit Teilnehmerspeisung über die Schnur (Abb. 1060) kommt die Drosselspule P und ihre Verbindung nach Erde in Fortfall. Bei kur-

zum Anlegen und Entfernen der Stöpselspitze von der Klinkenhülse einer besetzten Leitung wird hier der Kondensator C_2 über den Kopfhörer der Telephonistin entladen bzw. geladen und dadurch ein Knacken im Hörer hervorgerufen.

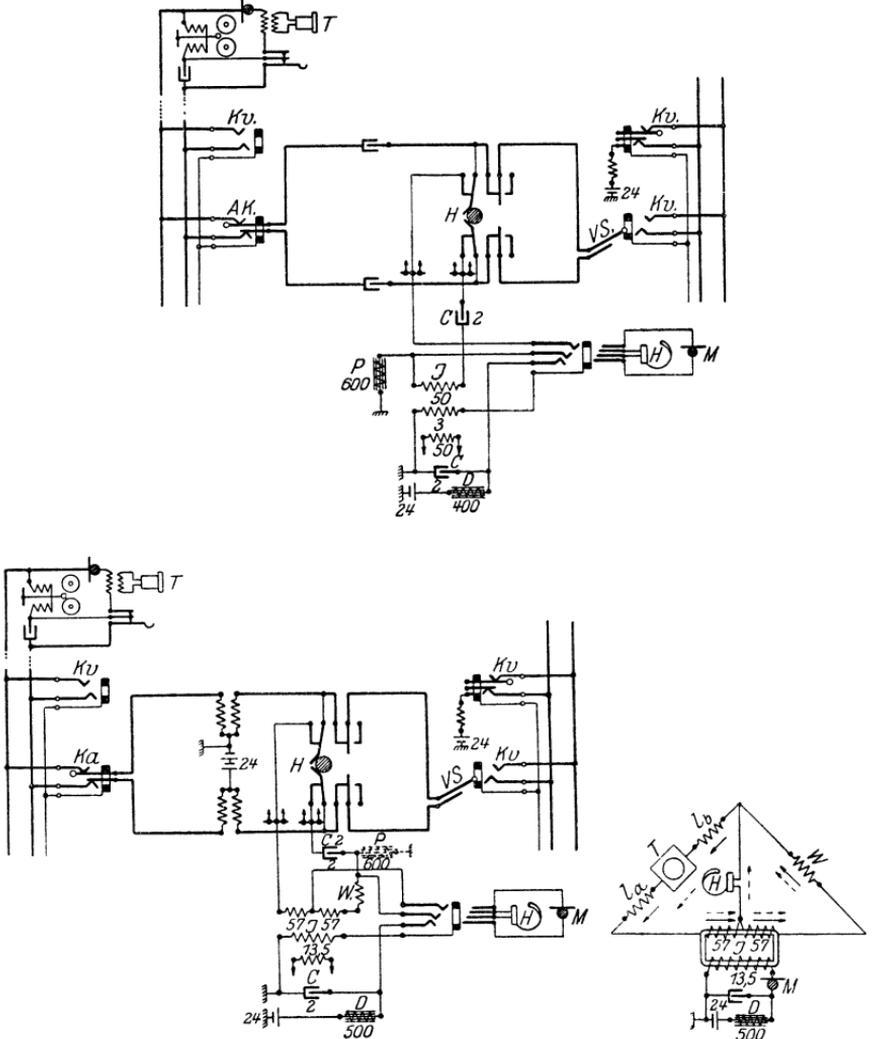


Abb. 1059, 1060 u. 1061. Abfragen des Teilnehmers. Abb. 1059 einfache Schaltung. Abb. 1060 Brückenschaltung, Abb. 1061 schematische Darstellung zu 1060.

B. An B-Plätzen mit Dienstleitungsbetrieb liegt der Abfrageapparat der Telephonistin dauernd an der Dienstleitung und es ist keine Einrichtung vorgesehen, durch welche sie sich in die Verbindungsleitung einschalten kann. Die Besetzprüfung erfolgt, s. Abb. 1062, in folgender Weise: Die Stöpselspitze ist, solange der Stöpsel nicht gesteckt ist, über den Ruhekontakt des Relais H

und über eine dritte Wicklung der Induktionsspule J mit Erde verbunden. Beim Prüfen der Klinke einer besetzten Leitung geht ein Stromimpuls über Stöpselspitze, Ruhekontakt von H und 600- Ω -Prüfwicklung der Induktionsspule nach Erde. Der Stromimpuls wird auf die im Hörerstromkreis liegende Wicklung der Induktionsspule und damit auf den Hörer übertragen.

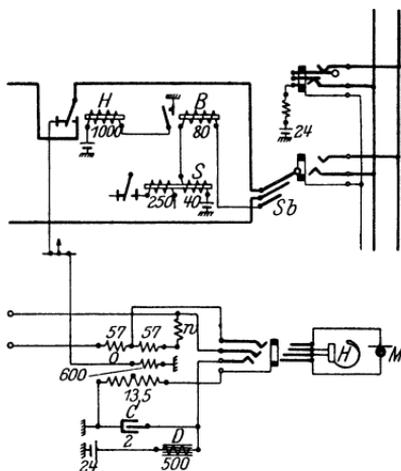


Abb. 1062. Besetztprüfung bei Dienstleitungsbetrieb.

apparat und zurück über den anderen Leitungszweig, Stöpselspitze, Schließkontakt von U , Erde, Rufmaschine. Der Teilnehmerwecker wird betätigt, während gleichzeitig das Relais RK im Amte anspricht und die Rufkontrolllampe RL

Findet die B-Beamtin die Leitung beim Prüfen frei, so steckt sie Sb . Hierbei sprechen die Relais B und H an. H trennt die Stöpselspitze von der Prüfwicklung ab und schaltet den a -Zweig der Verbindungsleitung durch.

(1763) Die Rufschaltungen. Soll ein Teilnehmer gerufen werden, so legt die Telephonistin den jedem Schnurpaar zugeordneten Umschalter U in Rufstellung, s. Abb. 1063. Hierdurch wird die mit dem einen Pol an Erde liegende Rufmaschine über eine Widerstandslampe WL und ein Rufkontrollrelais RK , die für jeden Arbeitsplatz nur einmal erforderlich sind, an die b -Ader der Stöpselschnur angeschaltet. Der Rufstrom fließt über den einen Zweig der Teilnehmerleitung, Teilnehmer-

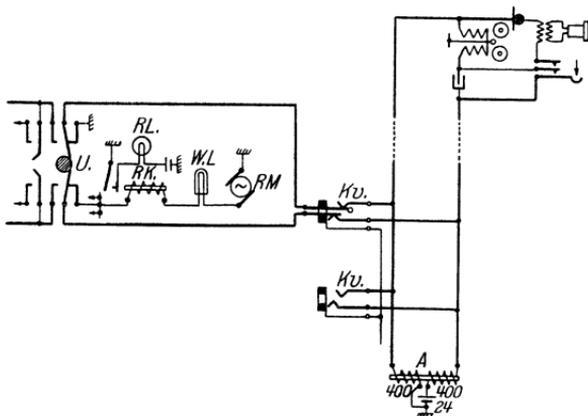


Abb. 1063. Rufschaltungen.

zum Leuchten bringt. Bei Teilnehmerleitungen, bei denen das Anrufrelais während der Verbindung in Brücke mit der Leitung liegen bleibt, verzweigt sich der Rufstrom parallel zur Teilnehmerleitung über die a -Ader, 400- Ω -Wicklung des A -Relais, Batterie, Erde. Das Leuchten der Rufkontrolllampe ist in diesem Fall für die Telephonistin nur ein Zeichen, daß Rufstrom in, nicht aber auch daß er über die Teilnehmerleitung geht, während bei Teilnehmerschaltungen

mit abgetrenntem Anrufrelais das Leuchten der RL anzeigt, daß Rufstrom über die Teilnehmerleitung fließt. Die Rufmaschine wird deshalb mit dem einen Pol an Erde gelegt, weil in vielen Fällen nur über einen Leitungsweig mit Erde als Rückleitung gerufen wird. Dieses kommt in erster Linie in Anwendung bei Teilnehmerleitungen mit Speisung der Nebenstellen vom Amte aus. Wenn sonstige Schaltungen der Amtseinrichtung es erfordern, beispielsweise, wenn die Rufmaschine gleichzeitig für automatischen Ruf nach Abb. 1065 verwendet wird, kann die Rufmaschine mit dem einen Pol an den Minuspol der Batterie statt an Erde gelegt werden.

Die zwischen Rufstrommaschine RM und RK eingeschaltete Widerstandslampe WL verhindert, daß die Klemmspannung der Rufstromquelle, wenn in eine Außenleitung mit Nebenschluß, Erdschluß oder Kurzschluß gerufen wird, soweit herabsinkt, daß nicht mehr genügend Rufstrom in andere Leitungen, in welche gleichzeitig gerufen wird, abgeht. Durch das Aufleuchten der Lampe WL wird gleichzeitig die Störung angezeigt.

Bei Fernämtern, wo über lange oberirdisch geführte Leitungen gerufen wird, bei denen des öfteren Erdschlüsse und Nebenschlüsse auftreten, wird zur Verhinderung einer Überlastung der Rufstromquelle zwischen der für mehrere Plätze gemeinsamen Widerstandslampe und den Rufumschaltern noch ein Übertrager $RÜ$ je Platz eingeschaltet. S. Abb. 1064. Zur Stromersparnis wird die Primärwicklung des Übertragers durch einen besonderen Arbeitskontakt des Rufumschalters erst geschlossen, wenn dieser in Rufstellung gedrückt wird.

(1764) Der automatische Ruf kommt in allen den Fällen in Anwendung, wo die Telephonistin durch ihre Verbindungsarbeit so in Anspruch genommen ist, daß sie in ihrer Arbeitsleistung beeinträchtigt würde, wenn sie den Teilnehmer von Hand anzurufen hätte. Dieses ist vor allem an den B-Plätzen im Verbindungsleitungsverkehr der Fall. Da ferner beim Verbindungsleitungsbetrieb die Überwachung der Verbindung in Händen der A-Beamtin liegt und am Arbeitsplatz der B-Beamtin kein Signal vorgesehen ist, aus der sie ersehen kann, ob der Teilnehmer seinen Hörer angehängt hat, also gerufen werden muß, oder nicht, kann die An- und Abschaltung des Rufstromes nicht von Hand der B-Beamtin, sondern nur automatisch erfolgen. Hierbei sind folgende Bedingungen zu erfüllen:

1. Der Rufstrom darf erst dann an die Schnuradern angeschaltet werden, wenn sowohl am A-Platz der Stöpsel in die Klinke der Verbindungsleitung als auch am B-Platz der Stöpsel dieser Verbindungsleitung in eine Vielfachklinke des gewünschten Teilnehmers eingeführt ist.

2. Der Rufstrom darf nicht angeschaltet werden oder muß beim Stöpseln sofort selbsttätig abgeschaltet werden, wenn mit einem Teilnehmer verbunden wird, der bereits seinen Hörer abgenommen hat.

3. Der Rufstrom muß solange abgehen, bis der Teilnehmer seinen Hörer abnimmt.

4. Sobald der Teilnehmer seinen Hörer abnimmt, muß der Rufstrom selbsttätig abgeschaltet und darf nicht von neuem angeschaltet werden, wenn der Teilnehmer seinen Hörer wieder anhängt.

5. Der Rufstrom muß abgeschaltet werden, sobald die A-Beamtin die Verbindung mit einem Teilnehmer, der nicht antwortet, durch Stöpselziehen trennt.

6. Die A-Beamtin muß imstande sein, durch kurzes Ziehen des Verbindungsstöpsels aus der Verbindungsleitungsklinke und Wiedereinführen desselben den Ruf von neuem einzuleiten.

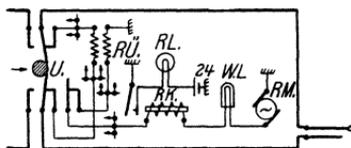


Abb. 1064. Rufschaltungen.

Abb. 1065 zeigt die selbsttätige Rufschaltung einer am B-Platz ankommenden Verbindungsleitung für Teilnehmerleitungen mit dem während der Verbindung abgetrenntem Anrufrelais. Die zugehörige Schaltung des A-Platzes ist die gleiche, wie in Abb. 1073 dargestellt ist. Wenn am A-Platz die Klinke *Ka* gestöpselt wird, spricht das Relais *E* an, desgleichen das Relais *B* beim Einführen des Stöpsels *Sb* in die Vielfachklinke *Kv* des gewünschten Teilnehmers. Es fließt dann Rufstrom von der mit dem Minuspol der Batterie verbundenen Rufmaschine über Arbeitskontakt von *E*, Arbeitskontakt von *B*, Wicklung von *R*, Ruhekontakt von *U*, *b*-Draht der Schnur, *b*-Zweig der Teilnehmerleitung, Teilnehmerwecker, *a*-Zweig, Stöpselspitze, Ruhekontakt von *U*, Erde und über Batterie zurück zur Rufmaschine. Das Relais *R* hat zwischen Kern und Wicklung einen Kupfermantel, der bewirkt, daß es vom Rufwechselstrom, der durch seine Wicklung fließt, nicht betätigt wird, wohl aber vom Gleichstrom. Die im Rufstromkreis liegende Unterbrechungseinrichtung *K* verbindet in Intervallen von 6 Sekunden die nach dem Arbeitskontakt von *E* führende Leitung jeweils eine Sekunde mit der Rufmaschine und 5 Sekunden mit der 24-V-Batterie. Es wird also der Teilnehmerwecker alle 6 Sekunden nur eine Sekunde lang betätigt. Hängt der Teilnehmer seinen Hörer

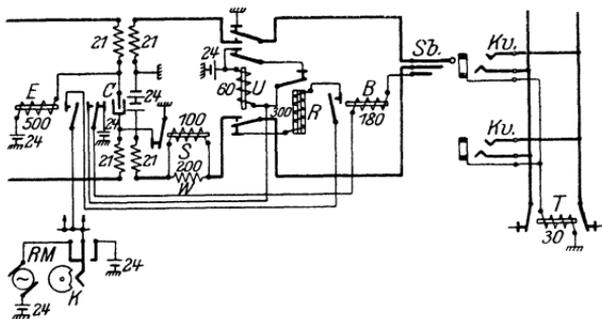


Abb. 1065. Selbsttätige Rufschaltung: Anrufrelais des Teilnehmers abgetrennt.

ab und legt er sein Mikrophon in Brücke mit der Leitung, so bringt der Gleichstrom der 24-V-Batterie, der während der Rufperiode über die Rufmaschine und Ruhekontakt von *K* oder in der Rufpause direkt über Arbeitskontakt von *K* in die Teilnehmerleitung fließt, das Relais *R* zum Ansprechen. *R* hebt durch Öffnen seines Ruhekontaktes den Kurzschluß des Relais *U* auf. Dieses spricht an und schaltet durch seine beiden Umschaltekontakte die beiden Leitungsarme von der Rufmaschine ab und nach der Verbindungsleitung durch. Infolge Unterbrechung des Rufstromkreises fällt *R* ab, doch kann *U* durch den Ruhekontakt von *R* nicht mehr kurzgeschlossen und zum Abfallen gebracht werden, da es bereits durch einen eigenen Unterbrechungskontakt die kurzschließende Leitung unterbrochen hat. *U* hält während der ganzen Verbindung seinen Anker angezogen, so daß der Rufstrom nicht von neuem einsetzt, wenn der angerufene Teilnehmer anhängt. Geschieht letzteres vorzeitig und soll auf Wunsch des anrufenden Teilnehmers nochmals gerufen werden, so zieht die A-Beamtin den Verbindungsstöpsel *VS* des betreffenden Schnurpaares für einen Augenblick aus der Klinke. Es kommt dadurch für einen Augenblick *E* zum Abfallen, der Stromkreis des Relais *U* wird unterbrochen, so daß dieses abfällt und seine eigene Wicklung kurzschließt. Es fließt jetzt erneut Rufstrom zum Teilnehmer, bis dieser seinen Hörer abhängt.

Bei der vorstehend angegebenen Schaltung besteht der Nachteil, daß ein Teilnehmer, dessen Klinke am B-Platz gestöpselt wird und der bereits den Hörer am Ohr hat, einen kurzen Knack in das Ohr erhält, verursacht durch den Gleich-

stromimpuls, der die Rufabschaltung durch Betätigung von R herbeiführt. Dieser Nachteil ist vermieden bei der in Abb. 1066 dargestellten Schaltung, welche für Teilnehmerleitungen mit fest an der Leitung liegendem Anrufrelais in Anwendung kommt. Hier wird die Abschaltung des Rufstromes nicht durch einen Stromimpuls über den Teilnehmerapparat herbeigeführt, sondern durch Abfallen des Schlußrelais S , wenn der Teilnehmer abhängt. Die Schaltungsvorgänge sind hierbei folgende: Beim Einführen des Stöpsels $V S$ in $K a$ am A-Platz (A-Platzschaltung s. Abb. 1074) wird das Relais E betätigt. Beim Stöpseln der Teilnehmer-
vielfachklinke $K v$ durch $S b$ sprechen die Relais B (und H) stets über die 700- Ω -Wicklung von T und, wenn der Teilnehmer angehängt hat, auch das Schlußrelais S über die 80- Ω -Wicklung von T an. Es fließt in der Ruferperiode Rufstrom von der mit einem Pol geerdeten Rufmaschine über K_1 , w , Arbeitskontakt von E , Arbeitskontakt von S , Ruhekontakt von U , b -Ader der Schnur und von da in Stromverzweigung einmal über die eine 400- Ω -Wicklung von A , Batterie und Erde, zurück zur Rufmaschine und parallel dazu über den einen Zweig der Teilnehmerleitung, Teilnehmerwecker, anderen Zweig der Teilnehmerleitung, 400- Ω -Wicklung von A und Erde zur Rufmaschine. A zieht unter Einwirkung des Ruf-

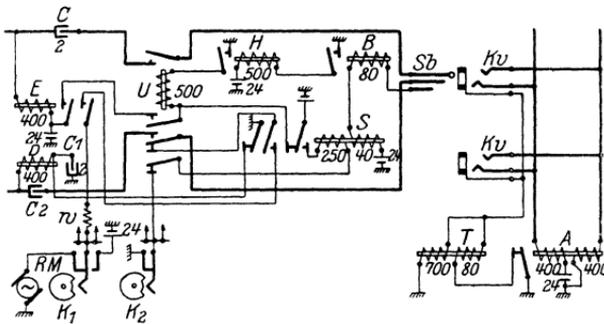


Abb. 1066. Selbsttätige Rufschaltung: Anrufrelais des Teilnehmers dauernd an der Leitung.

stromes mit übergelagertem Gleichstrom seinen Anker an und würde das Schlußrelais zum Abfallen bringen, wenn dieses nicht während der Rufzeit durch die synchron mit K_1 laufende Kontakteinrichtung K_2 über seine 250- Ω -Wicklung gehalten würde. Nimmt der Teilnehmer den Hörer ab, so spricht A an und S fällt ab. Es wird dadurch das Relais U über Batterie, Ruhekontakt S , Wicklung von U und Arbeitskontakt von H betätigt, schaltet den Rufstrom ab und die Verbindungsleitung durch. U hält sich solange, wie am A- und B-Platz verbunden ist, über Arbeitskontakt von E und seinen eigenen Arbeitskontakt, so daß der Ruf nicht von neuem einsetzt, wenn der angerufene Teilnehmer anhängt.

Durch kurzes Ziehen und Wiedereinführen des Stöpsels kann die A-Beamtin den Ruf von neuem einleiten, da dabei E einen Augenblick abfällt und den Haltestromkreis von U unterbricht.

Wenn der Teilnehmer in der Ruferperiode abhängt, so fließt noch bis zum Eintritt der Rufpause Rufstrom über den Sprechapparat, da während dieser Zeit das Schlußrelais über die 250- Ω -Wicklung gehalten wird. Dieses kann jedoch nicht stören, da der Teilnehmer mehr wie eine Sekunde Zeit benötigt (solange dauert maximal die Rufperiode), um den Hörer zum Ohr zu führen.

ZB-Speisung und Schlußzeichengabe.

(1765 a) **Mikrophonspeisung.** Die Mikrophone der Teilnehmer werden aus der ZB entweder über Drosselspulen (eine für jeden Leitungszweig jedes Teilnehmers) oder über einen Übertrager (gemeinsam für beide Teilnehmer) gespeist. Bei Drosselspulenspeisung (Ericsson) fließt nur der Speisestrom über

die Spulen und die für das Amt gemeinsamen Speiseleitungen, während die Sprechströme infolge des Wechselstromwiderstandes der Spulen nur über die Sprechleitungen zwischen den beiden Teilnehmern verlaufen. Die Drosselspulen können als Anrufrelais (Abb. 1067 und 1068) oder als Schlußrelais (Abb. 1069 und 1071) ausgebildet sein. Bei Übertragerspeisung (Abb. 1070) (Western) fließt der Speise- und der Sprechstrom über den Übertrager und die gemeinsamen Speiseleitungen. Es muß daher der Widerstand der letzteren möglichst gering gehalten werden, damit kein Mitsprechen eintritt.

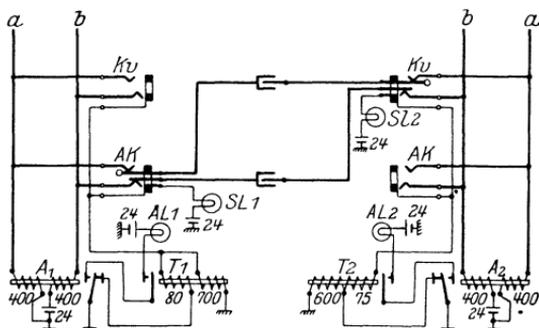


Abb. 1067. Mikrofonspeisung und Schlußzeichen durch Anrufrelais.

die Schlußlampe bestätigt. Bei den Ericsonsystemen ist das Anrufrelais in vielen Fällen gleichzeitig Schlußrelais. Wenn die Schaltung dies nicht zuläßt oder wenn während des Sprechens das Anrufrelais abgetrennt ist, werden besondere in den Schnüren eingeschaltete Schlußzeichenrelais verwendet.

(1766) Schaltungen ohne Schlußzeichenrelais. Abb. 1067 zeigt eine Schaltung, bei der das Schlußzeichen durch das Anrufrelais gegeben wird. Solange beide

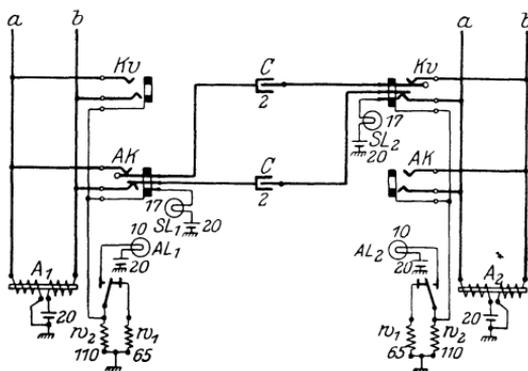


Abb. 1068. Mikrofonspeisung und Schlußzeichen durch Anrufrelais ohne Trennrelais.

Teilnehmer sprechen, sind die Anker ihrer Anrufrelais angezogen. Die im *c*-Draht liegenden Schlußlampen *SL*₁ bzw. *SL*₂ erhalten über die 700-Ω-Wicklung des *T*-Relais nicht genügend Strom, um zu leuchten. Hängt ein Teilnehmer an, so wird über den Ruhekontakt des *A*-Relais die 80-Ω-Wicklung von *T*₁ parallel zur 700-Ω-Wicklung gelegt und die Schlußlampe durch den verstärkten Strom zum Leuchten gebracht. Statt durch

Nebenschließung der ganzen Wicklung kann die Schlußlampe auch, wie bei Relais *T*₂ dargestellt, beim Abfallen des *A*-Relais durch Kurzschließen eines Teiles der Wicklung des *T*-Relais zum Leuchten gebracht werden.

Abb. 1068 zeigt eine Schaltungsordnung ohne Schlußzeichenrelais und ohne Trennrelais. Während des Gesprächs liegt hier über dem angezogenen Anker des *A*-Relais zur 17-V-Schlußlampe *SL*₁ bzw. *SL*₂ die 10-V-Anruflampe *AL*₁,

bzw. $A L_2$ parallel. Beiden Lampen vorgeschaltet ist ein Widerstand W_2 von 110Ω . Die durch die Lampen fließenden Teilströme reichen nicht aus, sie zum Aufleuchten zu bringen. Wenn nach Schluß des Gespräches A abfällt, wird $A L$ abgeschaltet. Außerdem wird durch den Ruhekontakt von A ein $65\text{-}\Omega$ -Widerstand w_1 parallel zu w_2 gelegt. Der Strom wird dadurch so verstärkt, daß die Schlußlampe $S L_1$ bzw. $S L_2$ leuchtet.

(1767) Besondere Schlußzeichenrelais. Die Schlußzeichenrelais werden entweder in Reihe oder in Brücke mit der Leitung eingeschaltet. Im letzteren Falle werden über dieselben gleichzeitig die Teilnehmermikrophone gespeist. Die Betätigung der Schlußlampe erfolgt dadurch, daß nach Gesprächsschluß das Schlußrelais abfällt und über einen Ruhekontakt die Schlußlampe zum Aufleuchten bringt. Damit nun die Schlußlampe nicht auch in der Ruhelage des Schnurpaares, wo das Schlußrelais ebenfalls abgefallen ist, leuchtet, muß die Schließung des Schlußlampenstromkreises erst bei Herstellung der Verbindung vorbereitet werden. Hierfür werden folgende Wege angewendet:

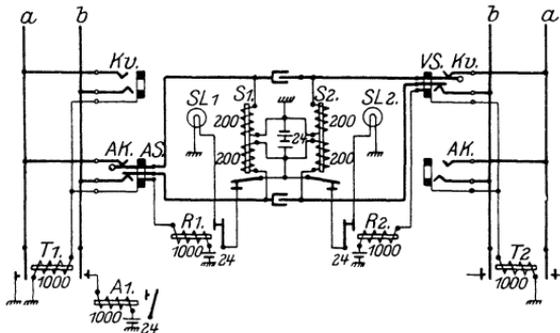


Abb. 1069. Mikrophonspeisung und Schlußzeichen durch Schlußzeichen mit Anschalterelais.

1. Schließung des Schlußlampenstromkreises durch ein besonderes Relais, welches beim Stecken des Stöpsels betätigt wird und während der Verbindung seinen Anker dauernd angezogen hält.

Beim Stecken der Stöpsel AS bzw. VS (s. Abb. 1069) werden die Relais R_1 bzw. R_2 über die Klinkenhülse und das Relais T_1 bzw. T_2 betätigt und schließen den Lampenstromkreis. Die Schlußrelais S_1 bzw. S_2 haben zwei Wicklungen, über welche die beiden Leitungszweige der Schnur mit beiden Polen der Batterie verbunden sind. S hält während des Gespräches seinen Anker angezogen und durch seinen Trennkontakt den Lampenstromkreis unterbrochen. Nach Anhängen des Hörers fällt es ab und bringt SL zum Aufleuchten. Bei zweiseitigen Systemen erhält S nur eine Wicklung, die an einem Ende mit dem a -Zweig der Schnur, am anderen Ende mit einem Pol der Batterie verbunden ist, während R an dem b -Zweig angeschlossen wird (s. Abb. 1053 und Abb. 1055). Die Arbeitsweise der Relais ist die gleiche wie beim dreidrähtigen System.

2. Schließung des Stromkreises der Schlußlampe durch Verbindung über die c -Ader und Klinkenhülse.

Abb. 1070 gibt ein Beispiel dieser Anordnung. Die Schlußlampe SL ist über einen Widerstand w_1 mit dem c -Teil des Stöpsels verbunden. Beim Stecken des Stöpsels wird der Schlußlampenstromkreis über das T -Relais geschlossen und SL leuchtet, solange das Relais S in Ruhelage ist. S liegt in Reihe mit der Leitung und ist, damit die Sprechströme durch seine induktive Wicklung nicht geschwächt werden, durch einen induktionsfreien Widerstand w überbrückt. (Die Überbrückung kann statt durch einen Widerstand auch durch einen Kondensator

erfolgen.) Während des Gespräches hält S seinen Anker angezogen und legt den Widerstand w_2 in Nebenschluß zu SL , so daß SL nicht leuchtet.

Ein weiteres Beispiel ist in Abb. 1071 dargestellt. Hier liegt das Schlußzeichenrelais in Brücke mit der Leitung. Seine beiden Wicklungen dienen als Speisebrücke. SL leuchtet, wenn der Teilnehmer angehängt hat, bei gestecktem Stöpsel (Minuspol, Ruhkontakt von S , c -Draht, T -Relais, Erde). Hierbei liegen parallel zu SL die beiden hintereinander geschalteten Widerstände w_1 und w_2 , die jedoch so hoch bemessen sind, daß das Leuchten von SL nicht beeinträchtigt wird. Während des Gespräches wird durch Ansprechen von S der Stromkreis von SL unterbrochen und w_2 kurzgeschlossen. Die Widerstände w_1 und w_2 sind erforderlich, damit in der Schwebelage des Ankers bzw. bei abgeschalteter Lampe das T -Relais seinen Anker nicht losläßt. Durch entsprechende Bemessung des Widerstandes von w_1 und w_2 wird außerdem erreicht, daß sowohl bei angezogenem wie auch bei abgefallenem Anker von S die gleiche Spannung an der Buchsenleitung liegt, wodurch eine gleichmäßige Besetztkontrolle erzielt wird.

(1768) Das Schlußzeichen durch Wechselstrom kommt im allgemeinen nur bei sehr langen Leitungen, insbesondere bei Fernleitungen in Anwendung. Das Schlußzeichenrelais wird genau wie das Anrufrelais (s. Abb. 1058) mit seiner An-

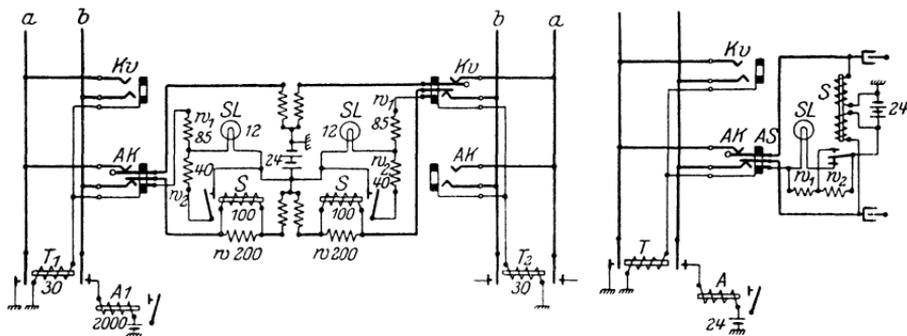


Abb. 1070 u. 1071. Schlußzeichen mit Schlußzeichenrelais über die Klinkenbuche

zugwicklung in Brücke zwischen die a - und b -Ader der Schnur gelegt und besitzt eine Haltewicklung, über welche es sich in der Arbeitslage seines Ankers hält. Die Schlußlampe wird entweder in Reihe oder parallel zur Haltewicklung gelegt. Abweichend von der Schaltung der Wechselstromanrufrelais muß die Anzugwicklung des Schlußrelais dauernd, auch während des Gespräches in Brücke mit der Leitung liegen bleiben und nur der Stromkreis der Haltewicklung wird unterbrochen.

Abb. 1072 zeigt die Schaltung eines Schnurpaares, bei der die Schlußrelais sowohl für Wechselstrom- wie für Gleichstrom-Schlußzeichengebe Verwendung finden. Sie wird in Fernämtern angewendet. Hier wird aus der Fernleitung das Schlußzeichen durch Wechselstrom gegeben, während von der Teilnehmerseite her das Schlußzeichen durch Sperrung des Gleichstromflusses bei Anhängen des Hörers erfolgt. Da nun die gleichen Schnurpaare sowohl zur Verbindung von Fernleitungen mit Teilnehmern als auch von Fernleitungen mit Fernleitungen benutzt werden, müssen die Schlußrelais für beide Zwecke verwendbar gemacht werden. Dieses wird ermöglicht durch das Hilfsrelais Hf . Dasselbe ist mit dem einen Wicklungsende an dem C -Teil des Stöpsels und mit dem anderen Ende an dem Minuspol der Batterie angeschlossen; seine Wicklung ist so bemessen, daß es über einen an der Klinkenbuche der Fernleitung liegenden niedrigen Widerstand wf anspricht, während es über den hohen Widerstand w_0 an der Klinkenbuche der nach dem Ortsamt geführten Verbindungsleitung nicht an-

spricht (w_f und w_o sind im allgemeinen als Relais ausgebildet). Bei angezogenem Anker des H_f -Relais ist die Haltewicklung von S eingeschaltet, während sie in seiner Ruhelage abgeschaltet ist.

Abb. 1072 stellt die Verbindung einer an Klinke K_f endigenden Fernleitung mit einem Teilnehmer T über eine Fernvermittlungsleitung, welche im Fernamt in den Klinken K_o und im Ortsamt im Stöpsel S_o endigt, dar. Wird vom entfernt liegenden Fernamt mittels Wechselstrom gerufen, so spricht S_f über die 1500 Ω -Wicklung an und hält sich über seinen Arbeitskontakt und seine Haltewicklung. Die 12-V-Schlußlampe SL liegt bei angezogenem Anker von H_f und S_f in Reihe mit der Haltewicklung von S_f und leuchtet. Durch Umlegen des Abfrageschalters U_f wird der Stromkreis d. r. Haltewicklung unterbrochen, S_f fällt ab und SL erlischt. Auf der Teilnehmerseite halten die Relais S_o und R_o solange T seinen Hörer abgenommen hat, ihre Anker angezogen. Durch die

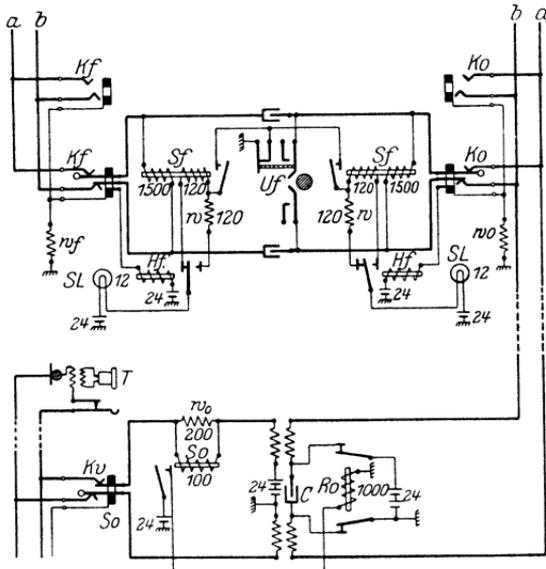


Abb. 1072. Schlußzeichen bei Fernämtern.

beiden Trennkontakten von R_o ist die Batterie abgeschaltet, so daß durch S_f kein Strom fließt. Hängt der Teilnehmer seinen Hörer an, so fallen S_o und R_o ab, S_f erhält über seine 1500- Ω -Wicklung Strom und bringt über seinen Arbeitskontakt den 120- Ω -Widerstand w und den Ruhekontakt von H_f die Schlußlampe zum Leuchten. Da die Haltewicklung von S_f durch H_f nicht angeschaltet ist, kann der Teilnehmer durch wiederholte Betätigung seines Hakenumschalters die SL zum Flackern bringen.

Verbindungsleitungsverkehr.

(1769) **Die Schlußzeichengabe.** Hier überwacht die A-Beamtin die Verbindung. Es muß daher, wenn der angerufene Teilnehmer anhängt oder Flackerzeichen gibt, das Signal über die Verbindungsleitung zur Schlußlampe in der Verbindungsschnur des A-Platzes geleitet werden. Die Überwachungslampe in der Verbindungsleitungsschnur des B-Platzes wird vom Teilnehmer nicht betätigt. Die A-Beamtin trennt, wenn sie Schlußzeichen erhalten hat, die Verbindung und erst dann leuchtet am B-Platz die Überwachungslampe und veranlaßt die Trennung am B-Platz. Diese Lampe muß außerdem zum Aufleuchten kommen, wenn

die betreffende Verbindungsleitung nur am A-Platz verbunden ist. Bei Verbindungsleitungsverkehr mit Anrufbetrieb bedeutet das Leuchten der Lampe für die B-Beamtin, daß ein Teilnehmer in der Leitung wartet, der abgefragt und weiter verbunden werden soll. Beim Dienstleistungsbetrieb dagegen bedeutet das Leuchten der Lampe bei ruhendem Stöpsel entweder, daß die B-Beamtin die Verbindung mit einem Teilnehmer versehentlich vorzeitig getrennt hat oder daß eine A-Beamtin irrtümlich eine falsche Verbindungsleitung gestöpselt hat. Solange die Lampe leuchtet, darf die betreffende Schnur von der B-Beamtin zu keiner neuen Verbindung benutzt werden, da sonst eine Doppelverbindung entstehen würde. Sie muß den Stöpsel in eine Signalklinke stecken und dadurch veranlassen, daß die A-Beamtin trennt (1774).

Beim Verkehr zwischen Fernsprechämtern, welche nicht auf demselben Grundstück liegen, werden aus Gründen der Wirtschaftlichkeit allgemein zweidrähtige Verbindungsleitungen angewendet. Die Signalisierung erfolgt dabei über die Sprechdoppelleitung, und zwar über den einen Leitungsweig die Schlußzeichengabe des angerufenen Teilnehmers nach dem A-Platz und über den anderen Leitungsweig die Signalgabe vom A-Platz zum B-Platz.

In Abb. 1073 ist die Schlußzeichenschaltung einer Verbindungsleitung dargestellt, welche bei Teilnehmerschaltungen mit Abschaltung des Anrufrelais in Anwendung kommt. Wird VS in Ka gesteckt, spricht E über den a -Zweig der Verbindungsleitung an und $ÜL$ leuchtet über Arbeitskontakt von E und Ruhekontakt von B . Wird Sb in Kv eingeführt, so spricht B über T an und bringt $ÜL$ zum Erlöschen.

Solange der Teilnehmer spricht, ist S unter Strom und legt Erde über die 21- Ω -Wicklung des Übertragers an die b -Ader der Verbindungsleitung. S_2 in der Verbindungsschnur des A-Platzes wird dadurch betätigt und überbrückt durch w_2 die Schlußlampe SL_2 , so daß sie nicht leuchtet. Bewegt der Teilnehmer den Hakenumschalter oder hängt er an, so fällt S und damit S_2 ab, SL_2 leuchtet über w_1 , c -Draht und wa und gibt dadurch Schlußzeichen. Trennt die A-Beamtin, so fällt E ab, es leuchtet $ÜL$ über Ruhekontakt von E und Arbeitskontakt von B und veranlaßt die Trennung am B-Platz.

Die Schlußzeichenschaltung der Abb. 1074 kommt in Anwendung bei Verbindungsleitungsverkehr mit Teilnehmerleitungen ohne Abschaltung des Teilnehmeranrufrelais. Hier liegt das von dem Anrufrelais des angerufenen Teilnehmers gesteuerte Schlußrelais S in der c -Ader der Stöpselschnur, desgleichen die Schlußlampe SL am A-Platz. Es muß nun bei zweidrähtiger Verbindungsleitung durch Relaischaltung das Schlußzeichen des Teilnehmers vom c -Draht auf den b -Draht der Verbindungsleitung (durch Relais S über Drosselspule D) und am A-Platz vom b -Draht auf den c -Draht (durch Relais La) übertragen werden.

Wird am A-Platz VS in Ka gesteckt, so spricht Ta an und legt Erde über Da an den a -Zweig der Verbindungsleitung, wodurch E anspricht und $ÜL$ aufleuchtet. Beim Einführen von Sb in Kv sprechen B und H an und $ÜL$ erlischt. Durch Relais Ta wird über einen zweiten Arbeitskontakt der Minuspol der Batterie über Wicklung von La an den b -Zweig der Verbindungsleitung gelegt. La hält solange der angerufene Teilnehmer seinen Hörer abgenommen hat (Stromkreis: Minuspol, w_3 , La , b -Zweig, D , Arbeitskontakt H , Arbeitskontakt E , Ruhekontakt S , Erde), seinen Anker angezogen, da S über die 700- Ω -Wicklung von T nicht anspricht. Hängt der Teilnehmer an, spricht S über die 80- Ω -Wicklung von T an und öffnet den Stromkreis von La , so daß dieses abfällt und über seinen Ruhekontakt Erde an die 80- Ω -Wicklung von Ta legt. SL leuchtet. Wenn am A-Platz getrennt wird und dadurch E abfällt, leuchtet $ÜL$ über Ruhekontakt von E und Arbeitskontakt von H und veranlaßt dadurch die Trennung am B-Platz.

(1770) Besetzkontrolle an den Klinken der abgehenden Verbindungsleitungen mit Anrufbetrieb. Die A-Beamtin muß, da die abgehenden Verbindungsleitungen

in Vielschaltung an den A-Plätzen liegen, durch Prüfen auf Knackkontrolle eine freie Leitung aussuchen. Solange eine Klinke am A-Platz gestöpselt ist, liegt über dem c-Teil des Stöpsels Prüfpotential an den Hülsen sämtlicher Vielfachklinken der betreffenden Leitung. Wird am A-Platz getrennt, so besteht am

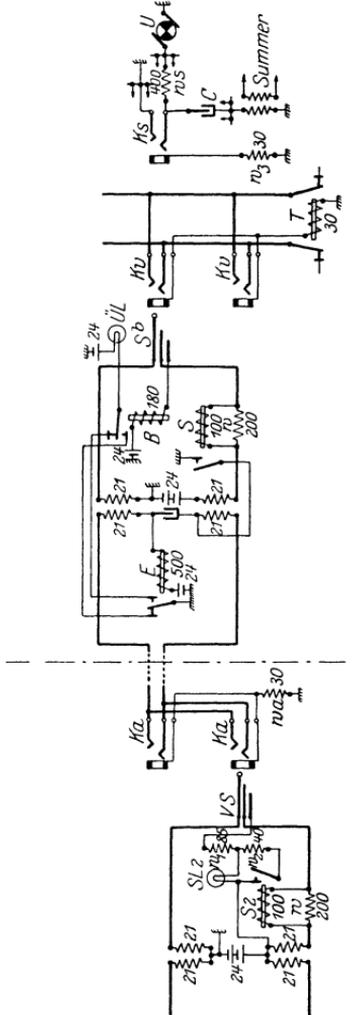


Abb. 1073. Schlußzeichen in Verbindungsleitungen bei Teilnehmerschaltung mit Abschaltung des Anrufrelais.

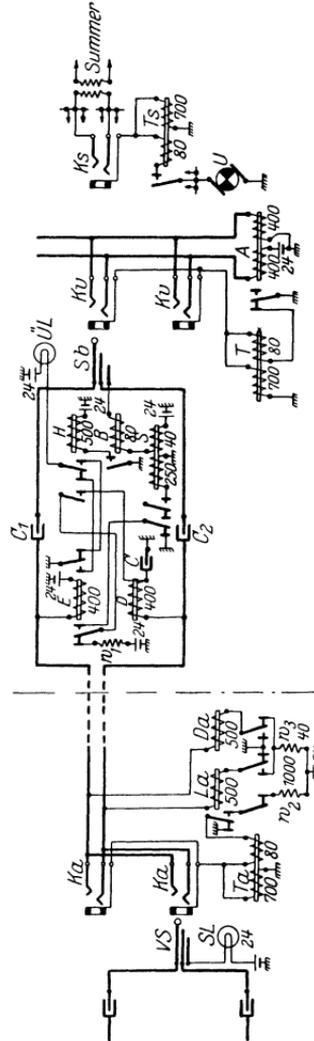


Abb. 1074. Schlußzeichen in Verbindungsleitungen bei Teilnehmerschaltung ohne Abschaltung des Anrufrelais.

B-Platz noch Verbindung mit dem Teilnehmer, und es müssen daher, wenn eine Doppelverbindung vermieden werden soll, die Vielfachklinken der Verbindungsleitung als besetzt gekennzeichnet bleiben, bis auch am B-Platz getrennt ist. Dieses geschieht dadurch, daß Relais La (s. Abb. 1074) über einen Ruhekontakt von Ta und einen Ruhekontakt von E (beide Relais fallen ab, sobald VS am A-Platz gezogen wird) sowie über den Schließkontakt von H (H hält seinen Anker angezogen, solange Sb in einer Teilnehmervielfachklinke steckt) seinen Anker ange-

zogen hält. L_a legt den Minuspol der Batterie über w_2 , Ruhekontakt von Ta , Arbeitskontakt von La , 80- Ω -Wicklung von Ta an die Klinkenbuchsen, so daß die A-Beamtin beim Prüfen Besetztknacken erhält, bis nach Trennung der Verbindung am B-Platz Relais H und damit auch L abfällt. Durch die beiden Wicklungen von Ta fließt, solange La betätigt ist, Strom, jedoch durch beide Wicklungen in entgegengesetzter Richtung, so daß Ta nicht anspricht.

(1771) Die Schaltung der Signalklinken. Wenn die B-Beamtin durch Prüfen feststellt, daß die Teilnehmerleitung besetzt ist, so hat sie keine Möglichkeit, dieses der A-Beamtin zu melden, ebenso kann sie bei Dienstleitungsbetrieb mit dem anrufenden Teilnehmer nicht in Sprechverbindung treten und ihn benachrichtigen. Sie muß daher durch ein Signal dem A-Platz und dem Teilnehmer bekanntgeben, daß der verlangte Teilnehmer besetzt ist. Dieses geschieht dadurch, daß sie den Stöpsel Sb in eine Besetztklinke Ks einführt (s. Abb. 1073 und Abb. 1074). Über die a - und b -Feder von Ks wird Summerstrom an die Sprechleitung gelegt, gleichzeitig wird durch die Unterbrechereinrichtung U die Schlußlampe SL am A-Platz in einem bestimmten Rhythmus zum Flackern gebracht. Bei Abb. 1073 geschieht dieses dadurch, daß U in kurzen Intervallen Erde über w_s an die b -Ader der Verbindungsleitung legt. S und S_2 sprechen im Rhythmus der Stromimpulse an und SL_2 flackert. Gleichzeitig spricht B über w_3 an, so daß $\dot{U}L$ nicht leuchtet. Bei Schaltung Abb. 1074 wird B und H über die 700- Ω -Wicklung von Ts betätigt und $\dot{U}L$ erlischt. Ts spricht ebenfalls an. Durch U wird S über die 80- Ω -Wicklung von TS in kurzen Intervallen zum Anziehen und Abfallen gebracht und dadurch das Flackersignal über den b -Zweig der Verbindungsleitung und Relais La zur Lampe SL weitergeleitet.

Sobald die A-Beamtin trennt, leuchtet am B-Platz $\dot{U}L$ und veranlaßt dadurch die Trennung.

Gesprächszählung.

(1172) Die Zählschaltungen. Die Zählung des Gespräches erfolgt im allgemeinen nicht automatisch, wenn die Verbindung mit dem zweiten Teilnehmer hergestellt ist, oder wenn nach Beendigung des Gespräches beide Teilnehmer anhängen, sondern durch Betätigung einer Taste seitens der Telephonistin. Die automatische Zählung läßt sich wohl schaltungstechnisch ausführen, ohne die Einrichtung besonders zu komplizieren, und es sind auch eine Reihe derartige Schaltungen entwickelt worden, allein der Betrieb hat sich gegenüber einer automatischen Zählung immer ablehnend verhalten, weil dann auch Falschverbindungen, die zu Lasten der Bedienung gehen, usw. gezählt werden. Die Zählung erfolgt nach Beendigung des Gespräches, wenn beide Schlußlampen leuchten, durch Drücken der jedem Schnurpaar zugeordneten Taste. Der Gesprächszähler wird entweder an den c -Draht der Teilnehmerleitung parallel oder in Reihe mit dem Trennrelais eingeschaltet oder er wird an eine besondere Feder der Abfrageklinke angeschlossen. Die letztere Anordnung hat den Vorteil, daß der Zählstromkreis unabhängig von den Signalstromkreisen ist, dagegen wird durch die vierteiligen Abfrageklinken und die vierteiligen Abfragestöpsel die Amtseinrichtung teurer. Auch ist es bei Verwendung vierteiliger Abfragestöpsel, wenn in Stunden schwachen Betriebes nicht alle Plätze besetzt werden, einer einige Plätze entfernt sitzenden Beamtin nicht möglich, den anrufenden Teilnehmer über die dreiteilige Vielfachklinke abzufragen.

Abb. 1075 zeigt eine Schaltung, bei welcher der Gesprächszähler Z parallel zum Trennrelais geschaltet ist. Z spricht, wenn A_s gesteckt wird, über w_1 und SL mit parallel geschaltetem w_2 nicht an. Wenn die Zähltaste ZT gedrückt wird, wird der Strom über den 0,2- Ω -Widerstand des ZK -Relais so verstärkt, daß der Zähler durchzieht. Nachdem die Zählung vollzogen ist, schließt der Anker des Zählers einen Kontakt, durch welchen die 38- Ω -Wicklung parallel zur 500- Ω -Anzugswicklung des Zählers gelegt wird. Durch den so verstärkten Strom wird das Zählkontrollrelais ZK betätigt und bringt die Zählkontrolllampe

ZL zum Leuchten zum Zeichen, daß der Zähler ordnungsgemäß gearbeitet hat. Läßt die Beamting ZT los, so hält sich der Zähler über w_1 und SL, so daß er auch bei wiederholtem Drücken von ZT sich nicht weiterschaltet.

Abb. 1076 zeigt die zweite Art der Zählerschaltung, bei der der Zähler an eine besondere Feder der Abfrageklinke angeschlossen ist. Der Arbeitsvorgang

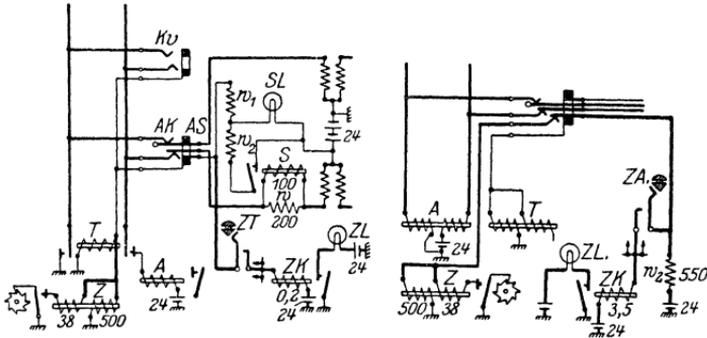


Abb. 1075 u. 1076. Zählschaltungen. Abb. 1075 Zähler parallel zum Trennrelais.
Abb. 1076 Zähler an einer besonderen Feder der Abfrageklinke.

ist hier der gleiche wie bei Abb. 1075. Der Zähler spricht vor Drücken der Zähl-
taste über den jedem Abfragestößel zugeordneten Widerstand w_2 nicht an, hält
sich jedoch, wenn er durch Tastendruck über das ZK-Relais betätigt ist, über w_2 .
ZK spricht erst an, wenn der Zähler gearbeitet und seine 38- Ω -Wicklung parallel
zur 500- Ω -Anzugswicklung gelegt hat, woraufhin die Zählkontrolle ZL leuchtet.

Literatur: Hersen, K. u. Hartz, R.: Die Fernsprechtechnik der Gegenwart.

Einzelteile für Schaltschränke.

(1773) **Fallklappen** werden als elektromagnetische Anrufzeichen und als
Schlußzeichen in Ämtern mit Induktorbetrieb verwendet. Der eine Schenkel
des Magnets befindet sich im Innern eines
Hohlzylinders, der den zweiten Schenkel
des Magnets bildet. Zwischen beiden liegt
die Wicklung. Der Anker ist auf Spitzen
gelagert (Abb. 1077). An dem Anker A ist
ein Hebel H befestigt, der mit seinem freien
Ende die Klappe K in der Ruhelage fest-
hält. Wird der Anker angezogen, so hebt
sich das rechte Ende von H in die Höhe
und gibt die Klappe frei, die alsdann unter
ihrem eigenen Gewicht in die Stellung 2 fällt. Hierbei hebt der untere An-
satz der Klappe die darunter befindliche Kontaktfeder F und schließt einen
Lokalstromkreis zum Wecker. Die Klappen weisen folgende elektrischen Eigen-
schaften auf:

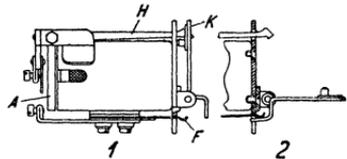


Abb. 1077. Fallklappe.

Gleichstrom- widerstand Ω	Windungs- zahl	Draht- durchmesser mm	Scheinwider- stand bei $\omega = 5000$	Empfind- lichkeit mA
400	6000	0,12	5000	6,9
1 600	10 300	0,08	20 000	2,9

Anrufklappen werden auch gemeinsam zu Streifen zusammengebaut, und
zwar meistens zu je 10.

Die beschriebene Form der Fallklappe muß von Hand in die Ruhelage zurückgestellt werden. Bei größeren Zentralen und lebhaftem Sprechverkehr ist dieser zeitraubende Handgriff lästig.

(1774) Bei der **Rückstellklappe** erfolgt die Rückstellung durch Einführen des Stöpsels selbsttätig. Die zu der Klappe gehörende Klinke ist dicht unter dieser angeordnet. Unterhalb der Klappe (Abb. 1078) befindet sich ein um den Punkt 1 drehbarer zweiarmer Hebel, dessen Rolle 2 beim Einführen des Stöpsels angehoben wird. Der Hebel dreht sich hierbei um seine Achse 1 im Sinne des Uhrzeigers. Der rechte obere Arm 3 des Hebels stößt gegen den unteren Teil der gefallen Klappe und führt diese in die Ruhelage zurück.

Für Ämter mit Induktoranruf und selbsttätigem Schlußzeichen verwendet man an Stelle der Schlußklappe das

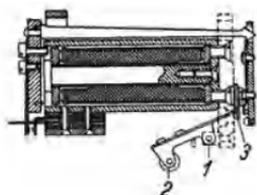


Abb. 1078. Rückstellklappe.

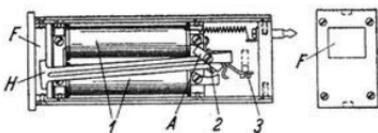


Abb. 1079. Schauzeichen.

(1775) **Schauzeichen** (Galvanoskop) (Abb. 1079). Die Pole der Magnete 1 sind mit Polschuhen versehen, die am rechten Ende zylindrisch ausgefräst sind. Der Weicheisenanker *A* ist um die Achse 2 innerhalb des ausgefrästen Hohlraumes drehbar und trägt einen langen Hebel *H* aus Leichtmetall, dessen freies Ende rechtwinklig umgebogen und zu einer Fahne ausgebildet ist. Fließt ein Strom durch die Wicklung, so dreht sich der Anker im Sinne des Uhrzeigers um etwa 15° und die Fahne wird hinter einem Fenster *F* sichtbar. Die Null-Stellung und die Empfindlichkeit kann durch ein Gewicht 3 verändert werden. Je nach Bedarf versieht man die Schauzeichen mit Wicklungen verschiedenen Widerstandes, z. B.:

Gleichstromwiderstand Ω	Windungszahl	Drahtdurchmesser mm	Scheinwiderstand bei $\omega = 5000$	Empfindlichkeit mA
2 · 200	2 · 5600	0,14	19 000	3,5

Dieses Schauzeichen hat eine verhältnismäßig geringe Drosselwirkung und kann daher nicht als Brücke in die Sprechleitung geschaltet werden. Man verwendet bei Schränken mit Schauzeichen im Nebenschluß zur Sprechleitung vor-teilhaft das

(1776) **Drosselschauzeichen** (Gitterschauzeichen) (Abb. 1080). Seine Magnete sind aus dünnem, U-förmig gestanztem Dynamoblech gefertigt. Der Anker *A* ist ebenfalls lamelliert, er ist um die Achse 1 drehbar und wird durch sein eigenes Gewicht in der Ruhelage gehalten. An dem Anker ist ein Hebel *H* aus Leichtmetall befestigt, der in gleicher Weise wie bei dem Schauzeichen an seinem freien Ende rechtwinklig umgebogen ist und eine Fahne *F* trägt. Diese Fahne ist jedoch gitterartig ausgestanzt und teilweise schwarzweiß gestrichen. Die weißen Streifen sind in der Ruhelage durch schwarze Blechstreifen zwischen Fenster und Fahne verdeckt. Wird die Fahne durch Drehen des Ankers um die Achse 1 gehoben, so erscheint hinter dem Fenster ein weißes Feld mit einem schwarzen Querstrich in der Mitte. Der Anker des Drosselschauzeichens kann auch mit einem Kontakt (Zeitkontakt) versehen werden.

Gleichstromwiderstand Ω	Windungszahl	Drahtdurchmesser mm	Scheinwiderstand bei $\omega = 5000$	Empfindlichkeit mA
2 · 130	2 · 4100	0,19	23 510	8

Als Kontrollzeichen, besonders auch in Stationen, verwendet man das

(1777) **Drehschauzeichen** (Abb. 1081). Der eine Schenkel des Magnets 1 besteht aus einem massiven runden Eisenkern, der andere ist ein U-förmig gebogenes Stück Flacheisen. Auf den Kern ist ein Messingstück 3 aufgedrückt.

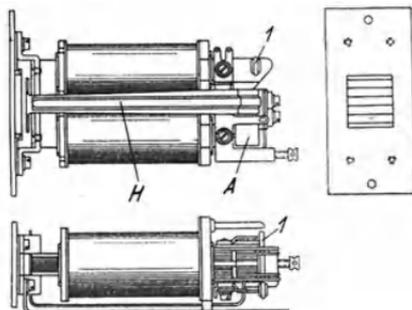


Abb. 1080. Drosselschauzeichen.

Zwischen diesem und der kreuzförmig durchlochtem Abschlußkappe 4 aus Messing ist die Achse 5 gelagert, die den Anker aus Weicheisen und eine sternförmige weiße Scheibe trägt. Der Anker wird durch eine dünne Spiralfeder in der Ruhelage gehalten. Fließt ein Strom durch die Windung, so wird der Anker und mit ihm der Stern um etwa 40° gedreht und die vier weißen Arme des Sternes erscheinen in den Ausschnitten der Kappe.

Gleichstromwiderstand Ω	Windungszahl	Drahtdurchmesser mm	Scheinwiderstand bei $\omega = 5000$	Empfindlichkeit mA
60	2000	0,15	500	30

In einigen OB-Ämtern und in den Ämtern mit Zentral-Batteriebetrieb werden sowohl die Anruf- als auch die Schlußzeichen durch

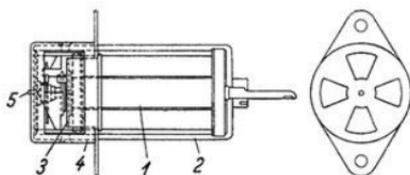


Abb. 1081. Drehschauzeichen.

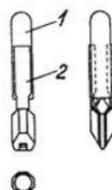


Abb. 1082. Signallampe.

(1778) **Glühlampen** angezeigt. Der Glaskörper 1 (Abb. 1082) solcher Glühlampe enthält den Glühfaden, der an den Enden mit den Neusilberfedern 2 leitend verbunden ist. Diese Federn werden in ein keilförmig auslaufendes Hartgummistück eingedrückt und dienen gleichzeitig als Stromzuführungskontakte. Die Lampen werden für die in der manuellen Fernsprechtechnik üblichen Bat-

teriespannungen (12 und 24 V) hergestellt und verbrauchen bei 24 V etwa 90 bis 100 mA. Neuerdings werden für Signalzwecke in den Wählergestellen der automatischen Ämter und an den Zentralen der Halbautomaten auch Lampen für die in der SA-Technik übliche Spannung von 60 V hergestellt.

Wenn die Lampen einzeln in die Umschalteschränke eingebaut werden, benutzt man einen

(1779) **Lampenhalter** (Abb. 1083). Die Federn 1 dienen zur Stromzuführung und zum Halten der Lampe. Auf der vorderen (bzw. oberen) Seite des Lampenhalters wird eine Blende (Lampenkappe) aus gestanztem Blech aufgeschoben, die mit einer weißen oder farbigen Linse abgeschlossen wird. Die Anruflampen in den Abfragefeldern der Schränke werden in

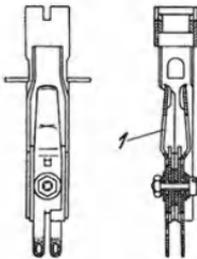


Abb. 1083. Lampenhalter.

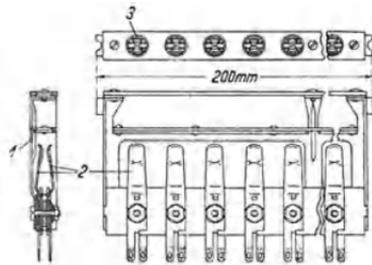
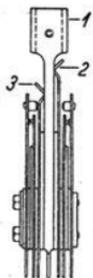


Abb. 1084. Lampenstreifen.

(1780) **Lampenstreifen** zusammgebaut (Abb. 1084). Die Streifen sind meist 10-teilig und bestehen aus einem gestanzten und genieteten Blechrahmen 1, bei dem die Zuführungsfedern mit einer Zwischenlage von Pertinaxstücken angeschraubt werden. Die Federn sind derart geformt, daß die Lampe nur in der richtigen Lage eingeführt werden kann. Bei falscher Einföhrung (um 90° verdreht) könnte sonst ein Kurzschluß der Batterie eintreten. Die Deckklinsen 3 aus dünnem Blech enthalten eine Glaslinse, die in der Regel mit der Bezeichnung der Nummer oder der Anschlußleitung versehen wird.

(1781) **Klinken** werden in Streifen zu je 10, 20 oder 25 zusammgebaut. Abb. 1085 zeigt eine Doppeltrennklinke, wie sie für die Vorschalteplätze der Orts-

Abb. 1085.
Doppeltrennklinke.

amter Verwendung findet. Durch Einföhren des Stöpsels in die Buchse 1 wird die Spitze des Stöpsels mit der Feder 2 und der Körper des Stöpsels mit dem Körper der Klinkenbuchse in Kontakt gebracht. Gleichzeitig werden die Federn 2 und 3 auseinander gebogen und diese Bewegung kann zur Betätigung weiterer Kontakte ausgenutzt werden. Im vorliegenden Falle werden zwei Kontakte geöffnet. Je nach Bedarf können bis zu fünf Kontaktfedern durch die Bewegung der Feder 2 und 3 betätigt werden.

(1782) **Vielfachklinkenstreifen** ohne Trennkontakte (Parallelklinkenstreifen) (Abb. 1086). Der obere (vordere) Teil des Streifens besteht aus Hartgummi oder ähnlichem Isolierstoff. Die Klinkenbuchse wird durch eine Schraube mit dem Streifen fest verbunden. Sowohl die Abfrageklinken als auch die Trenn- und Vielfachklinken baut man zu solchen Streifen zusammen. Bei den Abfrageklinkenstreifen stimmen die Maße mit dem Lampen-

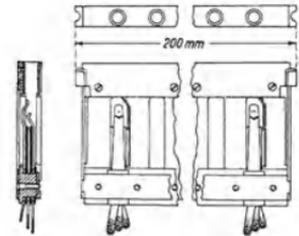


Abb. 1086. Vielfachklinkenstreifen.

streifen überein, so daß beide Streifen übereinander montiert werden können und die Klinke dann unter der zugehörigen Lampe sitzt.

(1783) Die Doppelanschlußklinke (Zwillingsklinke) (Abb. 1087) dient zum Anschalten der Abfragegarnitur der Fernsprechbeamtin an dem Arbeitsplatz. Die Federn 1, 2 und 3 sind U-förmig aus Neusilberblech ausgestanzt und die Buchsen sind durch einen Metallstreifen miteinander verbunden. Es kann daher beliebig eine der beiden Klinken zum Anschalten benutzt werden, während die andere für die Aushilfsbeamtin oder je nach Bedarf für die Aufsicht bestimmt ist.

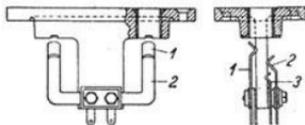


Abb. 1087. Zwillingsklinke.

(1784) Abfragestöpsel (Abb. 1088) werden drei- oder vierteilig ausgeführt (zwei Sprechadern, eine Lampenader, eventuell eine Zahlader). Der Messingkörper 1 wird aus dem Ganzen gearbeitet und hat in seinem oberen Teil einen Durchmesser von 7 mm. Die Mittelstücke 2 und 3

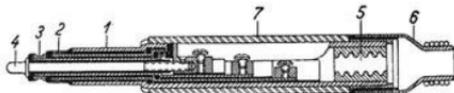


Abb. 1088. Abfragestöpsel.

bestehen aus Messingrohr, die Spitze 4 ist aus Stahl, seltener aus Bronze. Der Anschluß der Sprech- und Zähladern erfolgt durch die im Innern des Stöpsels sichtbaren Kontaktschrauben. Die Lampenader wird beim Einziehen der Schnur blank gemacht, umgelegt und durch festes Einschrauben in dem Gewindeteil 5 mit dem Körper des Stöpsels 1 verbunden. Die Messinghülse 6 wird auf den Stöpsel aufgedrückt und dient zur Befestigung der Schnurschutzspirale. Die zur Isolation dienende äußere Hülle 7 des Stöpsels besteht aus rotem oder schwarzem Fiber.

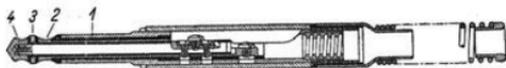


Abb. 1089. Verbindungsstöpsel.

(1785) Verbindungsstöpsel sind in der Regel dreiteilig und haben an ihrem stärksten Teil 1 (Abb. 1089) einen Durchmesser von 5,75 mm. Auch hier wird, wie beim Abfragestöpsel, der Körper 1 aus vollem Messing gearbeitet, während der mittlere Teil 2 aus Messingrohr besteht. Der Ring 3 hat keine Verbindung mit der Stöpselschnur und dient nur dazu, beim Einführen des Stöpsels in die Buchse eine sichere und kurzschlußfreie Betätigung der Kontaktfedern zu ermöglichen. Die Spitze 4 besteht aus Messing oder Bronze und wird entweder aus einem Stück mit dem mittleren Teil des Stöpsels gedreht oder aufgeschraubt. Die Schnurbefestigung ist die gleiche wie beim Abfragestöpsel. Alle Abfrage- und Verbindungsstöpsel, sowie teilweise auch die Schnüre für Abfrageapparate und Sprechgarnituren, werden mit Schnurschutzspirale versehen. Die Spirale ist aus Stahldraht hergestellt. Die Schnur nutzt sich erfahrungsgemäß am schnellsten an der Stelle ab, wo sie aus dem Stöpsel heraustritt. Die Schnurschutzspirale verhindert ein scharfes Umknicken an dieser Stelle und verlängert dadurch die Lebensdauer der Schnur.

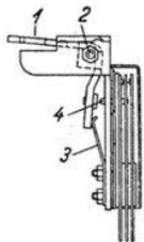


Abb. 1090. Stöpsel-Sitzschalter.

(1786) Stöpsel-Sitzschalter dienen in einigen Amtsschaltungen zum Trennen des Schlußlampenkreises (Abb. 1090).

In der Ruhelage drückt der Stöpsel durch sein eigenes Gewicht und durch den Zug der Schnur den in dem Punkt 2 drehbaren Metallwinkel 1 nach unten.

Wird der Stöpsel angehoben, so drückt die Feder 3 das Metallstück 1 in die gezeichnete Lage. Der untere Teil des Metallwinkels drückt den Stift 4 und somit die mittlere Feder des Kontaktsatzes nach rechts. Je nach Amtsschaltung werden Trenn- oder Umschaltekontakte benutzt.

(1787) Schnüre. Trotz Verwendung der Schnurschutzspirale ist die Abnutzung der Stöpselschnüre in Fernsprechämtern eine sehr erhebliche. Es können daher nur Schnüre bester Konstruktion verwendet werden. Der bei der Reichspost übliche Aufbau der Schnur ist folgender:

Ein Strang Glanzgarn 80/1, ungefärbt und ungebleicht, dreifädig, wird mit einem weichen und elastischen Lahnfaden aus reinem Kupfer 0,3 mm breit und 0,02 mm stark gut deckend spiralig bewickelt. Sieben auf diese Weise umwickelte Fäden werden zu einer Gruppe leicht verseilt. Drei solcher Gruppen werden bei etwa 16—20 Umläufen auf je 10 cm zu einer Stromader verdrillt. Diese Metalladern werden nun mit einer Lage Baumwolle 80/1 ungefärbt und ungebleicht lückenlos besponnen und darauf mit Eisengarn 80/2 dreifädig dicht und fest beklöppelt. Die Farbe dieses Eisengarns ist verschieden. Die für die Schnur erforderliche Anzahl verschiedenfarbiger Adern (2, 3 oder 4) wird nunmehr mit einem aus 2fädigem Leinenzwirn 80/2 geklöppelten Schlauch (sogen. blinde Ader) gemeinsam um eine Hanfschnur verseilt. Das Ganze erhält eine Bespinnung in entgegengesetzter Richtung aus 10 nebeneinander liegenden Fäden aus Baumwolle (60/1) und darüber eine dichte und feste Beklöppelung aus Eisengarn (40/1) roh. Diese Schnüre werden mit völlig naturreinem gelben Bienenwachs leicht gewachst. Nunmehr erhält die Schnur eine dichte und feste Beklöppelung aus bestem dreifädigen Leinenzwirn 80/2 in verschiedenen Farben.

Zum Gebrauch im Zentralumschalter werden die Schnüre in passende Längen geschnitten (400 . . . 2400 mm). Die Aufhängeöse des Anschlußleistenendes wird aus dem geklöppelten Schlauch (blinde Ader) gebildet und vernäht, worauf die Umlöppelung an diesem Ende mit gleichfarbigem Leinenzwirn fest abgebunden wird. Die freien Adern am Anschlußleistenende erhalten Anschlußröhrchen, die in die Buchsen der Leisten passen. Die anderen Enden der Schnuradern werden mit Kabelschuhen versehen, die alsdann im Stöpsel angeschlossen werden. Um ein Verknoten der Schnüre in den Schränken zu verhindern, wird jede Schnur mit einem Rollgewicht versehen.

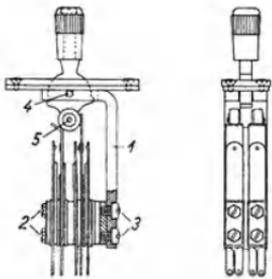
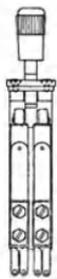


Abb. 1091. Sprechschalter.



(1788) Schalter. Für Fernsprechzentralen werden sowohl von Hand betätigte Schalter, als auch automatisch bzw. elektrisch wirkende Schalter verwendet. Ein Beispiel eines selbsttätig wirkenden Schalters ist der in (1786) beschriebene Stöpsel-Sitzschalter. Der Sprechschalter (auch Kippschalter, Sprechschlüssel oder Kelloggschalter genannt) wird hauptsächlich in der Platzschaltung der Schränke benutzt (Abb. 1091). An einem Joch 1, das meist aus Flacheisen, seltener aus Spritzguß besteht, sind mittels isolierter durchgehender Schrauben 2 und Gegenmuttern 3 die Federsätze befestigt. Der

Griff des Schalters ist als zweiarmiger Hebel ausgebildet und um die Achse 4 drehbar. Wird der obere Teil des Schalters nach links umgelegt, so drückt die Hartgummirolle 5 die lange Feder des rechten Federpaketes nach rechts. Die Abb. 815 zeigt einen Schalter für drei Stellungen. Die linke Stellung ist eine feste (Abfragen), während aus der rechten Stellung (Rufen) der Schalter beim Loslassen in die Mittelstellung zurückfedert. Solche Schalter können auch mit größeren Federpaketen ausgerüstet werden. Erforderlichenfalls werden die Schalter gekuppelt, so daß 20 und mehr Federn durch einen Handgriff umgelegt werden können. Der obere Teil des zweiarmigen Hebels besteht aus isolierendem Material.

(1789) **Kniehebelschalter** (Abb. 1092) werden besonders in Prüfschränken, Fernschränken und kleineren Nebenstellenumschaltern verwendet. Sie ähneln in ihrem Aufbau den Sprechschaltern, wie vorstehend beschrieben, lassen sich jedoch durch ihren gedrängten Aufbau zu Streifen zusammensetzen.

Der Hebel 1 ist um eine in der Ebene 2 liegende Achse drehbar. Durch Drücken auf den hervorstehenden Oberteil des Hebels wird der Hartgummizylinder 3 zwischen die Federn gedrückt. Der Schalter wird für zwei feste Stellungen gebaut.

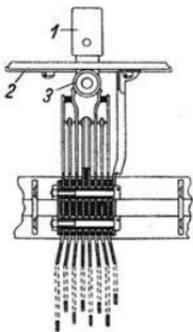


Abb. 1092. Kniehebel-schalter.

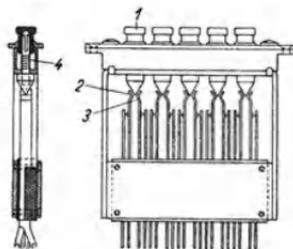


Abb. 1093. Drucktastenstreifen.

(1790) **Drucktasten** (Abb. 1093) sind besonders für den Dienstleitungsverkehr in Ortsämtern erforderlich. Durch Drücken der Taste 1 wird der Hartgummikonus zwischen die Federn 2 und 3 gepreßt. Eine schraubenförmige Feder 4 führt die Taste nach Loslassen wieder in die Ruhelage zurück. Die Tasten werden meist in Leisten zu je fünf nebeneinander angeordnet. Auf den A-Plätzen der Ortsämter werden diese Tasten mit je zwei oder drei Arbeitskontakten ausgerüstet. In den oberen Teil der Taste kann die abgekürzte Bezeichnung der Dienstleitung eingraviert werden. In ähnlicher Form werden auch zehnteilige Streifen mit zurückschnellenden oder auch mit festen Tasten ausgeführt.

(1791) **Magnetschalter** (Relais, Schütz) werden in der Fernsprechtechnik in großen Mengen gebraucht. Es ist bei der Konstruktion nicht nur auf gute Empfindlichkeit und Dauerhaftigkeit, sondern mit Rücksicht auf den großen Bedarf auch auf die Möglichkeit einer Herstellung in großen Mengen zu wohlfeilen Preisen Rücksicht zu nehmen.

In bezug auf die Anordnung der Magnetwicklung kann man drei Typen von Relais unterscheiden.

a) **Topfrelais** (Abb. 1094). Der eine Schenkel des Relais ist ein massiver Kern 1 aus weichem Eisen und befindet sich in der Mitte der Wicklung 2. Der andere Schenkel des Magnets bildet den Mantel 3 des Gerätes und umschließt topfartig den inneren Kern und seine Wicklung. Der Anker 4 ist an einer Blattfeder 5 befestigt; durch eine Schraube 6 kann die Vorspannung des Ankers geregelt werden. Gegenüber der Blattfeder ist am Anker die Kontaktfeder 7 ange-

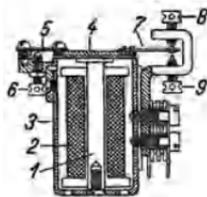


Abb. 1094. Topfrelais.

anietet, die zwischen den beiden Schrauben 8 und 9 sich bewegen kann. Eine dieser Schrauben hat eine Spitze aus Edelmetall, die andere aus Isoliermaterial. Das Relais kann also entweder für eine Einschaltung oder für eine Ausschaltung eingerichtet werden. Durch Verstellen der Schraube 6 ändert sich, wie bereits erwähnt, die Vorspannung des Ankers (Empfindlichkeit), gleichzeitig aber auch der Kontaktdruck zwischen der Feder 7 und der Schraube 8. Es läßt sich also die Empfindlichkeit des Relais nicht unabhängig vom Kontaktdruck verändern.

Ein Relais dieses Typs mit 100 Ω weist folgende elektrischen Eigenschaften auf:

Gleichstromwiderstand Ω	Windungszahl	Drahtdurchmesser mm	Scheinwiderstand bei $\omega = 5000$	Empfindlichkeit mA
100	4 100	0,2	1100	5

b) Zweispulen-Relais (Abb. 1095). Die Magnete dieses Relais bestehen aus dünnem, U-förmig gestanztem Dynamoblech. Über jeden Schenkel ist eine auf eine Rolle gewickelte Spule 1 aufgeschoben. Der Anker 2 ist ebenfalls lamelliert. Er ist um die Achse 3 drehbar und wird durch sein eigenes Gewicht in der Ruhelage gehalten. Auf dem Anker 2 ist die Kontaktfeder 4 befestigt, die in der Ruhelage die Schraube 5, in der Arbeitslage die Schraube 6 berührt. Durch Ver-

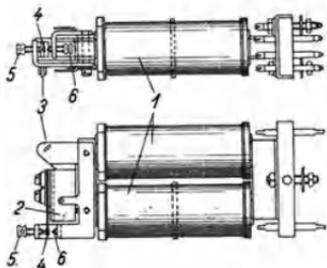


Abb. 1095. Zweispulen-Relais.

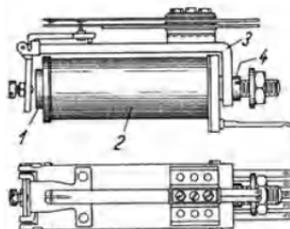


Abb. 1096. Einspulen-Relais.

stellen der Schraube 5 ändert sich der Ankerhub, gleichzeitig auch der Kontaktdruck des Ruhekontaktes. Die Schraube 6 kann nur in mäßigen Grenzen verstellt werden, um den Kontaktdruck dieser Feder (Arbeitsstellung) einzustellen. Das Relais hat guten magnetischen Schluß, geringe Wirbelstromverluste und hohe Drosselwirkung. Zum Schutz der Kontakte, sowie auch zur Schirmwirkung gegen benachbarte Relais wird dieser Magnetschalter mit einer Blechkappe versehen. Die Empfindlichkeit des Relais ist gut, die Einstellung der Kontakte jedoch unbequem.

Gleichstromwiderstand Ω	Windungszahl	Drahtdurchmesser mm	Scheinwiderstand bei $\omega = 5000$	Empfindlichkeit mA
2 · 400	2 · 7000	0,14	58 900	4

c) Einspulen-Relais (Abb. 1096). Der eine Schenkel des Relais ist ein massiver Eisenstab, an dessen einem Ende der Polschuh 1 aufgedrückt ist. Das andere Ende des Magnetstabes ist mit Gewinde versehen. Auf diesen Kern wird zunächst eine Rolle 2 mit der oder mit den Wicklungen aufgeschoben, hierauf das Joch 3 aus Weicheisen. Die Schlitzmutter 4 aus Messing drückt das Joch fest auf den Eisenkern und sorgt für einen guten magnetischen Schluß. Das Joch ist rechtwinklig gebogen. Das lange Ende liegt parallel zum Kern und dient auch zum Befestigen der Kontaktfeder und als Auflage für den Anker. Dieser besteht aus Weicheisenblech und ist winklig gebogen. Die Befestigung erfolgt entweder durch eine Achse (Abb. 1096) oder durch Auflegen des mit einem Knick versehenen Ankers auf das zu einer Schneide ausgebildete Ende des Jochs (Abb. 1119). Die erste Anordnung hat den Vorteil, daß das Relais nicht unbedingt horizontal angeordnet zu werden braucht, während die zweite Anordnung (Schneideanker) einen besseren magnetischen Schluß zeigt. Auf dem Joch werden die Federpakete angeordnet. Die Breite des Jochs gestattet das Aufbringen von drei Paketen nebeneinander. Da jedes Paket bis zu fünf Federn enthalten kann, lassen

sich drei Morse- und drei Schließ- oder Öffnungskontakte unterbringen. Die Federn sind lang, die Einstellung auf richtige Öffnung und genügenden Kontaktdruck erfolgt von vorn, unabhängig von dem Ankerhub. Durch die günstige Anordnung des Ankers können Relais dieser Bauart erhebliche mechanische Leistungen aufweisen, so kann z. B. ein Relais der Bauart nach Abb. 1096 bei Aufbringung von 1000 Amperewindungen und 1 mm Ankerabstand bis zu 800 g am Anker heben. Die Einstellung des Relais ist bequem; das einmal eingestellte Relais verändert sich unter normalen Verhältnissen nicht mehr. Der verlängerte, mit Gewinde versehene Teil des Magnetkernes dient gleichzeitig zur Befestigung. Die Relais werden zu 10, 20 und mehr auf einer Flacheisenschiene nebeneinander montiert und zum Schutze gegen Staub durch Blechklappen abgeschlossen.

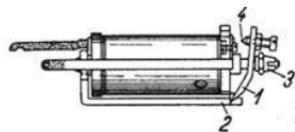


Abb. 1097. Einspulen-Relais mit Kippanker.

Gleichstromwiderstand Ω	Windungszahl	Drahtdurchmesser mm	Scheinwiderstand bei $\omega = 5000$	Empfindlichkeit mA
2 · 400	2 · 6100	0,13	16 500	8
100	5 100	0,23	3 500	15

d) Einspulen-Relais mit Kippanker (Abb. 1097). Ein sehr verbreitetes Relais, das sich von den oben beschriebenen Typen durch geringere Abmessungen (demnach durch geringeren Preis) und durch eine abweichende Ankerlagerung unterscheidet. Der Anker 1 ruht lose auf dem Joch 2 und lehnt sich durch das eigene Gewicht an die Schraube 3 an. Die Lagerung des Ankers erfolgt somit unterhalb des Schwerpunktes. Beim Ansprechen des Relais dreht sich der Anker um seinen Stützpunkt und betätigt den Kontakt 4. Der Anker selbst ist stromführend.

Gleichstromwiderstand Ω	Windungszahl	Drahtdurchmesser mm	Scheinwiderstand bei $\omega = 5000$	Empfindlichkeit mA
2000	6400	0,11	6200	4,5

Dieses Kippanker-Relais wird in den Fernsprechämtern nach der Western-Schaltung als Anrufrelais A_1 (Abb. 1069 u. 1070) gemeinsam mit einem Winkelanker-Relais (Abb. 1098), das als Trennrelais T_1 dient, verwendet; beide Relais werden nebeneinander zu einer Einheit zusammenmontiert. Bei dieser Anordnung wird das Winkelanker-Relais, das in seinem Aufbau dem Einspulen-Relais (Abb. 1096) ähnlich ist, derartig angebracht, daß die Drehachse seines Ankers lotrecht steht. Der Anker wird nun nicht mehr durch sein eigenes Gewicht in der Ruhelage gehalten, sondern die Kontaktfedern müssen ihn vom Polschub abdrücken. Der Vorteil einer solchen Anordnung liegt in einer geringeren Empfindlichkeit für Staubablagerung in den Federn.

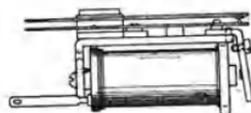
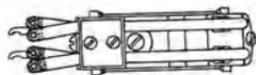


Abb. 1098. Kleines Winkelanker-Relais.

Gleichstromwiderstand Ω	Windungszahl	Drahtdurchmesser mm	Scheinwiderstand bei $\omega = 5000$	Empfindlichkeit mA
660	9800	0,12	10 000	8

e) Kontaktausführung. Während man früher die Feder ausschließlich mit eingienieteten Platinkontakten versah, verwendet man jetzt in der Regel Silberkontakte. Nur besonders stark beanspruchte Relais (Relaisunterbrecher) werden noch mit Platinspitzen ausgerüstet. Verwendet man statt einer Spitze zwei nahe beieinander stehende und schlitzt die Feder zwischen den Spitzen auf, so wird bei etwaigem Verstauben oder Oxidieren einer Kontaktspitze die andere den Kontakt noch mit genügender Sicherheit schließen. Einen noch besseren Ausgleich zwischen den Kontakten erzielt man durch eine fensterartige Verbreiterung des Schlitzes nach innen. Die Einführung des Relais mit Doppelkontakten in der SA-Technik hat die vorher bemerkbaren Relaisstörungen wesentlich herabgesetzt.

f) Funkenlöschung. Da die in der Fernsprechtechnik gebräuchlichen Relais, insbesondere die der Typen Abb. 1095 und 1096, meist hohe Selbstinduktion haben, treten beim Abschalten solcher Relais oft erhebliche Extrastrome auf. Zur Schonung der die Abschaltung bewirkenden Kontakte, die entweder in Schaltern oder auch auf anderen Relais liegen, empfiehlt sich zuweilen — z. B. in Relaisunterbrechern — die Anordnung eines hohen Parallelwiderstandes zur Wicklung des Relais oder Überbrückung des Trennkontaktes durch einen Kondensator.

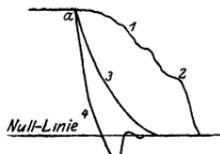


Abb. 1099. Stromverlauf in Relais beim Abschalten.

Abb. 1099 zeigt die im Oszillographen aufgenommene Schaulinie des zeitlichen Stromverlaufes in einem Relais im Augenblick des Abschaltens. Die rechte Kurve zeigt den Stromverlauf in einer normalen Schaltung. Die Stromlinie verläuft schwach geneigt und zeigt deutlich die durch den Abreißfunken (Lichtbogen) hervorgerufene Schwankung. Ein Parallelwiderstand zur Wicklung hat ein rascheres Abfallen des Stromes zur Folge, da der Extrastrom über den Widerstand verläuft. Die steilste Kurve zeigt den Stromverlauf über dem Kondensator am Trennkontakt. Außer der Schonung des Kontaktes wird bei dieser Anordnung ein besonders rasches Abfallen des Ankers erzielt, ein Vorteil, der besonders in der SA-Technik für rasch arbeitende Relais von Wichtigkeit ist.

g) Funkenbildung bei Kontakten. Die Federvorspannung und die Stärke der Federn selbst müssen so bemessen werden, daß beim Schließen bzw. Öffnen der Kontakte kein Vibrieren der Federn eintritt. In der Handamts-technik würde ein solches Prellen in den Lampen kaum zu bemerken sein, hat aber schädliche Funkenbildung an den Kontakten und daher deren raschere Abnutzung zur Folge. In Wählerschaltung können Kontaktprellungen jedoch zu erheblichen Störungen, besonders beim Prüfen, führen.

h) Ansprechzeiten der Relais. Untersucht man im Oszillographen die Stromkurve des Relais im Moment des Einschaltens, so ergibt sich, daß vom Augenblick des Kontaktschlusses für das Relais bis zum Ansprechen des Ankers, d. h. bis zum Betätigen des ersten Kontaktes, eine bestimmte Zeit vergeht. Diese Zeit bezeichnet man als Ansprechzeit, sie beträgt im Mittel rund 10 ms.

In der Handamts-technik spielen die Ansprechzeiten der Relais keine wesentliche Rolle. Es kommt vielmehr bei dieser Technik mehr auf Empfindlichkeit der Relais, gute Drosselwirkung und billige Preise an. In der SA-Technik dagegen sind die Ansprechzeiten der Relais maßgebend für den Aufbau der gesamten Schaltung.

i) Anzugverzögerung. Bringt man auf dem Relais eine zweite kurz geschlossene Wicklung an oder schiebt man über den Relaiskern erst einen Kupfermantel, ehe die wirksame Wicklung aufgebracht wird, so entsteht beim Einschalten in dieser Wicklung bzw. im Kupfermantel ein Induktionsstromstoß, der dem Feld entgegenwirkt. Es kann durch diese Anordnung eine Verzögerung von 30 ms erreicht werden.

Durch Einschalten eines induktionsfreien Widerstandes parallel zur wirksamen Wicklung wird eine ähnliche Verzögerung erreicht. An den Enden der Wicklung entsteht im Moment des Einschaltens eine elektromotorische Gegenkraft, die sich durch den bifilaren Widerstand ausgleicht und ein Feld erzeugt, das das Hauptfeld im Moment des Einschaltens schwächt. Das Feld steigt demnach langsam an, die Verzögerung beträgt bis zu 60 ms.

Da die das Ansprechen eines Relais verzögernde Selbstinduktion bei sonst gleichen Bedingungen des Aufbaues mit Erhöhung der Windungszahl wächst, läßt sich durch Anordnung zweier gegeneinander gerichteter Wicklungen verschiedener Windungszahl ein verzögertes Ansprechen des Relais erreichen. In der Wicklung der höheren Windungszahl (der eigentlichen Arbeitswicklung) steigt der Strom langsamer an als in der Hilfswicklung. Letztere überwiegt daher zu Anfang, bis das durch die Hauptwicklung erzeugte stärkere Feld die Wirkung des Hilfsfeldes aufhebt und seinerseits den Anker zum Anzug bringt. Es lassen sich durch diese Anordnung Verzögerungen bis zu 100 ms erreichen.

k) Abfallverzögerung. Eine in sich geschlossene Wicklung auf dem Relais selbst oder eine Anordnung eines Kupfermantels zwischen Kern und Wicklung, oder auch das Aufbringen eines starken Kupferklotzes auf die eine Hälfte des Relaiskerns lassen ähnliche Verzögerungen in der Abfallzeit erreichen, wie beim Ansprechen. Je stärker das Kupferrohr bzw. je größer der Kupferklotz, um so länger wird die Verzögerung. Abfallverzögerungen bis zu 400 ms lassen sich leicht erreichen.

Eine noch größere Verzögerung des Abfalls wird erzielt, wenn man das mit einem Kupfermantel versehene Relais nicht abschaltet, sondern kurzschließt. Der Extrastrom verläuft dann über den Kurzschluß und hält das Feld noch längere Zeit aufrecht. Es sind Abfallzeiten bis zu 600 ms möglich.

l) Wechselstrom-Relais. Relais der bisher beschriebenen Ausführungsform eignen sich nicht als Wechselstrom-Relais, wie solche z. B. als Rufstrom-Kontrollrelais und für automatischen Weiterruf in Handämtern Verwendung finden. Der Anker der normalen Relais ist so leicht, und die Empfindlichkeit daher so groß, daß die Kontakte bei jedem Wechsel der Stromrichtung umlegen würden. Man verhindert dieses unerwünschte Klappern der Relais dadurch, daß man den Anker durch ein aufgenietetes Metallstück beschwert. Die vergrößerte Masse des Ankers erhöht die Trägheit des Relaisankers, so daß der Anker dem verhältnismäßig rasch verlaufenden Stromwechsel nicht mehr folgt, vielmehr beim ersten Impuls anzieht und so lange in der Arbeitsstellung bleibt, bis der Wellenzug vorüber ist.

(1792) Blitzableiter und Sicherungen dienen zum Schutze der Amtseinrichtungen gegen Blitzgefahr und Starkstrom. Bei vollständig verkabelten Ortsnetzen könnte die Blitzschutzvorrichtung wegfallen. Sie wird jedoch aus Gründen der einheitlichen Gestaltung der Hauptverteiler auch bei Kabelleitungen in der Regel vorgesehen. Der Kohleblitzableiter besteht aus zwei länglichen Kohlestücken, von denen das eine in der Längsrichtung, das andere in der Querrichtung geriefelt ist. Diese beiden Plättchen werden mit einem Luftspalt von 0,03 mm isoliert aneinander gekittet. Die eine Platte verbindet man mit der Außenleitung, die andere mit Erde. Etwaige, durch atmosphärische Entladungen in den Außenleitungen auftretende Überspannungen gleichen sich in den Spitzen der Kohleplättchen aus, ohne die Apparaturen des Amtes zu gefährden. Neuerdings verwendet man auch Kohleplatten mit glatten, ungeriefelten Oberflächen und legt zwischen die Kohlen ein etwa 0,05 mm starkes, gelochtes Blättchen Harespapier oder Zellon oder Bakelit.

Die Ansprechspannung dieser Kohleblitzableiter schwankt zwischen 300 und 600 V. Sie ist bei konstantem Luftspalt abhängig von der Feuchtigkeit, Temperatur und besonders von der Verstaubung der Kohleplatten.

Für Fernleitungen wird daher mit Vorteil der Luftleerblitzableiter verwendet. Es werden hierbei die Kohleelektroden in eine Glasröhre eingeschlossen,

die evakuiert und mit Wasserstoffgas von dem Druck von etwa 20 mm gefüllt wird. Solche Luftleer-Spannungsableiter sprechen bei etwa 350 V an (je nach Luftspalt) und bleiben in ihrer Ansprechspannung praktisch konstant. An Stelle der geriefelten Kohleplättchen können auch Aluminiuelektroden verwendet werden.

Die Ansprechspannung ist vom Gasdruck abhängig und kann bei entsprechender Bemessung des Luftspaltes bis etwa 150 V erniedrigt werden.

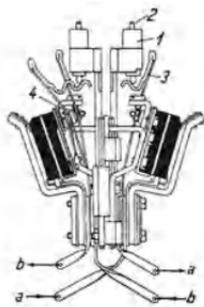


Abb. 1100. Sicherungsstreifen.

Auf dem Hauptverteiler der Fernsprechämter werden die Kohleblitzableiter mit Abschmelzsicherungen zusammen angeordnet (Abb. 1100). Diese Stromsicherungen bestehen aus einem Metallzylinder 1, in dem ein Stift 2 eingelötet ist. Die Lötstelle wird von einer Heizspirale umgeben. Wird die Heizspirale von einem stärkeren als dem Betriebsstrom durchflossen, so erwärmt sie nach einer bestimmten Zeit die Lötstelle und der Stift 2 wird durch die Feder 3 nach oben herausgedrückt. Dadurch wird der Stromweg unterbrochen, das Lot erkaltet und der Stift 2 bleibt in der neuen Lage angelötet. Durch eine besondere Rücklötvorrichtung kann die Heizspirale wieder erwärmt und der Stift in seine ursprüngliche Lage zurückgedrückt werden,

wo er nach Erkalten verbleibt. Durchgebrannte Patronen können auf diese Weise wieder gebrauchsfähig gemacht werden.

Die Sicherungsstreifen der Hauptverteiler bestehen aus 2×25 solcher Patronen mit 2×25 Kohleblitzableitern. 4 ist ein Alarmkontakt, der beim Durchbrennen einer Sicherung geschlossen wird und für diesen Streifen eine Aufmerksamkeitslampe oder einen Wecker einschaltet.

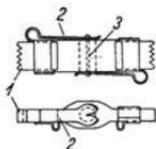


Abb. 1101. Batteriesicherung.

Die Sicherung ist eine Zeitsicherung, d. h. sie schmilzt nicht nur bei einem Kurzschluß durch, sondern auch bei längerem Ansteigen des Stromes über ein bestimmtes Maß. Die Nennstromstärke ist meist 0,5 A.

(1793) Batteriesicherungen werden in ZB-Ämtern in alle Zuleitungen zur Batterie eingebaut. Als Hauptsicherungen auf der Ladeschalttafel werden starkstrommäßige normale Sicherungen verwendet. Für die einzelnen Stromkreise ist die Bauart nach Abb. 1101 üblich. An dem in der Mitte durchbohrten Steatitkörper 1 sind beiderseits Neusilberfedern 2 befestigt, die das Bestreben haben, sich nach außen abzubiegen. Sie werden in dieser Bewegung durch den Manganindraht 3 verhindert. Wird die Sicherung von einem den Nennstrom übersteigenden Strom durchflossen, so reißt der Silberfaden und die Federn 2 schnellen nach außen auseinander. Hierdurch wird die Entstehung eines Lichtbogens verhindert und erforderlichenfalls ein Alarmkontakt an einer besonderen Signalschiene geschlossen. Diese Sicherungen werden für die Nennstromstärke 3 A gebaut und in größeren Ämtern auf besonderen Gestellen gemeinsam in Schienen angeordnet.

Literatur: Hersen und Hartz: Die Fernsprechtechnik der Gegenwart. — Schreiber, W.: Der Bau neuer Fernämter. — Woelk, J.: Über Verzögerungsrelais. Elektr. Nachrichtentechnik, Febr. 1925. — Schulze, E.: Beeinflussung der Schaltzeiten von Relais. Zeitschr. f. Fernmeldetechnik April 1924. Ders.: Die Schaltzeiten von Relais mit zwei Wicklungen. Zeitschr. f. Fernmeldetechnik April 1925.

Selbstanschlußämter.

I. Einführung.

(1794) Zweck. Mit dem Bau von Selbstanschlußämtern (SA-Ämtern) an Stelle von Handämtern bezweckt man höhere Güte und bessere Wirtschaftlichkeit des Fernsprechbetriebs. Die Betriebsverbesserung erreicht man dadurch, daß die Tätigkeit der Vermittlungsbeamten, die gewissen, in der menschlichen Natur begründeten Mängeln (z. B. lange Zeitdauer für die einzelnen Verrichtungen, Hör-

und Ermüdungsfehler) unterliegen, durch genau und schnell arbeitende Maschinen ersetzt wird. Die bessere Wirtschaftlichkeit ergibt sich nicht durch eine Herabsetzung der Einrichtungskosten (diese sind im Gegenteil nicht unwesentlich höher, als bei Handamtern), sondern durch den Fortfall der laufenden Kosten für den Vermittlungsdienst. Die DRP baut alle neuen Fernsprechämter als SA-Ämter.

(1795) Geschichtliches. Im Jahre 1879 wurde erstmalig in Amerika ein Verfahren, zwei Fernsprechstellen selbsttätig miteinander zu verbinden, zum Patent angemeldet. Auf Ausstellungen zeigte man 1894 in Amerika, 1898 in England ein kleines SA-Amt. In Deutschland wurden 1900 und 1903 Versuchsanlagen in Berlin, 1908 das erste Amt (Hildesheim) eröffnet. Seitdem hat die SA-Technik in nahezu allen Kulturländern Zugang gefunden.

(1796) Statistisches. Die DRP hatte Juli 1927 im Betriebe (ohne Bayern und Württemberg):

320 Ämter bis zu 100 Anschlüssen,	Aufnahmefähigkeit	23 600 Anschlüsse.
216 „ von 100 bis zu 1000 An- schlüssen,	„	63 500 „
108 „ über 1000 Anschlüsse,	„	403 500 „
Zusammen 644 Ämter,		Aufnahmefähigkeit 490 600 Anschlüsse.

(1797) Grundgedanke. Der anrufende Teilnehmer (Tln) stellt die Nummer des gewünschten Anschlusses mittels einer Zusatzeinrichtung, die sein Fernsprechgehäuse erhält (Nummernscheibe, NS), ein. Dadurch wird der elektrische Zustand seiner Anschlußleitung wiederholt auf kurze Zeit geändert; die Zahl der Änderungen (Stromstöße) entspricht der eingestellten Ziffer.

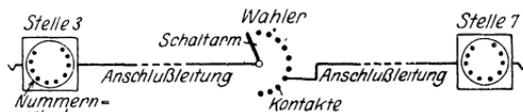


Abb. 1102. Grundgedanke einer SA-Verbindung.

Die Stromstöße wirken beim Amte auf eine mit der Anschlußleitung verbundene Schalteinrichtung (Wähler) ein. Ein beweglicher Teil des Wählers (Schaltwelle mit Schaltarmen) führt eine der Zahl der Stromstöße entsprechende Zahl von Bewegungen (Schritte) aus. Die Schaltarme kommen zum Stillstand auf Punkten (Kontakten), mit welchen die verlangte Anschlußleitung fest verbunden ist.

(1798) Beispiel. Tln. 3 wünscht Tln. 7 (Abb. 1102). Die auf Ziffer 7 eingestellte NS entsendet 7 Stromstöße. Die Schaltarme des der Anschlußleitung 3 zugeordneten Wählers machen 7 Schritte. Sie gelangen bis zum Kontakt 7, an welchem die Anschlußleitung 7 endet.

Der in Abb. 1102¹⁾ gezeichnete Wähler kann 10 Schritte machen, er genügt also für ein Netz von 10 Anschlüssen. Jede Anschlußleitung muß offenbar sowohl an den Schaltarm eines Wählers als auch an den der Anschlußnummer entsprechenden Kontakt jedes Wählers herangeführt sein. Abb. 1103 zeigt den Verlauf aller 10 Anschlußleitungen. Die NS muß 10 verschiedene Einstellmöglichkeiten haben.

(1799) Weitere Aufgaben des Wählers. Die beschriebene Tätigkeit des Wählers entspricht dem Heraussuchen der Vielfachklinke des gewünschten Anschlusses im Handamtsbetriebe. Der Wähler muß auch die der Vermittlungsbeamtin ferner obliegenden Verrichtungen ausführen (z. B. Prüfen auf Freisein, g. F. Besetzung, Anruf, Zählung, Trennung).

¹⁾ In dieser und den folgenden schematischen Abbildungen ist die Anschlußleitung eindringt gezeichnet und nur ein Schaltarm dargestellt; dementsprechend wird auch im Text nur von einem Schaltarm gesprochen.

(1800) Wähler mit zwei Bewegungsrichtungen. Netze der beschriebenen Art sind nur bis zu einer Grenze von etwa 25 Anschlüssen wirtschaftlich und zweckmäßig. Gründe: NS mit vielen Einstellmöglichkeiten sind schwierig herzustellen und teuer, Wähler mit vielen auf einem Kreisbogen liegenden Kontakten werden verhältnismäßig groß, störungsanfällig und teuer, die Einstellzeit wird zu lang. Deshalb sind Wähler, deren Schaltarme in zwei Richtungen bewegt werden können, vorteilhafter. In der Regel werden Wähler mit hundertteiligem Kontaktsatz verwendet; die 100 Kontakte werden in 10 senkrecht übereinander liegenden Segmenten mit je 10 Kontakten angeordnet. Diese Wähler werden als Heb-Drehwähler bezeichnet, während der Wähler mit nur einer Bewegungsrichtung des Schaltarms, dessen Kontakte auf einem einzigen Kreisbogenteil liegen, Drehwähler heißt.

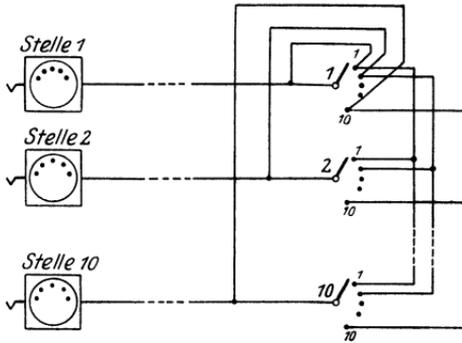


Abb. 1103. SA-Amt bis zu 10 Anschlüssen.

welle um 5 Schritte (Höhenschritte) gehoben, durch die letzten 7 Stromstöße (2. Stromstoßreihe) um 7 Schritte (Dreh Schritte) gedreht. An den erreichten Kontakt (5. Höhenschritt, 7. Drehschritt) ist die Anschlußleitung 57 herangeführt.

Da zwei Bewegungsrichtungen zu steuern sind, ist die NS stets zweimal einzustellen. Statt 0 bis 9 ist also zu wählen 00 bis 09. Beim Einstellen auf 0 entsendet die NS 10 Stromstöße. Deshalb ergibt sich für den Kontaktsatz die hierneben dargestellte Kontaktanordnung.

Höhen-schritt	Drehschritt									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 (0)
10 (0)	01	02	03	04	05	06	07	08	09	00
9	91	92	93	94	95	96	97	98	99	90
2	21	22	23	24	25	26	27	28	29	20
1	11	12	13	14	15	16	17	18	19	10

(Hunderter) muß dazu benutzt werden, unter ihnen den im Einzelfalle gebrauchten auszuwählen. Abb. 1105 zeigt die einfachste Lösung. Wird beispielsweise der Anschluß 243 gewählt, so wird durch die erste Stromstoßreihe der dem anrufenden Anschluß zugeordnete Drehwähler auf Kontakt 2 gedreht, mit dem der Heb-Drehwähler für die zweite 100-Gruppe verbunden ist. Dessen Schaltarm wird durch die folgenden Stromstoßreihen um 4 Schritte gehoben und dann um 3 Schritte gedreht.

(1803) Gruppenwähler. Bei einem Amte zu 1000 Anschlüssen wären für jeden Anschluß außer einem Drehwähler zehn Heb-Drehwähler, insgesamt also 10 000 Heb-Drehwähler erforderlich. Diese Regelung würde das Bedürfnis weit übersteigen und sehr teuer sein. Denn selbst angenommen, alle 1000 Tln. sprächen

liegendes Segmenten mit je 10 Kontakten angeordnet. Diese Wähler werden als Heb-Drehwähler bezeichnet, während der Wähler mit nur einer Bewegungsrichtung des Schaltarms, dessen Kontakte auf einem einzigen Kreisbogenteil liegen, Drehwähler heißt.

(1801) Beispiel. Tln. 23 wünscht Tln. 57 (Abb. 1104). Tln. 23 stellt die NS zweimal ein, erst auf 5 (dem Zehner entsprechend), dann auf 7 (dem Einer entsprechend). Durch die ersten 5 Stromstöße (1. Stromstoßreihe) wird die Schaltwelle um 5 Schritte (Höhenschritte) gehoben, durch die letzten 7 Stromstöße (2. Stromstoßreihe) um 7 Schritte (Dreh Schritte) gedreht. An den erreichten Kontakt (5. Höhenschritt, 7. Drehschritt) ist die Anschlußleitung 57 herangeführt.

(1802) Ämter mit 100 bis 1000 Anschlüssen (Anschlußnummern 000 bis 999). Da das Vielfachfeld eines Heb-Drehwählers nur für 100 Anschlüsse aufnahmefähig ist, sind bei größeren Ämtern für jede 100-Gruppe besondere Wähler nötig. Die 1. Stromstoßreihe

gleichzeitig, so würden nur 500 Verbindungen bestehen. Deshalb werden die Heb-Drehwähler nur in einer dem wirklichen Bedürfnis entsprechenden Anzahl (z. B. 10 für jede 100-Gruppe) vorgesehen und allen Anrufenden zugänglich gemacht. Dann muß aber nach der ersten Stromstoßreihe unter den 10 zur Verfügung stehenden Heb-Drehwählern der gewünschten 100-Gruppe einer ausgesucht werden, der noch nicht von anderer Seite

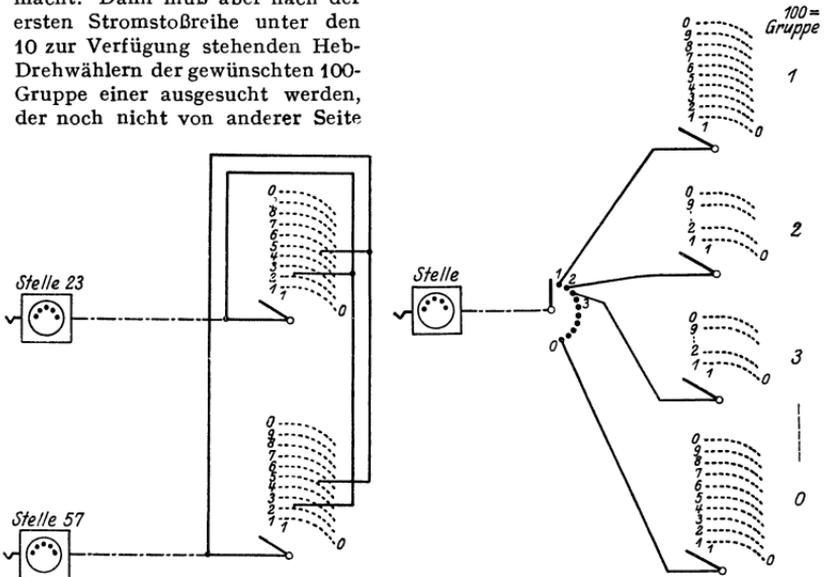


Abb. 1104. SA-Amt bis zu 100 Anschlüssen. Abb. 1105. SA-Amt bis zu 1000 Anschlüssen.

in Anspruch genommen (belegt) ist. Abb. 1106 zeigt die allgemein benutzte Lösung. Der Tln. 999 wünsche den Tln. 243. Jedem Anschluß zunächst zugeordnet ist ein Heb-Drehwähler (nicht ein Drehwähler, wie in Abb. 1105).

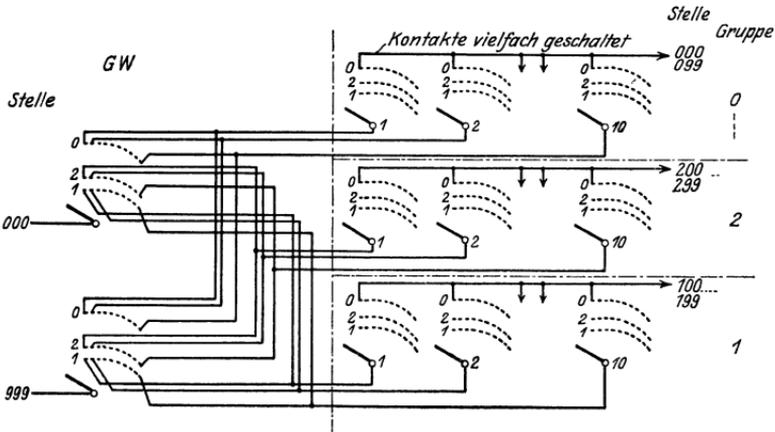


Abb. 1106. Gruppenwähler.

Durch die erste Stromstoßreihe wird die Schaltwelle des Heb-Drehwählers um 2 Schritte gehoben. An den 10 Drehschritten dieses zweiten Kontaktsegmentes liegen nun die Zuführungen zu den 10 Heb-Drehwählern der zweiten 100-Gruppe.

Nach dem Heben dreht die Schaltwelle sofort selbsttätig (in freier Wahl) auf den ersten Drehschritt ein. Jetzt wird geprüft, ob der mit diesem Schritt verbundene Wähler frei ist. Wenn etwa bereits der Tln. 000 den Tln. 205 gewählt und sein Wähler sich auf den 1. Drehschritt des 2. Höhengschritts ein-

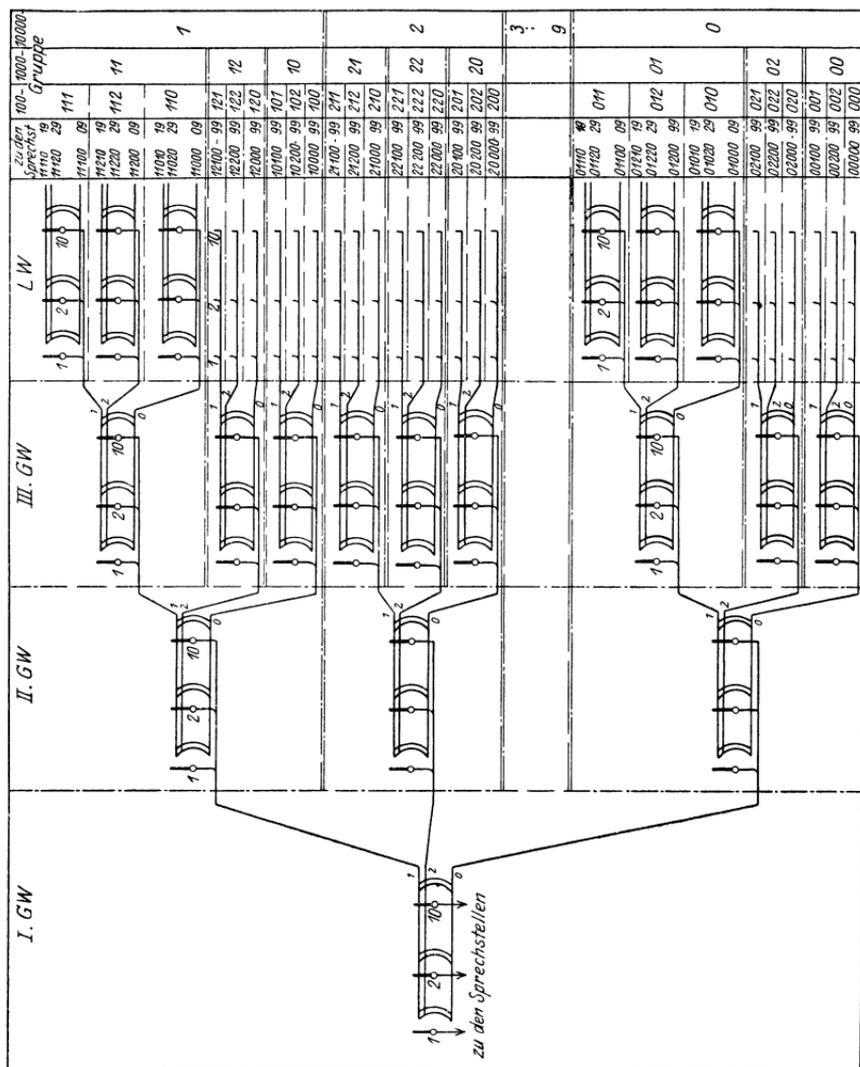


Abb. 1107. SA-Amt bis zu 100000 Anschlüssen.

gestellt hatte, so wird die Schaltwelle auf den Kontakten des 2. Höhengschritts weitergedreht, bis ein freier Wähler gefunden ist. Die nun folgenden zwei Stromstoßreihen heben und drehen in gewöhnlicher Weise die Schaltwelle dieses Wählers.

Die den 100-Gruppen zugeordneten Wähler werden also in ihren beiden Bewegungsrichtungen durch die Stromstoßreihen (Zehner und Einer) der anrufenden Stelle gesteuert und wählen damit unter 100 Anschlüssen die gewünschte

Leitung aus; sie werden deshalb Leitungswähler (LW) genannt. Dagegen werden die den einzelnen Anschlüssen zugeordneten Wähler nur in ihrer Hebebewegung von der NS gelenkt, während die Schaltwelle dann selbsttätig (in freier Wahl) eindreht und dabei unter den 10 LW einer 100-Gruppe einen freien aussucht; man bezeichnet diese Wähler deshalb als Gruppenwähler (GW).

(1804) Ämter mit mehr als 1000 Anschlüssen. Bei Ämtern mit 1000 bis 10 000 Anschlüssen (mit den Nummern 0000 bis 9999) entsendet der Tln. vier Stromstoßreihen. Die erste steuert den der eigenen Anschlußleitung zugeordneten Wähler so, daß er unter den zehn 1000-Gruppen die verlangte herausucht; in freier Wahl stellt er sich dann auf einen unbelegten Wähler nächster Ordnung ein, der unter der Wirkung der zweiten Stromstoßreihe von den 100-Gruppen des vorher ausgewählten Tausends die gewünschte aussucht. Auch dieser Wähler schaltet dann in freier Wahl weiter nach einem freien Wähler dieser 100-Gruppe (LW), dessen Schaltwelle durch die dritte und vierte Stromstoßreihe auf den der gewünschten Stelle zugeordneten Kontakt geführt wird. Außer einem LW treten also zwei GW in Tätigkeit; als I. GW wird der bezeichnet, welcher bei der ersten Stromstoßreihe die 1000-Gruppe aussucht, II. GW heißt der, welcher bei der zweiten Stromstoßreihe die 100-Gruppe aussucht.

Bei noch größeren Ämtern (mit fünf- oder sechsstelligen Anschlußnummern) müssen ein bzw. zwei weitere GW in Tätigkeit treten, so daß z. B. im letzteren Falle I., II., III. und IV. GW vorhanden sind. Abb. 1107 gibt ein schematisches Bild für die Anordnung der Wähler¹⁾ eines Amtes mit 100 000 Anschlüssen (fünfstellige Nummern). Wird beispielsweise die Nummer 20 125 gewählt, so geht der I. GW auf den 2. Höhenschritt und stellt sich auf einen der II. GW der 10 000-Gruppe 2 ein. Dieser geht auf den 0. (10.) Höhenschritt und stellt sich auf einen der III. GW der 1000-Gruppe 20 ein. Dieser geht auf den 1. Höhenschritt und stellt sich auf einen der LW der 100-Gruppe 201 ein. Dessen Schaltwelle wird um 2 Schritte gehoben und um 5 Schritte gedreht und damit auf den der Anschlußleitung 20 125 zugeordneten Kontakt eingestellt.

Es ist ersichtlich, daß der benutzte II. GW (10 000-Gruppe 2) niemals Verbindungen nach anderen 10 000-Gruppen vermitteln kann als nach Gruppe 2; es sind deshalb getrennte Abteilungen II. GW erforderlich für jede 10 000-Gruppe. Dasselbe gilt für die III. GW hinsichtlich der 1000-Gruppen und für die LW hinsichtlich der 100-Gruppen.

(1805) Vorwähler. Nach (1797) muß jedem Anschluß ein Wähler besonders zugeordnet werden (in kleinsten Netzen ein Drehwähler, sonst ein Heb-Drehwähler). Der Fall, daß alle diese Wähler gleichzeitig benutzt werden, kann nicht eintreten (1803), vielmehr spricht auch zu Zeiten stärksten Verkehrs nur ein Bruchteil der Tln. (Größenordnung etwa 5 bis 10 vH) gleichzeitig in abgehender Richtung. Dementsprechend wird man — von den kleinsten Ämtern mit Drehwählern wird hier abgesehen — die Zahl der teuren Heb-Drehwähler einschränken. Weist man beispielsweise 100 Anschlüssen je 10 Heb-Drehwähler erster Ordnung²⁾ zur gemeinsamen Benutzung zu, so muß beim Abnehmen des Hörers unter ihnen ein freier herausgesucht werden. Die Auswahl muß selbsttätig und schnell erfolgen, da die erste Stromstoßreihe ja schon auf den ausgewählten Heb-Drehwähler wirken muß. Man ordnet deshalb jedem Anschluß

¹⁾ Der Heb-Drehwähler wird von hier ab in einfacherer Weise dargestellt, als bisher (Abb. 1110). Die zwei Bogenteile deuten an, daß der Schaltarm mehrere 10-Reihen (Höhenschritte) erreichen kann. In Abb. 1107 bedeutet jede herausführende Linie die Ausgänge der zehn Drehschritte einer 10-Reihe; sie verzweigt sich deshalb immer zu 10 Wählern nächster Ordnung. Beim Drehwähler zeichnet man nur einen Bogenteil, da nur eine Kontaktreihe vorhanden ist.

²⁾ Das sind bei Ämtern bis zu 100 Anschlüssen LW, bei Ämtern mit 100 bis 1000 Anschlüssen GW, bei größeren Ämtern I. GW.



einen — in der Regel zehnteiligen¹⁾ — Drehwähler (Vorwähler, VW) zu, dessen Schaltarm beim Abnehmen des Hörers schnell gedreht wird und auf einem Drehschritt stehen bleibt, der zu einem freien Heb-Drehwähler führt (Abb. 1108). Die Drehschritte der VW einer 100-Gruppe sind vielfach geschaltet

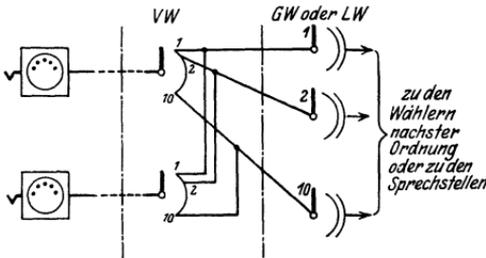


Abb. 1108. Vorwähler.

(1806) II. Vorwähler. In der Regel würden 10 vH I.GW das Bedürfnis übersteigen und die Anlagekosten unnützlich erhöhen. Bei einem Satz von beispielsweise 6 vH würden aber je 100 VW nur 6 I. GW zugänglich sein. Diese Regelung wäre unvorteilhaft; denn in einer 100-Gruppe können sehr wohl gleichzeitig mehr

als 6 Tln. in abgehender Richtung sprechen, auch wenn der Gesamtdurchschnitt für das ganze Amt niedriger als 6 vH ist. Man faßt deshalb eine größere Zahl von VW (z. B. 2000) zu einer Gruppe zusammen und ermöglicht

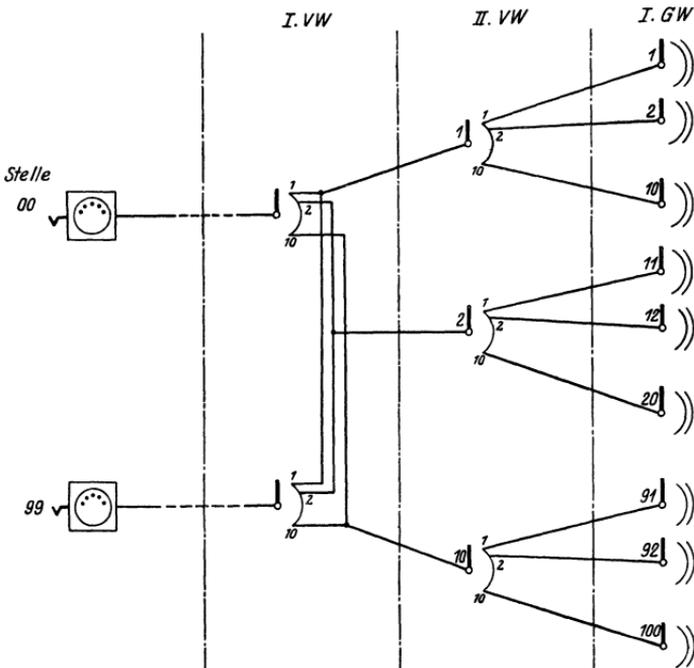


Abb. 1109. II. Vorwähler.

jedem VW den Zugang zu einer großen Zahl der der Gruppe gemeinsamen 120 I. GW, indem man noch einen zweiten zehnteiligen Drehwähler in Tätigkeit treten läßt. Diese besonderen Drehwähler werden II. VW, die den einzelnen

¹⁾ D. h. einen Drehwähler mit 10 Drehschritten.

Anschlußleitungen zugeordneten VW zum Unterschied I. VW genannt. Jeder I. VW kann also 10 II. VW, jeder von diesen 10 I. GW erreichen; mithin sind jedem I. VW $10 \times 10 = 100$ I. GW erreichbar (Abb. 1109). Durch diese Gruppenzusammenfassung wird der Verkehr der 100-Gruppen gut gemischt, die Zufälligkeiten (schwacher Verkehr in einigen, starker Verkehr in anderen 100-Gruppen) gleichen sich aus.

(1807) Gestaffelte Ausgänge der I. VW.

Für Tageszeiten schwachen Verkehrs liegt jedoch diese Notwendigkeit, durch möglichst weitgehende Mischung für gute Ausnutzung der I. GW zu sorgen, nicht vor; für eine 100-Gruppe I. VW würden vielmehr schon wenige I. GW ausreichen. Es erübrigt sich in diesem Falle, die Verbindung über einen der II. VW laufen zu lassen. Man führt deshalb in der Regel die ersten Drehschritte der I. VW unmittelbar zu I. GW und nur die letzten zu II. VW. Um trotzdem für die Zeit stärkeren Verkehrs Zugänge zu ungefähr 100 I. GW zu schaffen, verwendet man meist II. VW mit 15 Drehschritten. In Abb. 1111, die eine solche verschiedene Beschaltung (Staffelung) der Ausgänge der I. VW zeigt, sind die Drehschritte 1 bis 4 der I. VW unmittelbar zu I. GW, die Drehschritte 5 bis 10 zu II. VW geführt. Jedem I. VW sind mithin $4 + 6 \times 15 = 94$ I. GW zugänglich.

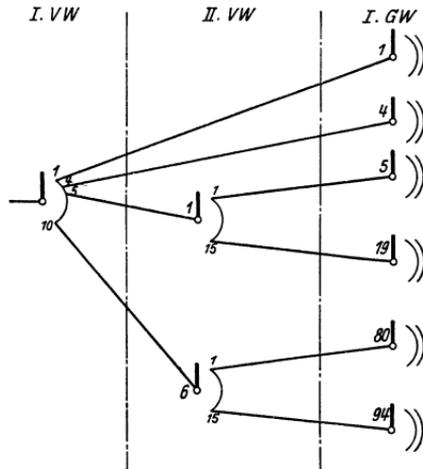


Abb. 1111. Staffelung der I. Vorwähler.

(1808) Anrufsucher. Anstatt jeder Anschlußleitung einen Drehwähler (VW) zuzuordnen, der beim Abnehmen des Hörers anläuft und einen freien GW aussucht, kann man auch umgekehrt jeden GW mit einem Drehwähler fest verbinden, an dessen Drehschritte die Anschlußleitungen geführt werden (Abb. 1112). Wenn bei einem Anschluß der Hörer abgenommen wird, muß der Drehwähler anlaufen, und der Schaltarm muß auf dem Kontakt stehen bleiben, an den der anrufende Anschluß herangeführt ist. Dieser ist dann mit dem zum Drehwähler gehörigen GW verbunden. In dieser Verwendungsart

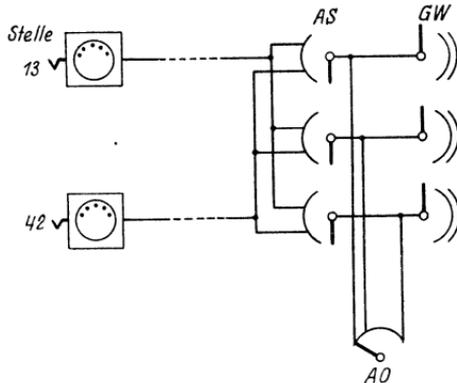


Abb. 1112. Anrufsucher.

nennt man den Drehwähler Anrufsucher (AS). Zweckmäßig verwendet man — von kleinsten Netzen abgesehen — AS mit zahlreichen Drehschritten (25, 50 oder 100), da sonst zu kleine Gruppen von Anschlüssen entstehen würden. Für jede Gruppe müssen sovielen AS nebst GW vorgesehen werden, als der Verkehr erfordert. Beim Eingang eines Anrufs laufen entweder alle AS an; derjenige, der den Kontakt des anrufenden Anschlusses zuerst erreicht, vermittelt die

Verbindung. Besser ist es, durch eine Hilfseinrichtung (Anrufordner, AO) einen der Anrufsucher in erster Linie bereitzustellen.

Um bei größeren Ämtern die I. GW mehreren Anschlußgruppen zugänglich zu machen, können — entsprechend I. und II. VW — I. und II. AS angewendet, oder es können auch I. AS mit II. VW oder I. VW mit II. AS in Reihe geschaltet werden (Abb. 1113).

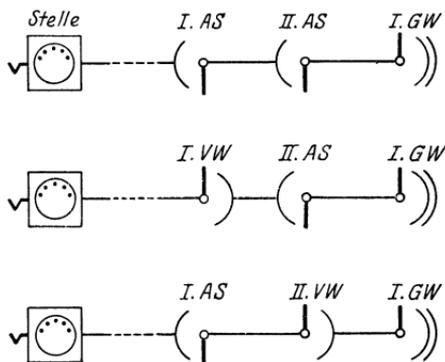


Abb. 1113. Anrufsucher in größeren Ämtern.

derholen (Besetztzeichen). Zu diesem Zwecke verhindert ein Abschalterelais, wenn freie Wähler nicht mehr erreichbar sind, daß der Kraftmagnet, welcher den Schaltarm dreht, unter Strom kommen kann. Man kann auch den letzten Drehschritt, der dann nicht mit einem Schaltorgan nächster Ordnung verbunden wird, als Abschalterschritt benutzen, auf dem der Schaltarm festgehalten wird, wenn er alle Drehschritte besetzt gefunden hat.

Sind II. VW vorhanden, so muß das Anlaufen des I. VW verhindert werden,

1. wenn alle erreichbaren II. VW belegt sind,
2. wenn zwar erreichbare II. VW noch frei, die diesen zugänglichen I. GW aber alle belegt sind.

(1810) Signale für den Teilnehmer. Der anrufende Tln. muß eine Benachrichtigung erhalten in folgenden Fällen:

1. wenn ein freier Wähler erster Ordnung (LW, GW oder I. GW) gefunden ist, als Aufforderung zum Einstellen der NS (Amtszeichen),
2. wenn der verlangte Anschluß besetzt ist, oder wenn alle Verbindungswege im Amte besetzt sind (Besetztzeichen).

Außerdem wird meist dem Tln. jedesmal erkennbar gemacht, wenn Rufstrom nach der verlangten Stelle entsandt wird (Freizeichen). Für die Benachrichtigung werden Summertöne verwendet; der verschiedenen Bedeutung entsprechen verschiedene Tonhöhen oder Unterbrechungen in bestimmtem Zeitmaß.

(1811) Signale für das Amtspersonal. Bei Handvermittlungsstellen, welche SA-Tln. über Wähler erreichen (z. B. Fernplätze, Schnellverkehrsplätze, A-Plätze in gemischten Netzen), müssen die Schlußzeichen in gleicher Weise betätigt werden, wie bei Verbindungen nach Handamtsmitgliedern. Ferner muß die Fernbeamtin erkennen können, wenn ein verlangter Tln. bereits im Fernverkehr spricht (fernbesetzt ist).

Zur Beschleunigung des Störungsdienstes sorgt man für selbsttätige Anzeige eingetretener Fehler. In der Regel macht ein akustisches Zeichen (Alarmwecker) das Pflegepersonal aufmerksam, Signallampen zeigen Ort und Art des Fehlers an.

(1812) Übersichtlichkeit und Auswechselbarkeit der Wähler usw. Beim Entwerfen der Einzelteile, insbesondere der Wähler, ist besonderer Wert darauf zu legen, daß die beweglichen Teile sichtbar sind, damit Abnutzungserscheinungen und Veränderungen leicht festgestellt werden können. Der Abnutzung besonders

unterworfenen Einzelteile müssen leicht auszuwechseln sein. Schadhafte, dem allgemeinen Verkehr dienende Wähler und Relaisanordnungen (Relaissätze, vgl. 1818) müssen sogleich außer Betrieb gesetzt (besetzt gemacht) werden können, ferner sollen sie leicht herauszunehmen und durch Vorratsstücke zu ersetzen sein. Zu diesem Zweck legt man die aus dem Wähler oder aus dem Relaissatz herauszuführenden Stromwege in der Regel an Messerkontakte, die in entsprechende, am Gestell (1820) angebrachte Federanordnungen eingreifen.

(1813) Halbselbsttätiger Betrieb. Die Entsendung der Stromstoßreihen kann auch durch eine Vermittlungsbeamtin anstatt durch den Tln. erfolgen. Der Anruf eines Tln. muß dann beim Amte erkennbar werden, eine Beamtin muß abfragen und die Stromstoßreihen absenden, die in gewöhnlicher Weise die Wähler steuern; das Amtszeichen (Aufforderung zum Aufziehen der NS) fällt fort. Bei dieser halbselbsttätigen Betriebsweise liegen der Beamtin weniger Aufgaben ob, als im Handamtsbetriebe, so daß ihr Leistungsmaß höher ist. Die Sprechstellen erhalten keine NS.

Der Anruf geht in der Regel nicht bei einem bestimmten Platze ein, sondern er wird einer gerade unbeschäftigten, also sogleich arbeitsbereiten Beamtin zugeführt. Diese Auswahl besorgt ein besonderer Drehwähler (Dienstwähler, DW). Zur Einstellung der verlangten Nummer dient statt der NS in der Regel ein Tastensatz (1863). (Gründe: Das sehr häufige Aufziehen der NS würde die Beamtin stark ermüden, vor dem Einstellen der zweiten usw. Ziffer

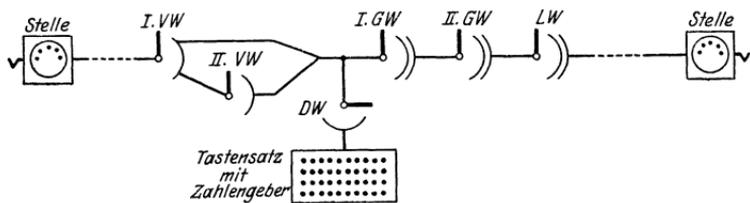


Abb. 1114. Halbselbsttätiger Betrieb.

müßte sie jedesmal warten, bis die NS abgelaufen ist.) Nach dem Drücken der letzten Taste (Einertaste) tritt eine dem Tastensatz zugeordnete Maschine oder Relaisanordnung (Zahlengeber) in Tätigkeit, welche die im Tastensatz gewissermaßen aufgespeicherten Stromstoßreihen nacheinander entsendet. Die Tätigkeit der Beamtin ist mit dem Niederdrücken der Einertaste beendet. Sie kann sogleich, also vor Ablauf des Zahlengebers, auf einem zweiten gleichartigen Tastensatz einen weiteren Anruf empfangen und erledigen.

Jedem I. GW wird ein DW fest zugeordnet (Abb. 1114). Beim Abnehmen des Hörers wird in bekannter Weise ein I. GW belegt. Der mit diesem verbundene DW setzt sich selbsttätig in Bewegung und sucht einen freien Tastensatz aus. Nach beendeter Tasteneinstellung wirken die vom Zahlengeber entsandten Stromstoßreihen in gewöhnlicher Weise auf den I. GW usw. Die Verbindung zwischen DW und Tastensatz wird bei Beendigung der Stromstoßgabe unterbrochen.

Beim halbselbsttätigen Betrieb gehen die mit der Einführung des SA-Betriebs erstrebten Vorteile (1794) zum großen Teile verloren. Man hat diese Betriebsweise bei einigen Ämtern als Übergang zum vollselbsttätigen Betriebe angewendet, weil man Schwierigkeiten in den neu eröffneten Ämtern durch fehlerhaftes Einstellen der NS durch die Tln. befürchtete, und weil die Sprechstellen, insbesondere die Nebenstellenanlagen, bei den ersten Ämtern nicht immer rechtzeitig mit SA-Apparaten versehen werden konnten. Neuerdings werden die Einrichtungen sogleich vollselbsttätig betrieben. Dagegen ist in gemischten Netzen (in denen Hand- und SA-Ämter nebeneinander im Betriebe sind) die Einfügung halbselbsttätiger Platze nötig zur Herstellung von Verbindungen von Handamts- zu SA-Teilnehmern (1861).

(1814) Überlagerung der Sprechstromwege mit Gleichstrom. Die Erfahrung hat gezeigt, daß die Sprechverständigung zeitweise fast ganz aussetzt, wenn in den Sprechstromwegen sich Kontaktstellen befinden, die durch hochglanzpolierte Flächen gebildet werden; aus wissenschaftlich noch nicht geklärter Ursache scheint an diesen Stellen für Wechselströme hoher Frequenz zuweilen ein sehr hoher Übergangswiderstand aufzutreten. Der Übelstand wird vermieden, wenn die Kontaktstellen von einem, wenn auch nur schwachen Gleichstrom durchflossen werden. In den SA-Schaltungen bildet die Auflage der Schaltarme auf den Zungen der Kontaktsegmente eine solche gefährdete Stelle, da beide Teile sich gegenseitig abschleifen und schließlich auf Hochglanz polieren. Wenn die Auflagenstellen nicht ohnein von Gleichstrom (z. B. Speisestrom) durchflossen werden, muß solcher besonders überlagert werden; man bemißt ihn so niedrig (einige mA), daß er die Relais nicht beeinflusst.

(1815) Darstellungsweise. Für die nachfolgenden Schaltungszeichnungen wird eine Darstellungsweise angewendet, die von der sonst gebrauchten abweicht. Kreuzungen der Stromlinien werden möglichst vermieden, um einen schnellen Überblick über die für jeden einzelnen Stromweg gegebenen Arbeitsbedingungen zu geben. Hingegen muß darauf verzichtet werden, konstruktiv zusammengehörige Teile (z. B. Wicklungen und Kontakte eines Relais) beieinander zu zeichnen; jeder Einzelteil wird vielmehr so angeordnet, daß sich möglichst übersichtliche Stromlinien ergeben. Ferner sind zur Erzielung besserer Übersichtlichkeit bisweilen Umschaltekontakte und Zwillingarbeitskontakte in Ruhe- und Arbeitskontakt bzw. in zwei Arbeitskontakte aufgelöst worden. Abb. 1115 enthält eine Zusammenstellung der angewendeten Bildzeichen. Die Wicklungen eines Relais sind mit großen Buchstaben, seltener mit römischen Ziffern (z. B. *R, II*), die Kontakte mit den entsprechenden kleinen Buchstaben oder mit arabischen Ziffern (z. B. *r, 2*) bezeichnet. Größeren Zeichnungen ist eine Relaisübersicht beigegeben, welche angibt, wieviele Wicklungen (wirksame Wicklungen = Ohmzahl ohne Zusatz, Widerstandswicklungen = Ohmzahl mit Zusatz *w*, induktive Wicklungen = Ohmzahl mit Zusatz *i*) und Kontakte (*a* = Arbeitskontakt, *r* = Ruhkontakt, *u* = Umschaltekontakt, *zw* = Zwillingarbeitskontakt) jedes Relais hat. Bei jedem Einzelteil ist ferner ersichtlich gemacht, wo er in der Zeichnung zu finden ist. Zu diesem Zweck ist bei den Zeichnungen eine Netzeinteilung angedeutet, welche die Zeichnungsfläche in wagerechte, mit Buchstaben bezeichnete und in senkrechte, mit Ziffern bezeichnete Streifen zerlegt. Z. B. bedeutet in der Relaisübersicht zu Abb. 1124 (S. 703) die Angabe *F6* bei dem Arbeitskontakt des Relais *A*, daß dieser Kontakt sich in der Abb. 1124 (S. 702) in dem Viereck befindet, welches durch die Streifen *F* und *6* gebildet wird. In die Relaisübersichten sind auch die Kraftmagnete und die mechanischen Kontakte (z. B. Kopfkontakt) aufgenommen.

Bei den größeren Zeichnungen ist in einer weiteren Übersicht angegeben, welche Relais während der einzelnen Betriebsvorgänge unter Strom stehen. Für die Abb. 1134 bis 1138 ist diese Übersicht auf S. 714 zusammengefaßt.

II. SA-Einrichtungen der DRP.

A. Einzelteile.

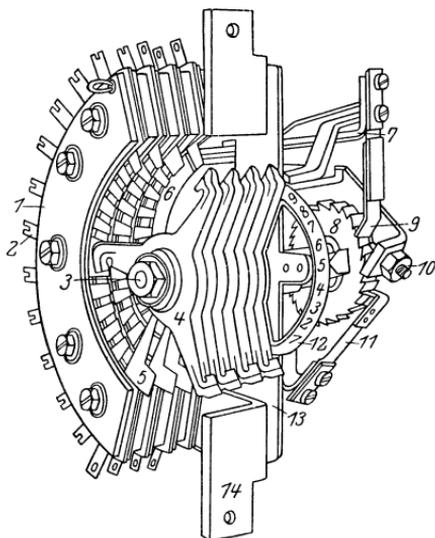
(1816) Drehwähler. Der Drehwähler (Abb. 1116)¹⁾ besteht aus dem eigentlichen Wähler und dem Kontaktsatz, der Wähler selbst ist wieder zusammengesetzt aus dem Gehäuse mit zwei Befestigungswinkeln, dem Drehelektromagnet und der Schaltwelle mit den Schaltarmen. Der Anker des Drehmagnets trägt eine Stoßfeder, welche beim Anziehen des Ankers ein auf der Schaltwelle sitzendes Triebrad weiterdreht. Die im Gehäuse gelagerte Schaltwelle ragt auf einer Seite

¹⁾ Zur Zeit sind Vorarbeiten im Gange, einen Drehwähler mit kleineren Abmessungen einzuführen.

Benennung	Bildzeichen	Erklärung	Benennung	Bildzeichen	Erklärung	
Batterie		— 60 V	Relaiskontakte		Arbeitskontakt Ruhekontakt Umschaltkontakt Zwillingsarbeitskontakt	
Drosselspule		500 Ohm		Ringübertrager		4 x 21 Ohm
Erde				Rufstrommaschine		
Fernhörer				Sicherung		Abzweigsicherung 6 A Feinsicherung 1 A
Fernsprechgehäuse		ZB	Stöpsel			
		SA	Stromverzweigung			
Gesprächszähler			Summer			
Klinke			Taste		festlegbar Zugtaste	
Kondensator		2 µ F	Trennlinie			
Kraftmagnet		40 Ohm	Übertrager		10,5 und 14 Ohm	
Lampe		für 24 V Lampenwiderstand		Unterbrecher		
Mikrophon			Verzögerungsrelais siehe Relais			
Nummernscheibe		Stromstoßkontakt Kurzschlußkontakt	Wählerschaltarme		in Schaltzeichnungen Drehwähler Hebdrehwähler } in Übersichtszeichnungen	
Relaiswicklungen		wirksame Wicklung 500 Ohm Widerstandswicklung 750 Ohm induktive Wicklung 100 Ohm Verzögerungsrelais (mit Kupfermantel) 1340 Ohm	Wecker		für Gleichstrom für Wechselstrom	
			Widerstand		1000 Ohm	

Abb. 1115. Bildzeichen.

aus dem Gehäuse heraus und trägt hier die Schaltarme, deren Zahl je nach Bedarf vier (bei den I. VW) oder drei (bei den II. VW und Dienstwählern [1862]) beträgt. Gleichgroß ist die Zahl der Segmente des Kontaktsatzes. Das einzelne Segment besteht aus 10, 15 oder 25 einzelnen Kontaktblechen, die an ihrem rückwärtigen Ende als Lötöse zum Anlegen der Zuführungsdrähte ausgebildet sind. Dazu treten beim I. VW noch ein gleichartiger Kontakt für die Ruhestellung, ferner bei allen Drehwählern ein kurz vor der Schaltwelle endendes federartiges Blech, welches unter den Kontaktarm geklemmt ist und die Stromzuführung für diesen vermittelt. Die Kontakte sind auf einem Kreisbogen von 120° (bei 10-teiligen Drehwählern) oder 180° (bei 15- und 25-teiligen Drehwählern) angeordnet. Die einzelnen Kontaktsegmente sind durch isolierte Zwischlagen



1 Kontaktsatz. 2 Lotöse. 3 Schaltwelle. 4 Schaltarm. 5 Stromzuführungsfeder. 6 d-Schleifring. 7 Anker. 8 Triebrad. 9 Stoßfeder. 10 Anschlagsschraube. 11 Sperrfeder. 12 Zahlenbugel. 13 Gehäuse. 14 Befestigungswinkel.

Abb. 1116. Drehwähler.

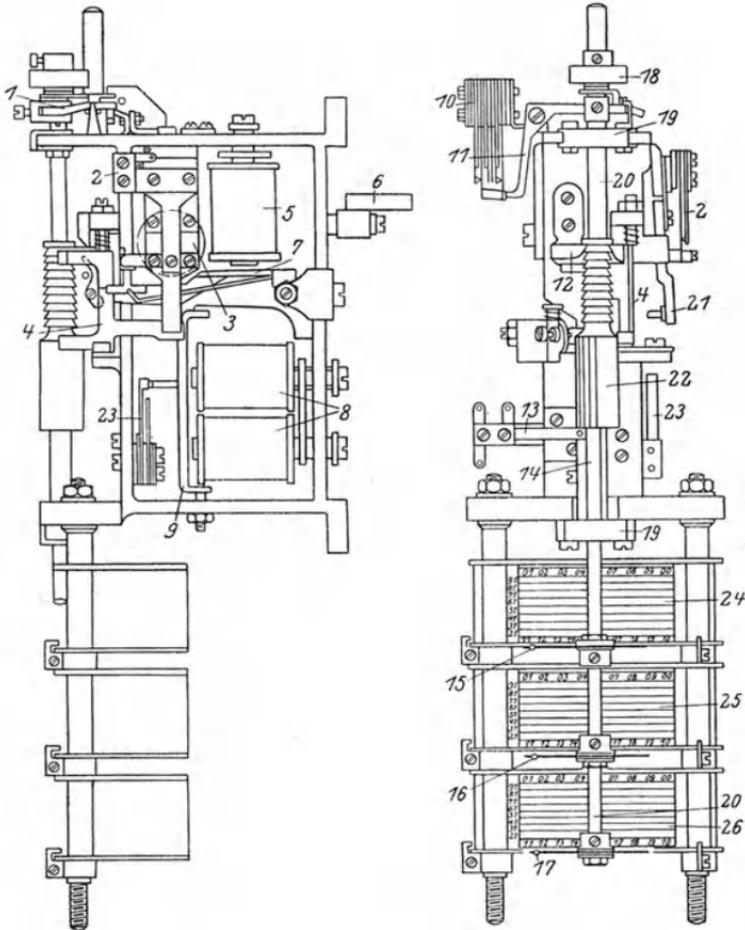
Wähler ist noch ein Zahlenbügel aufgesetzt, an welchem abgelesen werden kann, auf welchem Drehschritt der Wähler steht.

Der Anker des Drehmagnets betätigt oft noch einen Arbeitskontakt, so daß der Drehmagnet gleichzeitig als Relais wirkt. Ferner kann auf den Anker ein Unterbrecherpendel aufgesetzt werden. Dieses schneidet beim Ansprechen des Drehmagnets einen Ruhekontakt auf, über welchen die Stromzuführung für den Drehmagnet verläuft; dadurch wird der Strom nach dem Prinzip des Wagnerschen Hammers abwechselnd geschlossen und geöffnet, also in Stromstöße zerhackt. Da die Schaltwelle des Wählers mit 35 bis 40 Schritten in der Sekunde gedreht wird, muß der Drehmagnet mit starken Strömen (1 bis 1,5 A) betrieben werden.

(1817) Heb-Drehwähler. Die Heb-Drehwähler¹⁾ werden in zwei grundsätzlich gleichen, in der Ausführung verschiedenen Formen verwendet. Abb. 1117 zeigt

¹⁾ Geplant ist die Einführung eines wesentlich kleineren Heb-Drehwählers.

den Wähler von Siemens & Halske A.-G. (S & H), Abb. 1118 a/b den Wähler der Automatischen Fernsprechanlagen-Bau-G. m. b. H. (Autofabag). Der Wähler besteht aus zwei Hauptteilen, dem eigentlichen Wähler und dem Kontaktsatz. Ein Rahmen mit Bohrungen für die Schaltwelle enthält drei mit ziemlich hohen

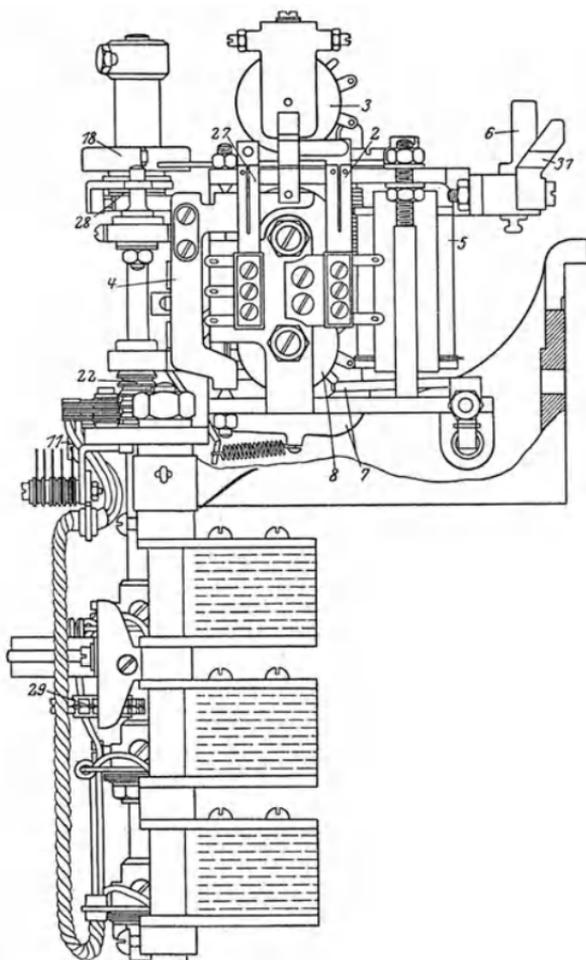


1 Anschlagwinkel. 2 Kontakt des Auslösemagnets. 3 Auslösemagnet. 4 Doppelsperklinke. 5 Hebemagnet. 6 Messerkontakt. 7 Anker des Hebemagnets. 8 Drehmagnet. 9 Anker des Drehmagnets. 10 Kopfkontakt. 11 Betätigungswinkel f. d. Kopfkontakt. 12 Zahn des Haltwinkels. 13 Wellenkontakt. 14 Umschaltehülse für den Wellenkontakt. 15 c-Schaltarm. 16 b-Schaltarm. 17 a-Schaltarm. 18 Federhaus. 19 Lager. 20 Schaltwelle. 21 Anker des Auslösemagnets. 22 Metallzylinder. 23 Kontakt des Drehmagnets. 24 c-Kontaktsatz. 25 b-Kontaktsatz. 26 a-Kontaktsatz.

Abb. 1117. Hebe-Drehwähler (S & H)

Stromstärken (0,4—1 A) betriebene Kraftmagnete, den Hebe-, den Dreh- und den Auslösemagnet. Der Hebemagnet hat zwei Spulen, der Auslösemagnet hat eine Spule, der Drehmagnet hat zwei Spulen (S & H) oder eine Spule (Autofabag). Der Anker des Drehmagnets betätigt noch einen Relaiskontakt, ebenso zuweilen der Anker des Auslösemagnets. Auf die Anker des Hebe- und Dreh-

magnets sind Stoßklinken (Hebeklinke, Drehklinke) aufgesetzt, welche die senkrecht angeordnete Schaltwelle zu heben und zu drehen haben. Zu diesem Zweck



2 Kontakt des Auslösemagnets. 3 Auslösemagnet. 4 Doppelsperrklinke. 5 Hebemagnet. 6 Messerkontakte. 7 Anker des Hebemagnets. 8 Drehmagnet. 9 Anker des Drehmagnets. 10 Kopfkontakt. 11 Betätigungswinkel f. d. Kopfkontakt. 12 Zahn des Haltewinkels. 13 Wellenkontakt. 14 Umschaltewinkel f. d. Wellenkontakt. 15, 16, 17 a-, b- und c-Schaltarm. 18 Federhaus. 19 Lager. 20 Schaltwelle. 21 Anker des Auslösemagnets. 22 Metallzylinder. 23 Kontakt des Drehmagnets. 24, 25, 26 a-, b- und c-Kontaktsatz. 27 Durchdrehkontakt. 28 Sperrrad. 29 Nockenscheibe f. d. Mehrfachkontakt. 30 Mehrfachkontakt. 31 Führungswinkel.

Abb. 1118 a. Heb-Drehwähler (Autofabg). Seitenansicht.

ist auf die Schaltwelle ein Metallzylinder mit wagerechten und senkrechten Rillen aufgeschoben¹⁾. Beim jedesmaligen Ansprechen des Hebemagnets greift die

¹⁾ Bei den Wählern der Autofabg sind die senkrechten Rillen an einem besonderen Sperrrad statt an dem Metallzylinder angebracht.

Hebeklinke in eine wagerechte Rille und hebt die Welle um einen Schritt, beim Ansprechen des Drehmagnets greift die Drehklinke in eine senkrechte Rille und dreht die Schaltwelle um einen Schritt. Die Schaltwelle hat das Bestreben, in ihre Ruhelage zurückzukehren; einerseits versucht eine Spiralfeder, die in einem Federhaus am oberen Teil der Schaltwelle angebracht ist, diese zurückzudrehen, andererseits möchte die Welle durch ihre Schwere nach unten zurückfallen. Beides wird zunächst verhindert durch zwei Zähne einer vom Anker des Auslösemagnets betätigten Doppelsperrklinke, deren Zähne ebenfalls in die wagerechten und senkrechten Rillen eingreifen und eine Rückwärtsbewegung der Schaltwelle verhindern. Soll der Wähler nach Gesprächs-schluß in die Ruhelage zurückkehren, so wird der Auslösemagnet erregt, und die Zähne der Doppelsperrklinke geben die Rillen frei; die Spiralfeder dreht die Schaltwelle zurück, und diese fällt dann in die Ruhelage herunter. Daß die Schaltwelle nicht bereits während des Rückwärtsdrehens herabfällt, verhindert ein fester, in einen Zahn auslaufender Haltewinkel. Der Zahn liegt, solange die Welle aus der Ruhelage herausgedreht ist, unter einer der wagerechten Rillen; ist die Welle dagegen zurückgedreht, so befindet sich der Zahn in einer senkrechten Nute des Metallzylinders, so daß die Welle nunmehr herabgleiten kann.

An ihrem unteren Ende trägt die Welle drei Schaltarme.

Jeder Arm besteht aus zwei leitend verbundenen Blechen, so daß die Kontakte doppelt, von oben und von unten, berührt werden. Die Enden der Schaltarme bestehen aus besonderen, aufschiebbaren Stücken; diese können, wenn sie abgenutzt sind, leicht ausgewechselt werden. Den drei Schaltarmen entsprechen drei Kontaktsätze, die je 10 Segmente zu 10 Kontakten enthalten. Erhält beispielsweise der Hebemagnet 5, der Drehmagnet 7 Stromstöße, so werden die Schaltarme erst in die Ebene des fünften Kontaktsegments gehoben und dann auf dessen siebenten Kontakt gedreht. Die drei Schaltarme und Kontaktsätze werden mit den Buchstaben *a*, *b* (für die Sprechleitungen) und *c* (für die Prülleitung) bezeichnet.

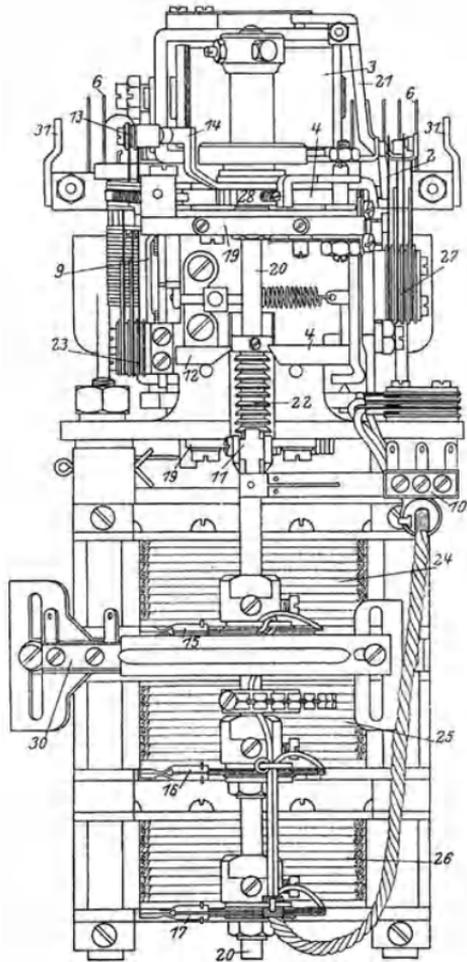


Abb. 1118 b. Hebe-Drehwähler (Autofabag)
Vorderansicht. (Erläuterungen s. Abb. 1118 a.)

Am Wähler sind noch drei mechanische, von der Schaltwelle betätigte Kontakte vorhanden. Der Kopfkontakt wird aus der Ruhelage¹⁾ in die Arbeitslage überführt, sobald die Schaltwelle gehoben wird und damit die vorher

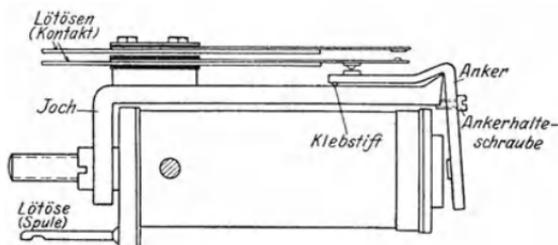


Abb. 1119. Relais mit Federsätzen.

unmittelbar (Autofabag) oder mittels eines Anschlagwinkels (S. & H.) nieder-gedrückte Feder des Kopfkontakts freigibt. Der Wellenkontakt wird in Ar-beitsstellung umgelegt, sobald die

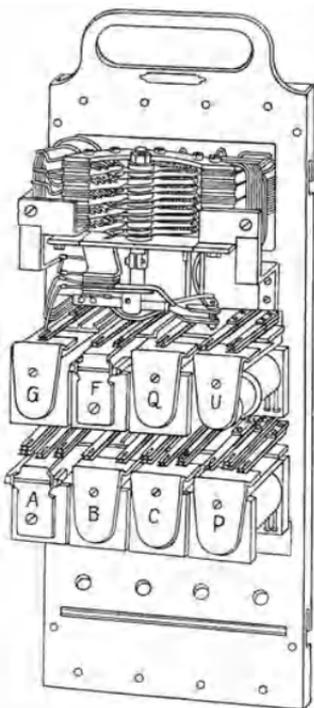


Abb. 1120. Relaisatz für Leitungswähler.¹⁾

Beim Heb-Drehwähler von S. & H. ist zu diesem Zweck auf die Schaltwelle eine Umschaltehülse mit senkrechtem Nocken aufgeschoben; letztere drückt die Feder des Wellenkontakts vor dem Eindrehen in ihre Ruhelage und gibt sie beim Eindrehen frei. Beim Heb-Drehwähler der Autofabag wird der Wellenkontakt von einem auf der Schaltwelle sitzenden Umschaltewinkel be-tätigt. Der Durchdrehkontakt wird von demselben Nocken umgelegt, wenn die Schaltwelle um mehr als 10 Schritte gedreht wird (wenn sie „durchdreht“, vgl. 1846).

Die Zuführungen vom Gestellkabel zu den Heb-Drehwählern sind über Messer-kontakte (1812) geführt; um einen Wähler abzunehmen, sind nur einige Muttern und Schrauben zu lösen.

(1818) Relais. Abb. 1119 zeigt das ge-bräuchliche SA-Relais²⁾. Der Anker hat Schnei-denlagerung (1791, c); er trägt eine Schraube, deren Spitze in einen senkrechten Schlitz des Kernes eingreift und den Anker so gegen seitliches Verschieben schützt. In einzelnen Fällen, in denen besonderer Wert auf genaues Arbeiten zu legen ist (z. B. bei den Stromstoß-übertragungsrelais), erhalten die Anker Achs-lagerung (vgl. Abb. 1120, Relais F und A). Auf das Relais können bis zu drei Feder-packungen nebeneinander aufgesetzt werden. Die Kontaktfedern sind in zwei Zungen auf-geschlitzt, jede Zunge trägt einen Kontakt. Es sind also stets zwei parallelgeschaltete Kon-takte vorhanden, wodurch Störungen durch

¹⁾ Eigentlich befindet sich der Kopfkontakt (und ebenso der Wellenkontakt) bei ruhendem Wähler in der Arbeitslage, da die Kontaktfeder gebogen ist. Man bezeichnet aber diesen Zustand als Ruhelage, weil sie dem Ruhezustand des Wählers entspricht.

²⁾ Die Einführung eines Relais mit kleineren Abmessungen steht bevor.

Verstaubung vermieden werden. Das Relais hat 5 Lötstifte zur Heranführung der Wicklungsenden; es werden bis zu 4 Wicklungen aufgebracht. Freier Wicklungsraum wird oft zur Unterbringung von (bifilar gewickelten) Widerständen ausgenutzt. Jeder Spule werden auf dem Schutzüberzug die genauen Wicklungsangaben aufgedruckt. Auf den Anker wird die in den Schaltzeichnungen für das Relais angewendete Bezeichnung (Buchstabe) aufgeschrieben (vgl. Abb. 1120).

Die Relais werden entweder auf Schienen aufgesetzt oder zu Relaissätzen (Abb. 1120) zusammengefaßt. Der abgebildete Relaissatz, der ohne Kappe dargestellt ist, enthält außer 8 Relais noch einen Steuerschalter (1836). Die Relaissätze sind meist auswechselbar. In diesem Falle enden alle herauszuführenden Verbindungen an Messerkontakten (1812); ein solcher Relaissatz kann durch einfaches Anheben abgenommen werden. Die zu Heb-Drehwählern gehörigen Relais werden immer in einem Relaissatz vereinigt.

(1819) Verzögerungsrelais. In zahlreichen Fällen werden Relais verwendet, welche beim Aufhören des Stromflusses ihren Magnetismus erst allmählich verlieren, ihren Anker also mit Verzögerung abfallen lassen (Verzögerungsrelais). Auch beim Stromschluß erfolgt u. U. die Magnetisierung des Eisenkernes langsamer als bei gewöhnlichen Relais; jedoch ist diese Verzögerung viel geringer als die beim Abfallen. In den meisten Fällen ist nur die Verzögerung beim Abfallen des Ankers von Wichtigkeit.

Die Verzögerungswirkung kann erzielt werden durch besondere Bauart des Relais oder durch Schaltmaßnahmen.

a) Verzögerungsrelais besonderer Bauart. Umgibt man den Eisenkern des Relais mit einem Kupfermantel, so entstehen in diesem bei jeder Änderung des Stromes oder des magnetischen Feldes Induktionsströme, welche zurück-erregend auf den Eisenkern wirken. Beim Schließen des Stromes erreicht der Strom infolge der Induktivität der Spule seinen Höchstwert erst in einiger Zeit; innerhalb kleiner Zeiteinheiten ist die Änderung der Stromstärke also gering, deshalb sind die Induktionsströme im Kupfermantel schwach, und sie verzögern die Magnetisierung des Eisenkernes nur in geringem Maße. Dagegen gehen beim Unterbrechen des Stromes die Stromstärke und die Stärke des magnetischen Feldes plötzlich auf 0 herab; der im Kupfermantel entstehende Induktionsstrom ist also kräftig und verlängert die Magnetisierung des Eisenkernes um verhältnismäßig lange Zeit. Die Dauer der Verzögerungswirkung schwankt nach der Stärke des Kupfermantels, dem Ankerabstand (Klebstift) und der Vorspannung der Kontaktfedern etwa zwischen 0,1 und 0,3 s.

An Stelle des Kupfermantels kann man auch eine zweite, kurzgeschlossene Wicklung verwenden. Die in dieser erzeugten Induktionsströme sind geringer als im Kupfermantel, die Verzögerungswirkung deshalb schwächer.

b) Verzögerungswirkung durch Schaltmaßnahmen. Dem Relais ist ein Widerstand parallelgeschaltet, oder das Relais wird durch Kurzschließen statt durch Unterbrechen stromlos gemacht. Der Selbstinduktionsstrom, der über den Widerstand oder den Kurzschluß zustande kommt, setzt den ursprünglichen Strom noch eine Weile fort, so daß der Magnetismus langsam verschwindet und der Anker erst nach einiger Zeit abfällt.

(1820) Rahmen, Gestelle. 10 bis 15 Wähler nebst den zugehörigen Relais (Relaissätzen) werden auf wagerechte Schienen aufgesetzt; eine solche Anordnung heißt Rahmen. In dem Rahmen sind auch die für jeden Wähler erforderlichen, nicht in den Relaissatz eingebauten Hilfsteile (z. B. Sicherungen, Prüfklinken), ferner die für jeden Rahmen nur einmal vorhandenen Teile (z. B. Verteiler, Sicherungen, Tasten) untergebracht. Bei den I. VW werden zwei Rahmen zu einem Doppelrahmen zusammengefaßt. Mehrere Rahmen werden übereinander an senkrechten Schienen befestigt; die so entstandene Einheit wird Gestell genannt. Das Gestell enthält ferner die für das Gestell nur einmal vorhandenen Teile (z. B. Sicherungen, Signalrelais, Relaisunterbrecher); auf den I. VW-Gestellen finden noch die Gesprächszähler Platz. In der Regel enthält ein

Gestell Wähler einer Gattung. Nur die Gestelle für kleine SA-Ämter tragen VW und LW; ferner sind in die LW- und MLW-Gestelle der Ausführung S & H zwei Rahmen LW (MLW) und ein Rahmen GW letzter Ordnung eingebaut.

Gleichartige Drehschritte (Ausgänge) der Wähler eines Rahmens sind immer parallelgeschaltet. Bei den I. VW sind ferner die Ausgänge von je 5 Rahmen (einer Gestellhälfte), bei den GW die Ausgänge von je 2 Rahmen parallelgeschaltet. Enthalten die Gestelle eine ungerade Zahl von Rahmen, so erfolgt die Parallelschaltung der Ausgänge des überschießenden Rahmens mit den Ausgängen eines gleichartigen Rahmens des Nachbargestells erst beim Aufbau am Verwendungsort.

Die Gestelle werden auf 32 cm hohe gußeiserne Füße gestellt; in niedrigen Räumen können 9,5 cm hohe Füße verwendet werden. Ein Fuß dient für zwei

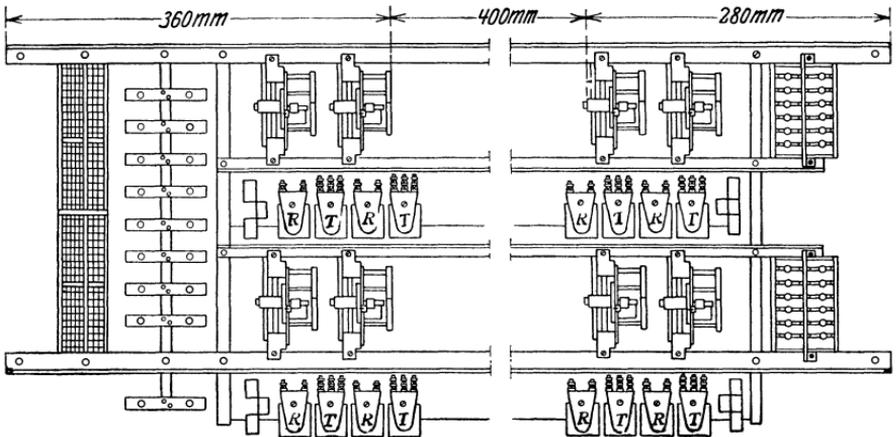


Abb. 1121. Doppelrahmen mit I. Vorwählern.

benachbarte Gestelle. Abb. 1121 zeigt einen I.-VW-Doppelrahmen, Abb. 1122 ein LW-Gestell. Die Gestelle einschließlich Fuß sind einheitlich hoch. Wegen der Abmessungen vgl. (1927).

(1821) Betriebsspannungen, Sicherungen. Folgende Betriebsspannungen werden verwendet:

- a) Gleichstrom von 60 V.
- b) Wechselstrom von 75—90 V und 25 Per/s als Rufstrom.
- c) Summerstrom

α) von 150 Per/s (tiefer Ton) als Besetztzeichen.

β) von 450 Per/s (hoher Ton) als Amtszeichen (im Zeitmaß des Morse-A. —) und als Freizeichen (abwechselnd 1 s Ton, 9 s Pause).

Bei kleinen Ämtern (bis zu 100 Anschlüssen) wird nur ein Summertone benutzt. Es bedeutet dann dauernder Ton Besetztzeichen, gleichmäßig unterbrochener Ton Amtszeichen, 1 s Ton, 4 s Pause Freizeichen.

An Sicherungen werden an den Wählergestellen verwendet:

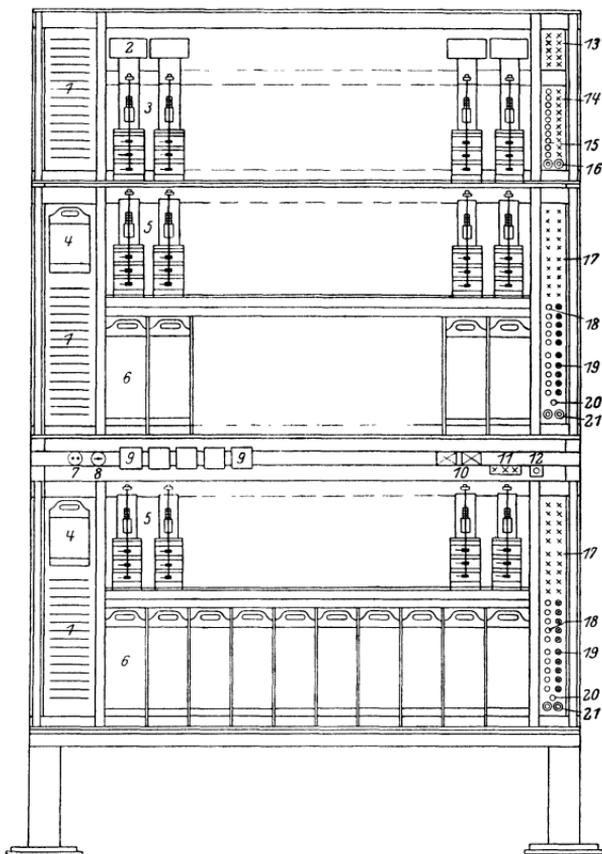
Diazeidsicherungen zu 6 A als Abzweigsicherungen und

Schmelzsicherungen zu 1 A (selten zu 0,5 A oder 1,5 A) als Einzelsicherungen.

B. Schaltungen.

(1822) Schaltungsaufgaben. Nachstehende Übersicht zeigt, welche Schaltungsaufgaben im einzelnen während einer Gesprächsverbindung zu erfüllen sind. Als Beispiel ist ein Amt bis zu 10000 Anschlüssen (vierstellige Anschlußnummern) gewählt; Sprechstelle 3471 wird angerufen. Tln. 1 = anrufender, Tln. 2 = angerufener Tln.

1. *Tln. 1 nimmt Hörer ab.* Wenn kein freier I. GW zur Verfügung steht, ist Tln. 1 das Besetztszeichen zu übermitteln. Andernfalls läuft I. VW an, bleibt stehen, wenn er freien I. GW oder II. VW gefunden hat. Im letzteren Falle wird der II. VW gegen Belegung von anderer Seite gesperrt, er läuft an und bleibt stehen, wenn er freien I. GW gefunden hat. Der I. GW wird gesperrt und übermitteln Tln. 1 das Amtszeichen.



1 Lötösen des Vielfachfeldes. 2 Relaisatz f. II. (III./IV.) GW. 3 II. (III./IV.) GW. 4 Signalsatz. 5 LW. 6 Relaisatz f. LW (Abb. 1120). 7 Steckdose. 8 Schalter, beide f. Gestellbeleuchtung. 9 Rahmen- u. Gestellrelais. 10 Abzweigsicherungen. 11 Einzelsicherungen f. Signale. 12 Speiseklinke f. Prüfapparat. 13 Einzelsicherungen für 2. 14 Einzelsicherungen für 3. 15 Prüfklinke f. 2 u. 3. 16 Durchdreh- u. Registriertaste. 17 Einzelsicherungen f. 5 u. 6. 18 Prüfklinke f. 5 u. 6. 19 Alarmlampe AL f. 5 u. 6. 20 Klinke der Prüfnummer. 21 Fang- und Registriertaste.

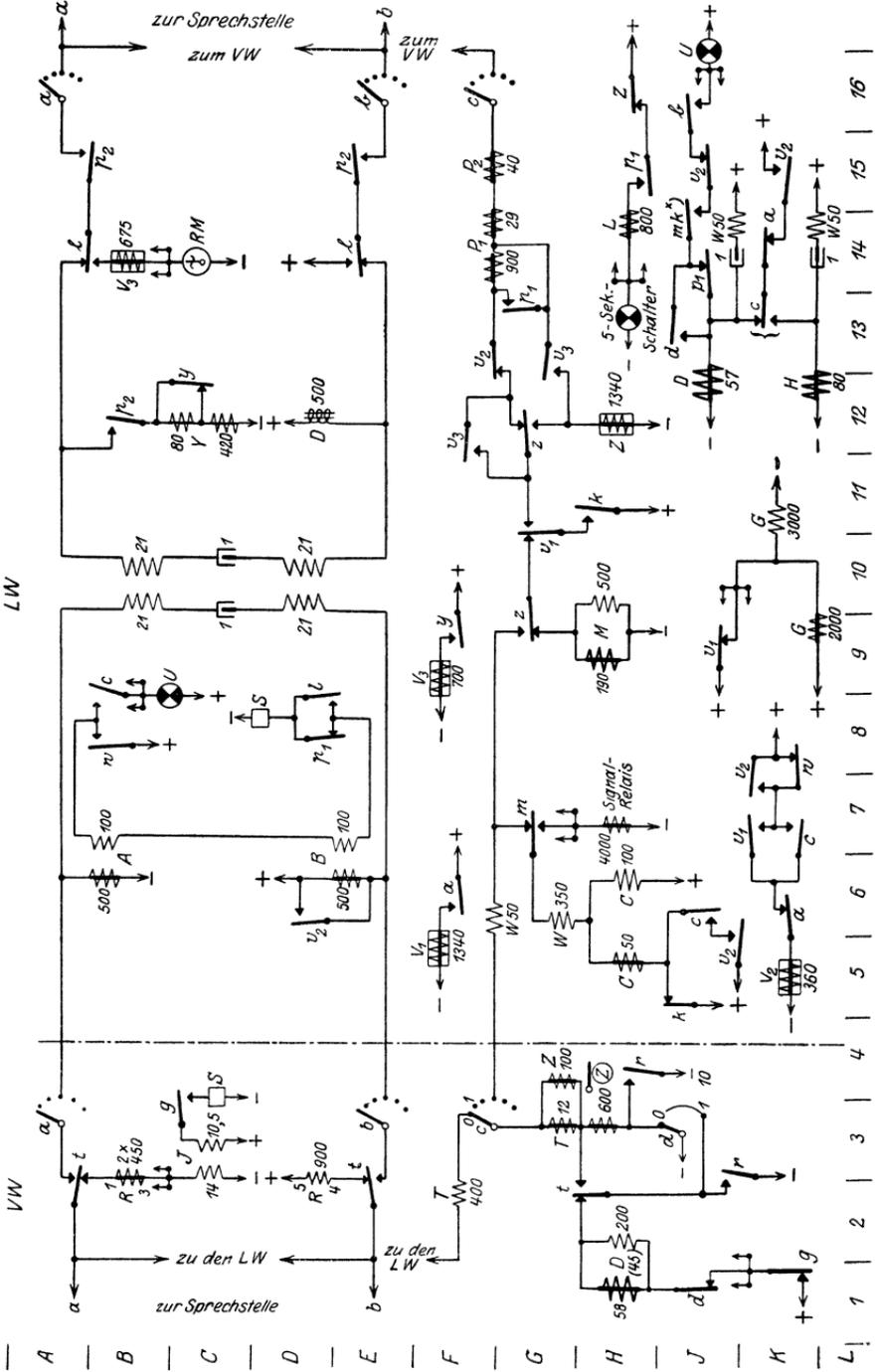
Abb. 1122. Leitungswählergestell (S & H).

2. *Tln. 1 wählt 3.* I. GW steigt auf 3. Höhenschritt, dreht selbsttätig ein, bleibt stehen, wenn er freien II. GW gefunden hat. (Ist kein freier II. GW erreichbar, dreht er durch (1846) und übermitteln Tln. 1 das Besetztszeichen.) II. GW wird gesperrt.

3. *Tln. 1 wählt 4.* II. GW steigt auf 4. Höhenschritt, dreht selbsttätig ein, bleibt stehen, wenn er freien LW gefunden hat. (Ist kein freier LW erreichbar, dreht er durch und übermitteln Tln. 1 das Besetztszeichen.) LW wird gesperrt.

Fernsprechwesen.

702



4. Tln. 1 wählt 7. LW steigt auf 7. Höhenschritt.
5. Tln. 1 wählt 1. LW dreht auf 1. Drehschritt, prüft Leitung des Tln. 2 auf Freisein. Ist sie besetzt, übermittelt er Tln. 1 das Besetzzeichen. Andernfalls sperrt er sie für andere Anrufe und entsendet zum Tln. 2 Rufstrom, zum Tln. 1 das Freizeichen (unter Umständen wiederholt).
6. Tln. 2 nimmt Hörer ab. Gespräch. Rufstrom und Freizeichen werden nicht weiter entsandt, Leitungen des Tln. 1 und des Tln. 2 sind verbunden. I. GW führt dem Tln. 1, LW dem Tln. 2 Speisestrom zu.
7. Tln. 1 hängt Hörer an. LW veranlaßt Zählung, I. VW, I. und II. GW werden ausgelöst (g. F. II. VW wird für anderweitige Belegung frei).
8. Tln. 2 hängt Hörer an. LW wird ausgelöst.

(1823) Sprechstellen. Abb. 1123 zeigt den Stromlauf eines Fernsprechhauses SA 24. Bei ruhendem Hörer ist für Wechselstrom zwischen dem *a*- und *b*-Zweig der Anschlußleitung ein Weg über den Impulskontakt *nsi* der NS, den Kondensator und *W* vorhanden. Bei abgenommenem Hörer fließt aus der am *a*-Zweig liegenden Amtsbatterie Gleichstrom über *nsi*, *M*, *J*, *U* und den *b*-Zweig zum Amte und dort zur Erde;

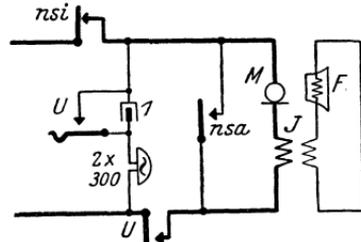


Abb. 1123. Fernsprechhäuse. Schaltbild.

Relais oder Magnet	Wicklung	Viereck	Kontakt	Viereck	Kontakt	Viereck	Kontakt	
<i>V</i> ₃	700 675	<i>F</i> 9 <i>B</i> 14	<i>a</i> <i>a</i>	<i>F</i> 11,12 <i>G</i> 12,13	<i>a</i> <i>a</i>	<i>F</i> 9 <i>B</i> 14	<i>a</i> <i>a</i>	
<i>P</i> ₁	29 900	<i>F</i> 14 <i>F</i> 14	<i>a</i> <i>a</i> <i>a</i> <i>a</i>	<i>G</i> 13 <i>H</i> 15 <i>D</i> E 8 <i>J</i> 14	<i>a</i> <i>a</i> <i>a</i> <i>a</i>	<i>F</i> 14 <i>F</i> 14	<i>a</i> <i>a</i> <i>a</i> <i>a</i>	
<i>P</i> ₂	40	<i>F</i> 15	<i>a</i> <i>a</i>	<i>A</i> B 12 <i>E</i> 15	<i>a</i> <i>a</i>	<i>F</i> 15	<i>a</i> <i>a</i>	
<i>Y</i>	80 420	<i>B</i> C 12 <i>C</i> 12	<i>a</i> <i>a</i>	<i>F</i> 9 <i>C</i> 12	<i>a</i> <i>a</i>	<i>B</i> C 12 <i>C</i> 12	<i>a</i> <i>a</i>	
<i>L</i>	800	<i>H</i> 14	<i>a</i> <i>a</i> <i>a</i> <i>a</i>	<i>D</i> E 8 <i>A</i> B 14 <i>E</i> 14	<i>a</i> <i>a</i> <i>a</i> <i>a</i>	<i>H</i> 14	<i>a</i> <i>a</i> <i>a</i> <i>a</i>	
<i>Z</i>	1340	<i>H</i> 12	<i>a</i> <i>a</i> <i>a</i> <i>a</i>	<i>H</i> 16	<i>a</i> <i>a</i> <i>a</i> <i>a</i>	<i>H</i> 12	<i>a</i> <i>a</i> <i>a</i> <i>a</i>	
<i>H</i>	80	<i>K</i> L 12	<i>a</i> <i>a</i> <i>a</i> <i>a</i>	<i>J</i> 6 <i>K</i> 7 <i>B</i> 8,9 <i>K</i> 13	<i>a</i> <i>a</i> <i>a</i> <i>a</i>	<i>K</i> L 12	<i>a</i> <i>a</i> <i>a</i> <i>a</i>	
<i>D</i>	57	<i>J</i> 12	<i>a</i> <i>a</i> <i>a</i> <i>a</i>	<i>J</i> 12	<i>a</i> <i>a</i> <i>a</i> <i>a</i>	<i>J</i> 12	<i>a</i> <i>a</i> <i>a</i> <i>a</i>	
<i>M</i>	190 500	<i>H</i> 9,10 <i>H</i> 9,10	<i>a</i> <i>a</i> <i>a</i> <i>a</i>	<i>M</i>	<i>a</i> <i>a</i> <i>a</i> <i>a</i>	<i>H</i> 9,10 <i>H</i> 9,10	<i>a</i> <i>a</i> <i>a</i> <i>a</i>	
				Kopfkontakt <i>k</i>				
				Wellenkontakt <i>w</i>				
<i>G</i>	2000 3000	<i>K</i> L 9 <i>K</i> 11	<i>a</i> <i>a</i> <i>a</i> <i>a</i>	<i>C</i> 3 <i>K</i> 1	<i>a</i> <i>a</i> <i>a</i> <i>a</i>	<i>K</i> L 9 <i>K</i> 11	<i>a</i> <i>a</i> <i>a</i> <i>a</i>	

Zu Abb. 1124. Kleines SA-Amt. Relaisübersicht.

	Vorwähler des 1. Tln.		Leitungswähler											Vorwähler des 2. Tln.				
	R	T	A	B	C	P ₁	P ₂	V ₁	V ₂	V ₃	Y	L	Z	R	T			
	Relais																	
1.	Tln. 1 nimmt Hörer ab																	
2.	LW wird belegt																	
3.	Tln. 1 wählt Zehner																	
4.	Ruhe zwischen Zehner und Einer																	
5.	Tln. 1 wählt Einer																	
6.	Tln. 2 ist frei																	
7.	Tln. 2 meldet sich																	
8.	Gesprächszustand																	
9.	Beide Tln hängen Hörer an																	
7a	Tln. 2 ist besetzt																	
8a	Tln. 1 hängt Hörer an																	

Zu Abb. 1124. Kleines SA-Amt. Betriebsvorgänge.

über J ist F angeschaltet. Um Unterbrechungen des Gleichstroms im Mikro-phon (beim Hinlegen des Handhörers) zu vermeiden, ist zwischen dem a - und b -Zweig noch eine Brücke über U und W vorhanden. Beim Aufziehen und beim Ablauf der NS ist die Sprechstelleneinrichtung — abgesehen von nsi — über nsa und U kurzgeschlossen. Beim Ablauf der NS wird der a -Zweig bei nsi der eingestellten Ziffer entsprechend oft unterbrochen. Wegen der Schaltung für Sprechstellen mit Nebenanschlüssen vgl. (1828), (1959) u. f.

(1824) Kleines SA-Amt. Schaltvorgänge. Ein Tln. eines Amtes bis zu 100 Anschlüssen (kleines Amt) ruft Tln. 57 an (Abb. 1124).

Im Vorwähler des anrufenden Anschlusses liegt der a -Zweig über t , $R 2 \times 450$ (1828), $J 14$ an Spannung, der b -Zweig über t , $Rw 900$ an Erde. Wird der Hörer abgenommen (vgl. Abb. 1123), so wird das Anrufrelais R erregt ($-$, $J 14$, $R 2 \times$

450 , t , a -Zweig, nsi , $\frac{M, J}{U, W}$, b -Zweig, t , $Rw 900$, $+$); r bringt den Drehmagnet D

zum Ansprechen ($-$, r , t , $\frac{D 58}{Dw 200}^1$, d^2), g , $+$). D arbeitet nun mit Selbstunterbrechung und dreht die Schaltachse schrittweise.

[Wenn alle LW bereits belegt sind, wird das für das ganze VW-Gestell gemeinsame Abschalterelais G erregt ($-$, $Gw 3000$, $G 2000$, $+$), während es sonst über v_1 (gleichartige Abzweigungen führen zu allen LW) kurzgeschlossen ist. g unterbricht die Erdzuleitung für D , so daß der VW nicht anläuft. Ein zweiter Kontakt g schließt einen Stromkreis für den Besetztsummer ($-$, S , g , $J 10,5$, $+$). Der Summerstrom wird auf $J 14$ übertragen und gelangt über den a -Zweig zur Sprechstelle und über den b -Zweig zurück zur Erde.]

Sobald die Schaltarme auf einen zu einem freien LW führenden Schritt gelangt sind, spricht im VW das Prüferelais T und im LW das Relais C an ($-$, r , $T 600$, $\frac{T 12}{Z 400^3}$, c -Arm, c -Leitung zum LW, $w 50$, m , $w 350$, $\frac{C 50^4}{Cw 100}$,

$+$). Ein Kontakt von T unterbricht den Stromweg für D dauernd, so daß die Schaltachse zum Stillstand kommt, und legt Spannung an den Punkt zwischen $T 600$ und $T 12$. Stromweg für T jetzt: $-$, d -Arm, d -Schleifring, t , $\frac{T 12}{Z 100^3}$,

c -Arm, usw. Die beiden anderen Kontakte t schalten die Anschlußleitung zum a - und b -Arm durch, R fällt ab. Am a -Zweig der Anschlußleitung liegt nunmehr Spannung über $A 500$, am b -Zweig Erde über $B 500$. Diese Anordnung bildet die Speisebrücke für die anrufende Sprechstelle. Den Sprechströmen ist diese Brücke wegen der starken Drosselwirkung der Relais A und B versperrt, sie finden ihren Weg über die Erstwicklung des Übertragers (2×21 Ohm) und den Kondensator $1 \mu F$.

[Beim Aufdrehen des VW auf einen Schritt, der zu einem besetzten LW führt, wird T nicht erregt, da ihm ein niedriger Widerstand parallel geschaltet ist. In Abb. 1125⁵) ist der Vorgang dargestellt. Im oberen VW, der zuerst aufgedreht hatte, ist nur die Wicklung des T -Relais zu 12 Ohm, beim unteren (prüfenden)

¹) Der bei Unterbrechung des Stromes in $D 58$ entstehende Selbstinduktionsstrom gleicht sich über $Dw 200$ aus, während er sonst an der Unterbrechungsstelle einen Funken bilden würde. $Dw 200$ dient also als Funkenschutz.

²) Der Ruhekontakt d wird durch ein auf den Anker des Drehmagnets aufgesetztes Unterbrecherpendel aufgeschnitten (1816).

³) Der Z durchfließende Zweigstrom ist zu schwach, um den Anker anzuziehen (vgl. S. 708).

⁴) C besitzt noch eine in der Zeichnung nicht dargestellte Kurzschlußwicklung (400 Ohm), ist also Verzögerungsrelais (1819). Ausnahmsweise ist hier die Verzögerung der Magnetisierung von Wichtigkeit. Die Verlangsamung dieser Arbeit soll dem T -Relais zugute kommen, damit dieses, um Doppelverbindungen zu verhindern, recht schnell anspricht.

⁵) Die oben erwähnte zweite Zuleitung zur Erde im LW über $C 50$, k ist unterbrochen, da in dem bereits eingestellten LW der Kopfkontakt in Arbeitsstellung ist.

VW sind beide Wicklungen des T -Relais (600 + 12 Ohm) eingeschaltet. Vom Gesamtstrom (0,118 A) entfällt auf das T -Relais des prüfenden VW nur ein Teilstrom von etwa 0,002 A, der zum Anziehen des Ankers nicht genügt.

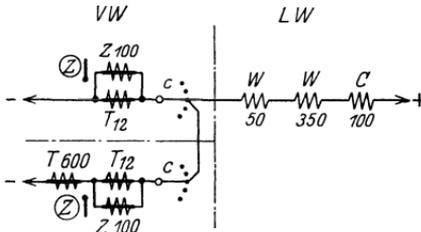


Abb. 1125. Besetztprüfen der Vorwähler.

Dem hochohmigen Prüferelais des prüfenden VW ist also das niedrigohmige Prüferelais des bereits eingestellten VW parallel geschaltet, so daß ersteres nur von einem zur Erregung nicht ausreichenden Teilstrom durchfließen wird. Derselbe Grundsatz wird bei fast allen vorkommenden Besetztprüfungen angewendet.]

Im LW werden außer C auch die Relais A und B erregt (—, A 500, a -Leitung zum VW, a -Arm, t , a -Zweig der Anschlußleitung, nsi , $\frac{M, J}{U, W}$, b -Zweig der Anschlußleitung, t , b -Arm, b -Leitung zum LW, B 500, +). c schließt einen Stromweg für das Amtszeichen (—, S , p_1 , B_1 100, A_1 100, c , U , +); durch U wird der Summerstrom gleichmäßig unterbrochen (1821; 1829, b). Der Summerstrom überträgt sich auf A 500 und B 500 und gelangt so zur Sprechstelle. a erregt das Verzögerungsrelais V_1 .

Der Tln. wählt nun die Zahl 5 (Zehner). Beim Aufziehen der NS wird der Kurzschlußkontakt nsa geschlossen, der M und J bis zum Ablauf der Scheibe überbrückt. Beim Ablauf der Scheibe unterbricht nsi fünfmal den a -Zweig der Anschlußleitung, so daß A im LW fünfmal auf kurze Zeit abfällt. Beim ersten Abfallen erregt a das Verzögerungsrelais V_2 (—, V_2 360, a , $\frac{v_1}{c}$, w , +), welches während der kurzen Pausen zwischen den einzelnen Stromstößen, in denen A wieder anspricht, nicht abfällt und erst nach Beendigung der Stromstoßreihe seinen Magnetismus verliert. Ferner erregt a fünfmal den Hebemagnet H (—, H 80, c , a , v_2 , +), welcher die Schaltwelle um 5 Schritte hebt. Beim ersten Höhengschritt wird der Kopfkontakt k umgeleitet und dadurch die Erde für C unterbrochen. C hält sich jedoch zunächst über c und v_2 und wird erst stromlos, wenn V_2 nach Beendigung der Stromstoßreihe abfällt. Damit wird das Amtszeichen abgeschaltet und der Stromweg für den Drehmagnet D vorbereitet. Während der Stromstoßgabe ist B durch v_2 kurzgeschlossen. Dadurch wird die Stromstärke für A vorübergehend erhöht, damit dieses wichtige Relais sehr genau den Stromstößen folgt. Hierfür ist auch die Kurzschließung des Mikrophons der anrufenden Stelle von Vorteil. Bei einem Widerstand von 200 Ohm für die Außenleitung und von 500 Ohm für das Mikrophon (mit Nebenschluß) ergibt sich eine Steigerung der Stromstärke von 0,035 A auf 0,086 A.

Der Tln. wählt jetzt die Zahl 7 (Einer). V_2 wird erneut erregt, D erhält 7 Stromstöße (—, D 57, c , a , v_2 , +) und dreht die Schaltarme auf die der verlangten Sprechstelle 57 zugeordneten Kontakte. Die Prüferelais P_1 und P_2 ¹⁾ prüfen jetzt, ob diese Leitung frei ist. Die Kontakte 57 des LW-Vielfachfeldes sind verbunden mit dem VW des Anschlusses 57; in Abb. 1124 sind die Pfeile beim LW „zum VW“ verbunden zu denken mit den Pfeilen beim VW „zu den LW“, und in der folgenden Betrachtung stellt der linke Teil der Zeichnung nun den VW 57 dar. Ist der Anschluß 57 frei, so ist der VW in Ruhestellung und die Relais P_1 und P_2 sprechen an (+, k , v_1 , z , v_2 , P_1 900 + 29, P_2 40, c -Arm, c -Leitung zum VW, T w 400, Schritt 0 des c -Armes, c -Arm, $\frac{T 12}{Z 100}$, T 600, Schritt 0

¹⁾ Beide Relais arbeiten gleichartig. Es müssen zwei Relais verwendet werden, da die erforderlichen Kontakte auf einem Relais nicht Platz haben.

des d -Armes, d -Arm, —). Im VW spricht T an. Dessen Kontakte schalten die Anschlußleitung von R ab; die Durchschaltung zum a - und b -Arm ist ohne Bedeutung, da diese auf Schritt 0 (ohne Weiterführung) stehen. Im LW wird P_1900 durch einen eigenen Arbeitskontakt kurzgeschlossen.

[Wenn Anschluß 57 besetzt ist, so sind zwei Fälle zu unterscheiden:

a) Tln. 57 hat angerufen. Der VW 57 steht auf einem der Drehschritte 1 bis 10. P_1 und P_2 können nicht ansprechen, da ihr Stromweg bei Schritt 0 des c -Armes im VW 57 unterbrochen ist.

b) Tln. 57 ist angerufen worden. Den Prüfrelais $P_1900 + 29$ und P_240 sind die Prüfrelais P_129 und P_240 des LW, der bereits auf Anschlußleitung 57 eingestellt war, parallelgeschaltet (Abb. 1126); der geringe Zweigstrom bringt die Relais nicht zum Ansprechen.

Dem anrufenden Tln. wird das Besetzzeichen übermittelt (—, $S, p_1, Bi100, Ai100$, Wellenkontakt w , +); das Besetzzeichen überträgt sich auf $A500$ und $B500$ und die Anschlußleitung des anrufenden Tln.]

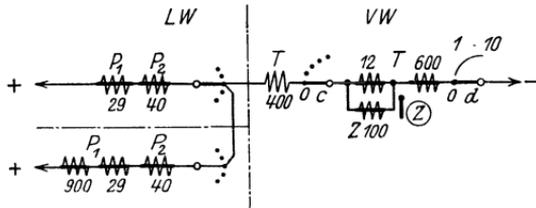


Abb. 1126. Besetzprüfen der Leitungswahler.

Zur Übersendung des Rufstroms schließt p_1 den Stromweg für das Läuterrelais L (—, 5-Sekunden-Schalter, $L800, p_1, z, +$); der 5-Sekunden-Schalter legt abwechselnd die Erde auf 1 s an und schaltet sie auf 4 s ab (1829, a), so daß L im gleichen Zeitmaß anspricht. Beim jedesmaligen Ansprechen von L geht Rufstrom ab (—, RM, V_3675^1), l, p_2, a -Arm, a -Zweig der Anschlußleitung, nsi , Kondensator, W, b -Zweig der Anschlußleitung, b -Arm, $p_2, l, +$); gleichzeitig erhält der anrufende Tln. das Freizeichen (—, $S, l, Bi100, Ai100, w, +$).

Nimmt Tln. 57 den Hörer ab, so sind zwei Fälle möglich.

a) L ist gerade stromlos. Y spricht an (—, $Y420^2$), y, p_2, l, p_2, a -Arm, a -Zweig der Anschlußleitung, $nsi, \frac{M, J}{U, W}$, b -Zweig der Anschlußleitung, b -Arm, $p_2, l, D500, +$). $Y420 + 80$ und $D500$ bilden die Speisebrücke für die angerufene Sprechstelle. Y erregt V_3 (—, $V_3700, y, +$) und dieses Z (—, $Z1340, v_3, p_1, v_2, v_3, v_1, k, +$); nach dem Ansprechen von Z verläuft die Erdverbindung für P_2 und P_1 sowie für Z über z, v_1, k . Ferner unterbricht z den Stromweg für L , so daß Rufstrom und Freizeichen nicht mehr abgehen können.

b) L ist gerade erregt. Die im Rufstromkreise liegende Wicklung zu 675 Ohm des Relais V_3 wird beim Abnehmen des Hörers durch Gleichstrom erregt. Z spricht an und macht L stromlos. Dadurch wird der Rufstrom abgeschaltet, ehe der Tln. den Fernhörer zum Ohre gebracht hat. Y spricht an.

¹⁾ V_3 spricht infolge seiner Kupfermanteldämpfung auf Wechselstrom nicht an.

²⁾ Die Wicklung $Y80$ ist, solange das Relais nicht unter Strom steht, kurzgeschlossen und wirkt als Verzögerungswicklung, und zwar kommt es hier wieder auf die (geringe) Verzögerung beim Ansprechen des Relais an. Beim Arbeiten von L wird für die künftige Speisebrücke (—, $Y420, y$ am a -Zweig; +, $D500$ am b -Zweig) abwechselnd eine Verbindung zum Kondensator der Sprechstelle hergestellt und wieder getrennt. Durch die Verzögerungswicklung wird verhindert, daß Y beim Abfallen von L auf die kurzen Kondensatorausgleichströme anspricht, Z erregt und damit zu Unrecht die Gesprächszählung vorbereitet.

Das Gespräch geht nunmehr über den Übertrager vonstatten. Nach Gesprächsschluß sind zwei Fälle zu unterscheiden.

a) Der anrufende Tln. hängt zuerst an. Die Speiserelais *A* und *B* fallen ab, infolgedessen auch V_1 . Jetzt erfolgt die Zählung dadurch, daß die

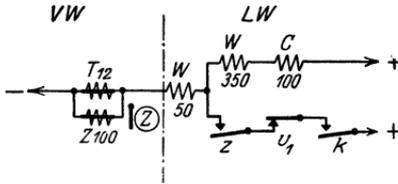


Abb. 1127. Gesprächszählung.

Widerstände w 350 und Cw 100 in der Erdleitung der *c*-Leitung vom VW kurzgeschlossen werden (Abb. 1127; *z* und *k* in Arbeits-, v_1 in Ruhelage). Der *Z* im VW durchfließende Zweigstrom steigt dadurch von 0,013 A auf 0,106 A an. Der Zähler, der zum Ansprechen eine Mindeststromstärke von rund 0,040 A braucht, wird also betätigt. Der Zählstrom fließt nur kurze Zeit. Denn beim Abfallen von V_1 wurde der Stromweg für *Z* unterbrochen, und, sobald dessen Anker (mit Verzögerung) in die Ruhelage zurückkehrt, wird der Kurzschluß für w 50 und Cw 100 wieder unterbrochen. Nunmehr wird der Auslösemagnet *M* erregt ($-, \frac{M 190}{Mw 500}$, *z*, v_1 , *k*, +), und die Schaltwelle des LW fällt in die Ruhelage zurück. Gleichzeitig unterbricht *m* den Stromweg für die *c*-Leitung vom VW, so daß *T* abfällt. Jetzt ist erneut ein Stromweg für *D* des VW geschlossen ($-, d$ -Arm, *d*-Schleifring, *t*, $\frac{Dw 58}{Dw 200}$, *d*, *g*, +), die Schaltwelle wird weitergedreht, bis der *d*-Arm auf den Schritt 0 gelangt. Damit ist die Spannung für *D* fortgenommen, und der VW bleibt in der Ruhelage stehen.

Beim Auslösen des LW haben dessen Schaltarme die Kontakte der Anschlußleitung 57 verlassen, im zugehörigen VW fällt deshalb *T* ab. Da der Tln. 57 den Hörer noch nicht angehängt hat, spricht *R* an, der VW läuft an und belegt einen freien LW, der dem Tln. das Amtszeichen übermittelt. Hängt der Tln. nun an, so kehrt sein VW in die Ruhelage zurück (1825, a).

b) Der angerufene Tln. hängt zuerst an. *Y*, V_3 und die Prüferelais P_1 und P_2 werden nacheinander stromlos (*A*, *B*, V_1 und *Z* bleiben erregt), ebenso fällt *T* im VW ab. Die Schaltarme des LW bleiben zwar auf den Kontakten der Anschlußleitung 57 stehen, ihre rückwärtige Verbindung ist jedoch unterbrochen. Der Tln. 57 ist also vollständig frei. Der anrufende Tln. erhält das Besetzzeichen ($-, S, p_1, Bi100, Ai100, w, +$). Hängt er an, so erfolgen Zählung und Auslösung, wie unter a) angegeben.

(1825) Vorzeitige Auslösung. a) Der anrufende Tln. hängt an, ohne gewählt zu haben. Im LW werden *A* und *B* stromlos, dagegen nicht ohne weiteres *C* sowie *T* im VW. Vielmehr wird beim Abfallen von *A* zunächst V_2 ($-, V_2 360, a, \frac{v_1}{c}, w, +$) und dadurch *H* ($-, H 80, c, a, v_2, +$) erregt. Die Schaltwelle wird um einen Schritt gehoben und der Kopfkontakt *k* umgelegt. Inzwischen ist V_1 abgefallen; *M* erhält jetzt Strom ($-, \frac{M 190}{Mw 500}$, *z*, v_1 , *k*, +) und trennt mit seinem Kontakt die *c*-Leitung vom VW auf.

b) Der anrufende Tln. hängt an, weil der angerufene Tln. nicht antwortet. *A* und *B* werden stromlos, nach kurzer Zeit V_1 . *M* spricht an, löst die Schaltwelle aus und trennt die *c*-Leitung vom VW auf.

Ebenso verläuft die Auslösung, wenn der anrufende Tln. nach dem Wählen der ersten Zahl anhängt. Jedoch wird in diesem Falle die Schaltwelle vorher um einen Schritt gedreht (*C* ist stromlos, weil *k* in Arbeitsstellung. V_2 spricht über *a*, den noch nicht abgefallenen v_1 -Kontakt und *w*, *D* über *c*, *a* und v_2 an).

Bei der vorzeitigen Auslösung unterbleibt die Zählung, weil Z , dessen Arbeitskontakt die Zählung bewirkt, nicht unter Strom kommt.

(1826) Verzögerungsrelais. V_1 , V_2 , V_3 und Z sind aus folgenden Gründen als Verzögerungsrelais (mit Kupfermantel) gebaut: V_1 soll bei kurzem Loslassen von A (bei der Stromstoßgabe sowie bei zufälligem kurzen Unterbrechen der Sprechschleife, z. B. beim Berühren der Schalter oder Stöpsel in Nebenstellen-schränken), V_2 bei kurzem Ansprechen von A (während einer Stromstoßreihe), V_3 bei kurzem Loslassen von Y (bei kurzem Unterbrechen der Sprechschleife) nicht abfallen. Z bewirkt in der Zeit vom Stromloswerden bis zum Abfallen des Ankers die Stromverstärkung für den Gesprächszähler; dafür ist eine gewisse Mindestdauer erforderlich.

Wegen der Benutzung des verzögerten Ansprechens bei C , Y und V_3 675 vgl. die Fußnoten auf S. 705 und 707.

(1827) Funkenlöschung. Da die Kraftmagnete der Wähler mit hohen Stromstärken arbeiten, müssen die Unterbrechungsstellen gegen Verbrennung infolge Öffnungsfunkens geschützt werden. Diesen sucht man dadurch zu unterdrücken, daß man dem entstehenden Selbstinduktionsstrom einen Ausgleichsweg schafft. Hierfür haben die Kraftmagnete D im VW und M parallel geschaltete Widerstandswicklungen, D im LW und H Wege zur Erde über einen Kondensator und einen Widerstand erhalten.

(1828) Nebenstellenspeisung. Bei Anschlüssen mit Nebenstellen muß Speisestrom nicht nur der zum Amte verbundenen Stelle, sondern auch den

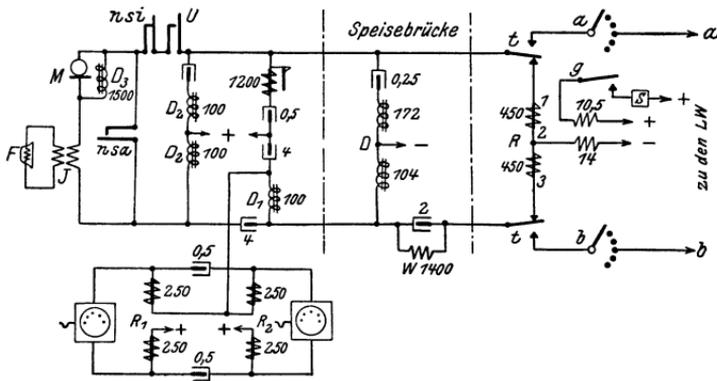


Abb. 1128. Nebenstellenspeisung.

untereinander sprechenden Stellen zugeführt werden. Da Speiseleitungen und örtliche Batterien teuer sind, legt man im Amte Spannung an beide Zweige der Anschlußleitung und benutzt den a -Zweig zur Speisung des Mikrophons der mit dem Amte verbundenen Stelle, den b -Zweig zur Speisung der Mikrophone der untereinander sprechenden Stellen (Abb. 1128). Auf dem Amte wird zwischen Leitung und SA-Einrichtung eine Speisebrücke (1950) geschaltet, welche Spannung für beide Seiten der b -Leitung, nach innen und nach außen, vermittelt. Ferner ist am R -Relais des VW eine Umschaltung nötig, die beim Vergleichen der Abb. 1124 und 1128 ersichtlich ist; zum besseren Verständnis sind die Lötstifte, an welchen die drei Wicklungen des Relais endigen, durch Ziffern bezeichnet. Es sind umzulegen die an Lötstift 3 liegende Zuführung (Spannung) an Lötstift 2, die an Lötstift 4 liegende Zuführung (b -Zweig) an Lötstift 3; die Widerstandswicklung 900 (Lötstift 4 und 5) bleibt unbenutzt.

Beide Zweige der Anschlußleitung sind in der Sprechstelle geerdet; die

Gleichstromvorgänge bei Verbindungen zum und vom Amte müssen sich deshalb über Einzelleitung (*a*-Zweig) abspielen. Die Sprechströme fließen dagegen über die Doppelleitung; die Brücken und die Zuleitungen zur Erde (Speisebrücke, Klappenschrank) sind ihnen durch Drosselspulen und durch die ebenfalls drosselnde Wicklung der Anrufklappe verriegelt. Untereinander sprechende Stellen des Tln. erhalten den Speisestrom auf folgendem Wege:

— (Speisebrücke), *D* 104, *b*-Leitung, D_1 100, $\frac{R_1 250, M, J, R_1 250}{R_2 250, M, J, R_2 250}$, +.

Beim Amtsanruf wird das *R*-Relais des VW auf folgendem Wege erregt: —, *R* 450, *t*, *a*-Leitung, *U*, *nsi*, $\frac{M}{D_3 1500}$, *J*, *D*₂ 100, +. Die zweite Wicklung von *R* bleibt stromlos, da keine Erde vorhanden ist (—, *R* 450, *t*, *b*-Zweig zur Speisebrücke, ω 1400, *D* 104, —). Nach Einstellung des VW auf einen freien LW spricht *A* über dieselbe Verbindung zur Erde an, wie zuvor *R* im VW. Beim Wählen wird *A* durch die Unterbrechung des Stromkreises bei *nsi* den eingestellten Zahlen entsprechend oft stromlos. Ebenso fällt *A* beim Anhängen des Hörers ab. Das *B*-Relais des LW bleibt während der ganzen Dauer der Verbindung unter Strom (+, *B* 500, *t*, *b*-Zweig zur Speisebrücke, ω 1400, *D* 104, —); der Unterschied gegenüber den gewöhnlichen Verhältnissen, wo *B* während der Stromstoßgabe stromlos wurde, ist ohne Belang, da Kontakte von *B* für die Steuerung des LW nicht benutzt werden.

Wenn die Stelle angerufen ist, so fließt der Speisestrom ebenfalls über die *a*-Leitung (—, *Y* 420 + 80, *p*₂, *l*, *p*₂, *a*-Leitung, *U*, *nsi*, $\frac{M}{D_3 1500}$, *J*, *D*₂ 100, +).

Für die Bedienung des Klappenschanks ergibt sich die Forderung, daß die Hauptstelle eingeschaltet bleibt, bis bei der Nebenstelle der Hörer abgenommen ist; andernfalls würde der Stromkreis für *Y* unterbrochen werden und infolgedessen Trennung eintreten.

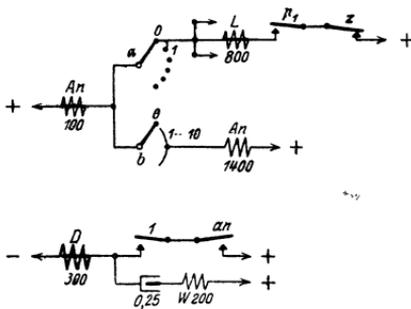


Abb. 1129. 5-Sekunden-Schalter.

(1829) **Hilfseinrichtungen.** a) Der 5-Sekunden-Schalter (Abb. 1129), der die Entsendung des Rufstroms und des Freizeichens regelt, besteht aus einem 10-teiligen Drehwähler mit zwei Schaltarmen *a* und *b*. Da die Schaltarme nur 2 Schritte in der Sekunde (10 Schritte in 5 Sekunden) machen, kann der Drehmagnet *D* mit geringer Stromstärke betrieben werden; seine Wicklung hat des-

halb 300 Ohm Widerstand. Der Schalter beginnt zu arbeiten, sobald ein LW sich auf eine freie Anschlußleitung eingestellt hat (*P*₁ in Arbeitslage); er kommt zum Stillstand, wenn der verlangte Tln. den Hörer abgenommen hat, wodurch *Z* unter Strom kommt. Beim Ansprechen von *P*₁ wird — außer *L* im LW — das Anlaßrelais *An* des 5-Sekunden-Schalters erregt (—, *An* 100, Arm *a*, *L* 800, *p*₁, *z*, +). *An* bereitet einen Stromweg für *D* vor, (—, *D* 300, 1, *an*, +). 1 ist der Arbeitskontakt eines Relais *I* des Unterbrechers (vgl. unter *b*); *I* ist abwechselnd $\frac{1}{4}$ Sekunde in Arbeits- und $\frac{1}{4}$ Sekunde in Ruhelage. *D* erhält also Stromstöße und dreht die Schaltwelle. In Stellung 1 bleiben *L* und *An* in gleicher Weise wie in Stellung 0 unter Strom; für *An* ist eine zweite Verbindung zur Erde über Arm *b*, Schleifring 1 bis 10, *Anw* 1400, vorhanden. In Stellung 2 bis 10 ist *L* stromlos, während *An* über Arm *b*, Schleifring 1 bis 10, *Anw* 1400 gehalten wird. Ist der Ruf inzwischen beantwortet, *z* also in Arbeitslage, bleibt der Schalter dann in Stellung 0 stehen, andernfalls arbeitet er weiter,

bis der Ruf beantwortet wird, oder bis der anrufende Tln. den Hörer anhängt (ϕ_1 stromlos).

b) Der ebenfalls einmal für das Gestell vorhandene Unterbrecher (Abb. 1130) besteht aus zwei Verzögerungsrelais *I* und *II*. Er tritt in Tätigkeit, sobald ein LW belegt worden ist (v_1 in Arbeitslage), und kommt zum Stillstand, wenn nach Beantwortung des Anrufs der 5-Sekunden-Schalter in die Ruhelage zurückgelangt ist (An stromlos). Ein für das Gestell einmal vorhandenes Relais *K* wird erregt, wenn ein LW belegt (v_1 in Arbeitslage), der Anruf aber noch nicht beantwortet ist (y in Ruhelage); *K* kommt ferner erneut unter Strom, wenn der zweite Tln. vor dem ersten Tln. den Hörer anhängt. Über k spricht *I* an (—, I w 1000, I 500, $\frac{k}{\text{(später) } an}$, +),

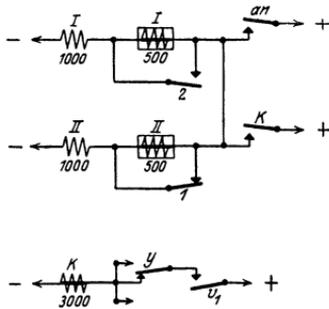


Abb. 1130. Unterbrecher.

sodann *II*, welches zuvor durch einen Ruhekontakt 1 kurzgeschlossen war. Ein Arbeitskontakt 2 überbrückt *I*, so daß dieses — mit einer Verzögerung von $\frac{1}{4}$ Sekunde — abfällt. Jetzt ist *II* kurzgeschlossen und fällt — ebenfalls mit einer Verzögerung von $\frac{1}{4}$ Sekunde — ab. Derselbe Vorgang wiederholt sich, bis *K* und An stromlos geworden sind. Drei Arbeitskontakte von *I* liefern die Stromunterbrechungen für den Summerstrom (Amtszeichen, S. 706) für das Weiterschalten des Drehmagnets *D* des LW beim Anruf von Mehrfachanschlüssen (1830) und für das Weiterschalten des Drehmagnets *D* des 5-Sekunden-Schalters (Abb. 1129).

c) Polwechsler. Der Polwechsler (Abb. 1131), der die Ruf- und die Summer-spannung liefert, läuft ebenfalls nur bei Bedarf (—, e , E 3000, k oder g , +); wegen der Arbeitsbedingungen für *K* vgl. oben unter b, für *G* vgl. S. 705. Der Magnet *E* arbeitet nachdem Prinzip des Wagner-schen Hammers, indem der eigene Kontakt e als Selbstunterbrecher wirkt; w 14000 schützt den Kontakt gegen Verbrennung. Über den Umschaltekontakt e fließen

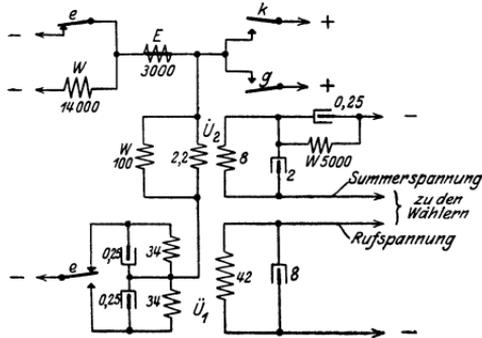


Abb. 1131. Polwechsler.

Stromstöße abwechselnd über die obere oder untere Hälfte (34 Ω) der Erstwicklung von \dot{U}_1 , sodann über $\frac{\dot{U}_2 2,2}{w 100}$, k oder g zur Erde. Die Stromstöße

verschiedener Richtung, welche die Hälften der Erstwicklung von \dot{U}_1 durchfließen, erzeugen in der Zweitwicklung den Rufstrom; die Gleichstromstöße, welche die Erstwicklung von \dot{U}_2 durchfließen, erzeugen in der Zweitwicklung den Summerstrom. Die zwei Kondensatoren zu 0,25 μF bei der Erstwicklung von \dot{U}_1 dienen als Funkenschutz für e , die Kondensatoren zu 8 und 2 μF sowie w 100 zur Abflachung von Spannungsspitzen, w 5000 als Weg für überlagerten Gleichstrom (1814).

d) Störungssignale. Folgende wichtigeren Störungen werden selbsttätig angezeigt (Abb. 1132):

1. Ansprechen der Abzeigsicherung (1821). Der Abzeigsicherung (6 A) ist ein Relais *GA* parallelgeschaltet. Im Regelfalle ist es durch die Sicherung kurzgeschlossen; ist die Sicherung infolge eines Kurzschlusses durchgebrannt, spricht es an (—, *GA* 2000, Kurzschlußstelle, +) und hält sich selbst

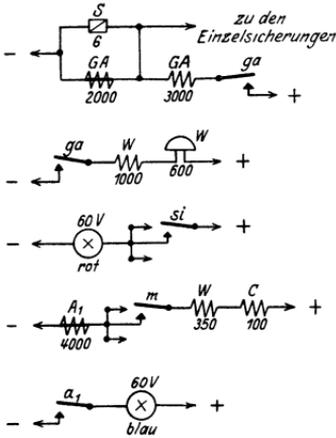


Abb. 1132. Störungssignale.

Anschiuß ausgesucht wird. Die Leitungen erhalten Anschlußnummern, die in derselben 10-Reihe liegen und im LW-Vielfachfeld aufeinander folgen (z. B. 41, 42, 43 oder 48, 49, 40); im Fernsprechbuch wird nur die erste Nummer als „Sammelnummer“ angegeben. Der LW, der auf eine Sammelnummer eingestellt

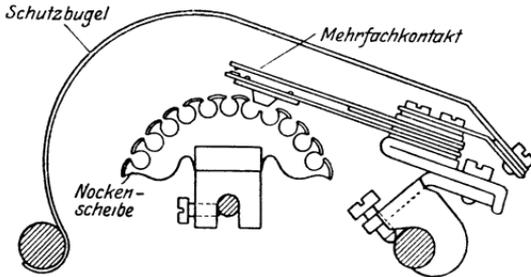


Abb. 1133. Mehrfachkontakt.

wird, dreht, falls der erste Einzelanschluß besetzt ist, die Schaltwelle selbsttätig weiter auf den nächsten Kontakt und g. F. auf die folgenden zur Sammelnummer gehörenden Kontakte; sind alle Einzelanschlüsse besetzt, so bleibt er auf dem letzten Kontakt stehen und übermittelt dem Anrufenden das Besetztzeichen. Zu diesem Zweck wird auf den LW eine aus zwei Teilen bestehende Zusatzeinrichtung (Abb. 1133) aufgesetzt. Der eine Teil, der eigentliche Mehrfachkontakt, wird auf den linken Kontaktbankträger des LW aufgeschoben und festgeschraubt; ein Schutzbügel, der mit seinem freien Ende unter den rechten Kontaktbankträgern geklemmt wird, schützt den Kontakt gegen Beschädigungen durch Vorübergehende. Der zweite Teil, die Nockenscheibe, die den Mehrfachkontakt mechanisch zu betätigen hat, besteht aus einem Kreis-sektor, der am Rande 12¹⁾

1) Da nur 10 Drehschritte vorhanden sind, würden 10 Nocken genügen.

Nocken trägt. Die Nockenscheibe wird auf die Schaltwelle seitlich aufgeschoben und festgeschraubt, und zwar in solcher Höhe, daß sie, wenn die Schaltwelle auf den die Sammelnummer enthaltenden Höhengriff gehoben ist, sich mit dem Mehrfachkontakt in derselben wagerechten Ebene befindet. Ferner ist die Nockenscheibe so befestigt, daß beim Eindrehen der Schaltwelle auf den ersten Drehschritt der erste Nocken und der Angriffspunkt des Mehrfachkontaktes in derselben senkrechten Ebene liegen. Wird der LW z. B. auf die Sammelnummer 41 (Einzelanschlüsse 41, 42, 43) eingestellt, so legt der erste Nocken den Mehrfachkontakt in die Arbeitslage um. Damit bietet sich für den Drehmagnet des LW (Abb. 1124) folgender Stromweg: —, D 57, p_1 , Mehrfachkontakt mk , v_2 , b , U^1), + (v_2 in Ruhe-, b in Arbeitsstellung). Ist die Anschlußleitung 41 frei, so hat beim Aufdrehen P_1 angesprochen und den genannten Stromweg unterbrochen. Ist die Leitung dagegen besetzt, so bleibt P_1 in Ruhelage, D erhält einen Stromstoß und dreht die Schaltwelle weiter auf Anschlußleitung 42. Diese wird, während U auf Unterbrechung steht, auf Freisein geprüft; g. F. gelangt die Schaltwelle, da mk durch den 2. Nocken umgelegt ist, weiter auf die Anschlußleitung 43. Ein Weiterdrehen muß nun vermieden werden, da die Schaltwelle sonst auf eine fremde Anschlußleitung gelangen würde; deshalb ist der dem letzten Einzelanschluß zugeordnete dritte Nocken zurückgebogen, so daß mk in die Ruhelage kommt und den Stromweg für D dauernd unterbricht. Der anrufende Tln. bekommt, wenn auch der letzte Einzelanschluß besetzt ist, in gewöhnlicher Weise das Besetztsymbol.

Auch der 4. bis 10. Nocken müssen zurückgebogen werden, es sei denn, daß in derselben 10-Reihe eine weitere Sammelnummer liegt. Wäre noch eine Sammelnummer 48 (Einzelanschlüsse 48, 49, 40) vorhanden, so wären alle Nocken mit Ausnahme des 1., 2., 8. und 9. zurückzubiegen.

Da bei kleinen Ämtern Mehrfachanschlüsse selten sind, genügt es, für zwei 10-Reihen die Möglichkeit der Belegung mit Sammelnummern zu schaffen. Dementsprechend werden in dem Zusatzteil von vornherein zwei Nockenscheiben vereinigt, die dann zwei aufeinanderfolgenden 10-Reihen entsprechen.

(1831) Großes SA-Amt. Allgemeines. Ämter bis zu 600 Anschlüssen erhalten in der Regel keine II. VW, die 10 Ausgänge der I. VW führen also unmittelbar zu GW. Bei größeren Ämtern werden die Ausgänge der I. VW gestaffelt (1807, 1843); es führen also beispielsweise die 4 ersten Schritte zu GW, die 6 letzten Schritte zu II. VW.

Für die folgende Schaltungsbeschreibung ist ein Amt bis zu 10000 Anschlüssen (vierstellige Anschlußziffern) als Beispiel angenommen; an Wählern sind also vorhanden: I. VW, II. VW, I. GW, II. GW und LW. Die für größere Ämter erforderlichen III. und gegebenenfalls IV. GW stimmen in der Schaltung und in der Wirkungsweise mit den II. GW überein.

S. 714 gibt eine Übersicht über das Ansprechen der den einzelnen Wählern zugeordneten Relais.

(1832) I. Vorwähler (Abb. 1134). Schaltung und Arbeiten entsprechen in der Hauptsache den Verhältnissen bei den kleinen Ämtern (1824). Die wirksame Wicklung des Anrufrelais R liegt im b -Zweige statt im a -Zweige der Anschlußleitung²⁾; zur Unterbrechung des Stromwegs für die Drehmagnete dient ein Relaisunterbrecher (1848, a).

Das Relais T prüft in folgender Weise auf Freisein:

a) Schritt 1 bis 4 (bei Ämtern ohne II. VW: Schritt 1 bis 10). Ist der mit dem erreichten Schritt verbundene I. GW (Abb. 1136) frei, so werden T im I. VW und C im I. GW erregt ($—$, r , T 600, $\frac{T}{Z100}$), c -Arm, c -Leitung zum I. GW,

¹⁾ U ist in Wirklichkeit ein Arbeitskontakt des Relais I des Unterbrechers (1829, b).
²⁾ Zweck: Erdschlüsse im a -Zweig bringen den I. VW nicht zum Anlaufen, werden vielmehr durch das Signalrelais LA (1848, d 11 γ) angezeigt.

	I. VW		II. VW ¹		I. GW							II. GW			LW							I. VW. d.2. Tln.				
	R	T	R	T	A	B	C	J	V ₁	V ₂	P	Z	A	B	C	P	A	B	C	P	F	G	Q	U	T	
1	1. Tln. nimmt Hörer ab																									
2	I. VW belegt I. GW oder II. VW																									
2a	II. VW belegt I. GW																									
3	1. Tln. wählt Tausender, I. GW hebt																									
4	I. GW dreht, prüft u. belegt II. GW																									
5	Pause																									
6	1. Tln. wählt Hundert, II. GW hebt																									
7	II. GW dreht, prüft u. belegt LW																									
8	Pause																									
9	1. Tln. wählt Zehner, LW hebt																									
10	Pause																									
11	1. Tln. wählt Einer, LW dreht																									
11a	LW dreht bei besetzter Leitung selbsttätig weiter ³																									
12	LW prüft, 2. Tln. ist frei																									
13	2. Tln. meldet sich																									
14	Gesprächszustand																									
15	1. Tln. hängt Hörer an (Gesprächszahlung)																									
16	2. Tln. hängt Hörer an																									
12a	2. Tln. ist besetzt Alle Leg. d. 2. Tln. sind ³																									
13a	1. Tln. hängt Hörer an																									

1 fällt fort, wenn Verbindung nicht über II. VW geht. 2 fällt unter 2 fort, wenn Verbindung über II. VW geht. 3 fällt bei Einzelanschlüssen fort. Großes SA-Amt. Betriebsvorgänge.

$\frac{C\ 350}{C\ 500}$, $w\ 300, k$
 $m, w\ 375 + 375$, +). Andernfalls spricht T nicht an, da es mit seinen zwei Wicklungen $600 + 12$ der $12\text{-}\Omega$ -Wicklung des T -Relais des bereits verbundenen I. VW parallel liegt (vgl. 1824, S. 706).

b) Schritt 5 bis 10. Ist der erreichte II. VW (Abb. 1135) frei, so werden T im I. VW und R im II. VW erregt ($-$, $r, T\ 600, \frac{T\ 12}{Z\ 100}$, c -Arm, c -Leitung zum

II. VW, $R\ 5, t, R\ 300$, Sperrtaste $T, g\ 5^1$), +). Andernfalls wie zu a);

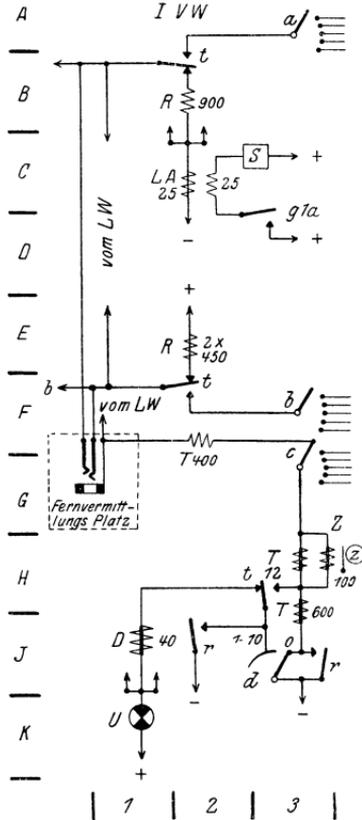


Abb. 1134. I. Vorwähler. Schaltbild.

(1833) II. Vorwähler (Abb. 1135). Als II. VW werden Drehwähler mit 15 Schritten (1816) verwendet. Eine Ruhestellung wie beim I. VW ist nicht vorhanden²⁾. Zur Kenntlichmachung belegter II. VW ist eine Besetztlampe BL vorhanden; die Besetztlampen können mittels des Schalters Sch ausgeschaltet werden. Die Sperrtaste T dient zur Außerbetriebsetzung gestörter oder nachzusehender Wähler.

Wird der II. VW belegt, so spricht R an (1832,b). Eine Drehbewegung des Wählers ist nicht erforderlich, wenn der I. GW, mit welchem die Arme verbunden sind, frei ist. In diesem Falle spricht sogleich T (außerdem C im I. GW) an

Relais oder Magnet	Wicklung	Viereck	Kontakte	Viereck
R	450	E 2	a	J 2
	450	E 2	a	J 3
	w 900	B 2		
T	600	H J 3	u	B 1,2
	12	H 3	u	F 1,2
	w 400	F 2	u	H 3
D	40	J 1	—	—
Z	100	H 3	—	—

Zu Abb. 1134. I. Vorwähler. Relaisübersicht.

($-$, d -Arm des I. VW, $t, \frac{T\ 12}{Z\ 100}$, c -Arm, c -Leitung zum II. VW, $R\ 5, r, T\ 600 + 12$,

$\frac{C\ 350}{C\ 500}$, $w\ 300$, Kopfkontakt k
 c -Arm, c -Leitung zum I. GW, $m, w\ 375 + 375$, +) und ver-

¹⁾ $G\ 5$ ist ein Abschaltrelais und in der Regel unter Strom (vgl. 1845).

²⁾ Daß der II. VW in der Ruhestellung mit einem I. GW verbunden ist, hat keine Bedeutung, da seine Schaltarme nach rückwärts isoliert sind (R und T in Ruhelage).

hindert, daß *D* unter Strom kommen kann¹⁾. Ferner schaltet *T* die Anschlußleitung zu den *a*- und *b*-Armen durch, betätigt die Besetztlampe *BL*, trennt *R* 500 ab und schließt seine 600-Ω-Wicklung kurz. *R* bleibt über die 5-Ω-Wicklung erregt. Ist der I. GW belegt, so erhält *D* Stromstöße (—, Signalrelais *UK* 0,5, *D* 40, *r*, *t*, *U*, +). Beim Erreichen eines freien I. GW spricht in der oben besprochenen Weise *T* an und unterbricht den Stromweg für *D*. Der Arbeitskontakt *d* führt *D* jedoch noch so lange Strom zu, bis *U* die Erde abtrennt. Damit wird sichergestellt, daß die Drehbewegung nicht etwa durch *t* unterbrochen wird, bevor die Arme des Wählers vollständig auf die Kontakte eingedreht sind. Beim Aufdrehen auf belegte Schritte ist *T* in üblicher Weise am Ansprechen verhindert.

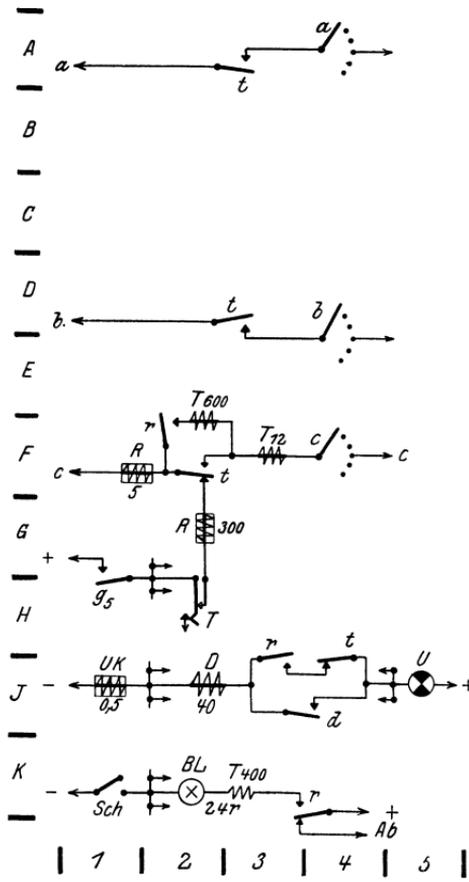


Abb. 1135. II. Vorwähler. Schaltbild.

(1834) I. Gruppenwähler

(Abb. 1136). Die beiden Zweige der Anschlußleitung sind zur Erstwicklung des Ringübertragers durchgeschaltet. Die Speisung des Mikrophons des 1. Tln. erfolgt über die Relais *A* und *B*. Beide sind erregt, ebenso *C*. Letzteres schließt einen Stromweg für seine dritte Wicklung sowie für *V*₁

(—, *A* w 40, *c*, *C* 150, *a*, $\frac{V_1 800^2}{J w 1300}$, +),

so daß *C* auch nach dem An-

Relais oder Magnet	Wicklung	Viereck	Kontakt	Viereck	Relais oder Magnet	Wicklung	Viereck	Kontakt	Viereck
R	5 300	F 1,2 G 2	a	F 2	T	600 12 w 400	EF 2 F 3 K 3	r	H J 4
			a	H J 3				u	F 2
D	40	J 2	a	J 3,4				a	A 2,3 D 2,3
G 5	—	—	a	GH 1	UK	0,5	J 1	—	—

Zu Abb. 1135. II. Vorwähler. Relaisübersicht.

¹⁾ Der Kontakt *r* zwischen *R* und *T* schließt früher als der Kontakt *r* im Stromwege von *D*.

²⁾ Der Nebenschluß zu *V*₁ 800 über *J* 4, *b*, *v*₂ ist bei *b*, während der Stromstoßgabe bei *v*₂ unterbrochen; über seine Wirkungsweise (Fernamtstrennung) vgl. (1875 c, β).

sprechen des Kopfkontaktes k gehalten wird. Der anrufende Tln. erhält das Amtszeichen (+, S, Kopfkontakt k , A 100, B 100, b , i , +). Beim erstmaligen Ablauf der NS muß der Hebemagnet H die entsprechende Zahl von Stromstößen erhalten. Es werde die Zahl 4 eingestellt. Die Relais A und B ¹⁾ werden viermal auf kurze Zeit stromlos. Beim erstmaligen Abfallen von A wird das vorher kurzgeschlossene Relais V_2 erregt ($-$, A w 40, c , a , V_2 700, $\frac{V_1}{Jw} \frac{800}{1300}$, +). Nach dem ersten Stromstoß wird es zwar wieder kurzgeschlossen, erhält aber dann während des zweiten Stromstoßes erneut Strom. Als Verzögerungsrelais (bei Kurzschließung) hält es somit seinen Anker während der Stromstoßreihe in Arbeitslage. Ebenso bleibt die vorübergehende Kurzschließung von C 150 ohne Wirkung. Während jedes Stromstoßes wird J erregt ($-$, J 500, a , v_1 , +) und betätigt H ($-$, Signalrelais WK 2, H 60, Wellenkontakt w , $\frac{V_2}{i} \frac{5, i}{i, b^2}$, +); die Schaltwelle wird auf den 4. Schritt gehoben. Beim Umlegen des Kopfkontaktes wird das Amtszeichen abgeschaltet und der Stromweg für $\frac{C}{C} \frac{350}{500}$ unterbrochen. C bleibt über C 150 gebunden, die c -Leitung vom I. VW über m , w 375 + 375 geerdet.

Der I. GW muß jetzt in freier Wahl eindrehen und stehenbleiben, sobald er einen zu einem freien II. GW (bei Ämtern bis zu 1000 Anschlüssen: LW) führenden Schritt erreicht hat. Zu diesem Zweck muß der Drehmagnet D Stromstöße erhalten. D wird erregt, sobald V_2 abgefallen ist ($-$, WK 2, D 60, i , v_1 , v_2 , p , Kopfkontakt k , +). Beim Ansprechen dreht D die Schaltwelle um einen Schritt; ferner erhält J Strom ($-$, J 500, d , +) und unterbricht den Stromweg für D . Nach dem Abfallen von D wird J stromlos, und das Wechselspiel zwischen D und J beginnt von neuem. Wenn ein freier II. GW (Abb. 1137) gefunden ist, spricht das Prüfrelais P an (+, P 1000, v_1 , P 60, c -Arm, c -Leitung zum II. GW, Kopfkontakt k , C w 400, C 150, A w 50, $-$) und unterbricht den Stromweg für D dauernd. Das vollständige Aufdrehen der Schaltarme ist wie beim II. VW durch d sichergestellt. P 1000 wird nach dem Ansprechen kurzgeschlossen (über p , k , +); damit wird in der üblichen Weise verhindert, daß ein anderer I. GW sich auf denselben II. GW einstellen kann. Die Zweitwicklung des Übertragers ist jetzt über den a - und b -Arm zum II. GW durchgeschaltet; die Gleichstromabzweigungen sind abgeschaltet, da A und C erregt sind.

(1835) II. Gruppenwähler (Abb. 1137). Mit dem Ansprechen von C wird auch für C 1600 ein Stromweg geschaffen, so daß es auch nach dem Ansprechen des Kopfkontaktes unter Strom bleibt. Die an der a - und b -Leitung liegenden Relais A und B sind zunächst stromlos, da im I. GW kein Gleichstromweg vorhanden ist³⁾.

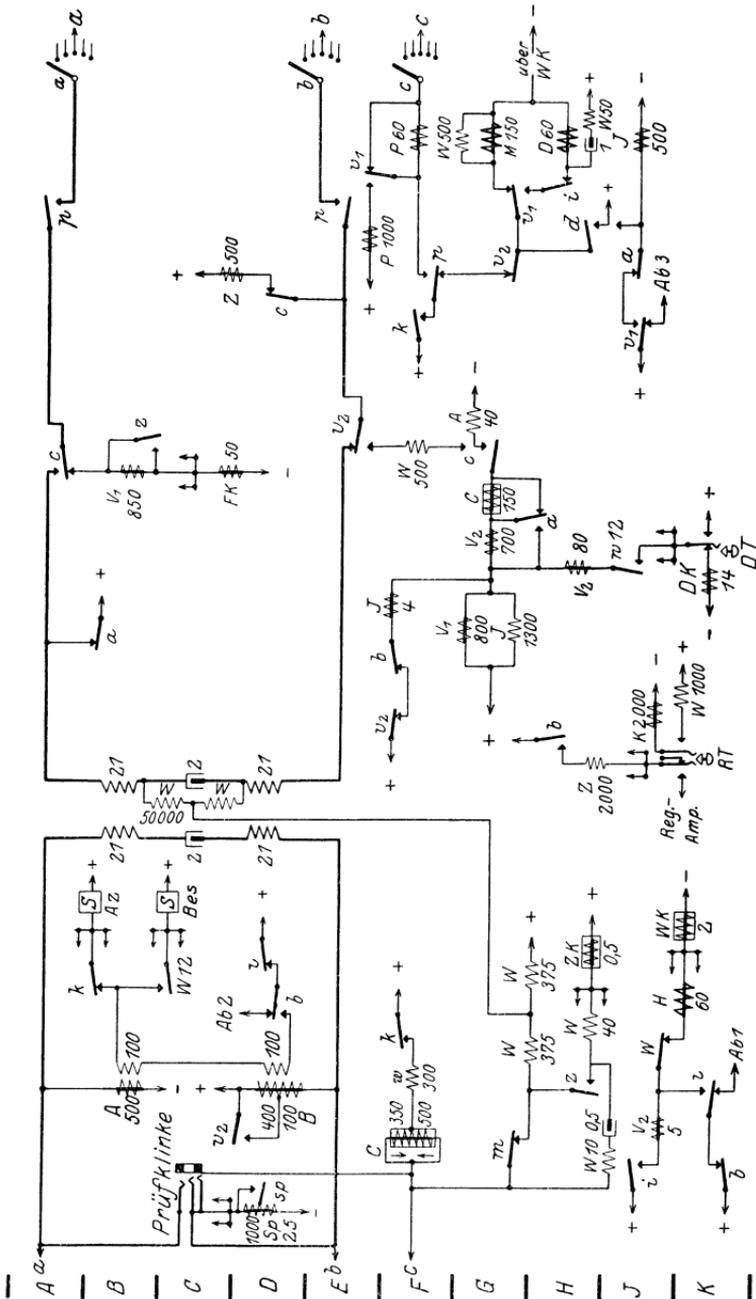
Der Tln. stellt jetzt die NS zum zweitenmal, etwa auf die Zahl 9, ein. Beim Ablauf fallen im I. GW A und B neunmal ab. Ferner wird V_2 für die Dauer der Stromstoßreihe erregt und setzt B im II. GW unter Strom ($-$, A w 40, c , w 500, v_2 , p , b -Arm, b -Leitung zum II. GW, p , B 1000, +). A im I. GW überträgt die 9 Stromstöße⁴⁾ nach dem II. GW hin, wo sie auf A wirken (+, a , c , p , a -Arm, a -Leitung zum II. GW, p , A 1000, $-$); dieses Relais beeinflußt H ($-$, H 60, Wellenkontakt w , a , +). Die Schaltwelle des II. GW wird auf den 9. Schritt gehoben. Nach Ablauf der NS werden im I. GW A und B wieder dauernd erregt, V_2 stromlos; im II. GW fallen A und B ab. Jetzt erhält D Strom ($-$, WK 2, D 60, c , a , b , p , Kopfkontakt k , +). Beim Ansprechen erregt es A und B ($-$,

¹⁾ Hat die anrufende Stelle Nebenstellenspeisung, so bleibt B während der Stromstoßgabe erregt.

²⁾ Hat die anrufende Stelle Nebenstellenspeisung, bleibt dieser Weg unterbrochen.

³⁾ Die Wege über w 50000 bleiben außer Betracht (vgl. 1841).

⁴⁾ G. F. werden die Stromstöße vom I. GW symmetrisch über beide Sprechadern weitergegeben, um eine Verzerrung durch Beeinflussung aus Starkstromleitungen zu verhüten.



A w 50, *c*, *A* 300, *B* 300, *d*, +). Deren Kontakte unterbrechen den Stromweg für *D* usw. Sobald ein freier LW erreicht ist (Abb. 1138), spricht *P* an (+, *P*1000+60, *c*, *c*-Arm, *c*-Leitung zum LW, II. 1¹), *C w* 200, *C* 200, —) und verhindert das weitere Ansprechen von *D*. *P* schließt ferner (für die Besetzprüfung) *P*1000 kurz (über *p*, *k*, +) und schaltet die Sprechleitungen unmittelbar durch zum *a*- und *b*-Arm und damit zum LW.

Bei Ämtern mit mehr als 10000 Anschlüssen prüft der II. GW nicht auf LW, sondern auf III. GW. Diese und ebenso etwaige IV. GW stimmen in der Schaltung und in der Arbeitsweise mit den II. GW überein.

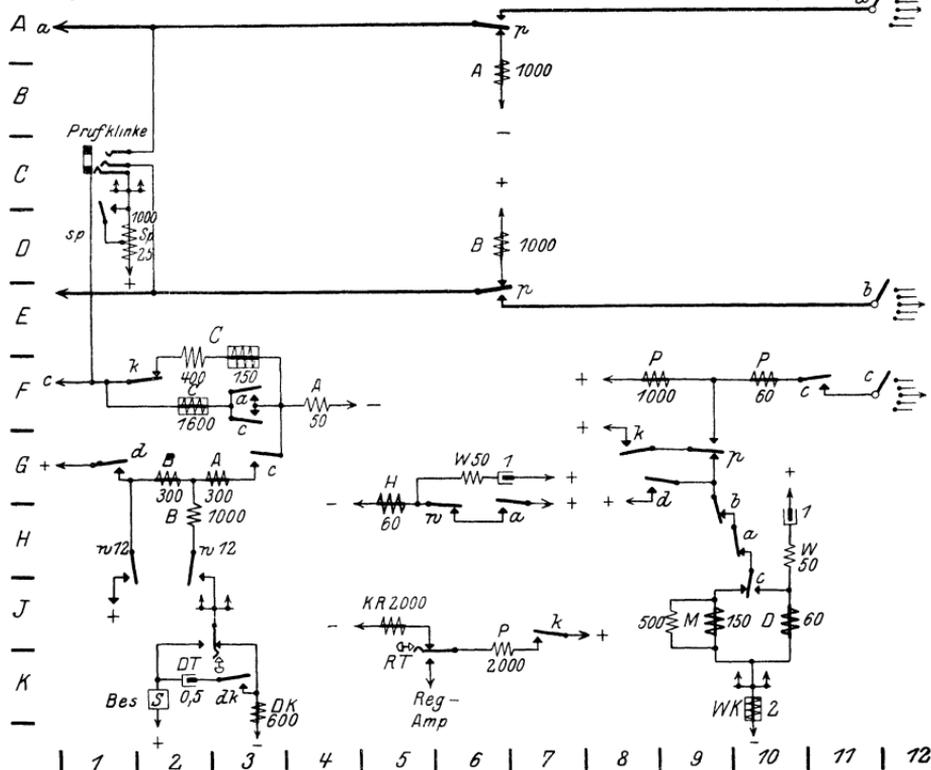
(1836) **Leitungswähler** (Abb. 1138). Im Relaisatz des LW ist ein Steuerschalter eingebaut, welcher die Aufgabe hat, zwischen je zwei Verbindungsvor-

Relais oder Magnet	Wicklung	Viereck	Kontakt	Viereck	Kontakt	Relais oder Magnet	Wicklung	Viereck	Kontakt	Viereck	Kontakt
A	500	B3	r	B9 GH10 J14	r	V ₁	800	G 9	u	J 13	u
	† 100 w 40	B3 G12	u r				850	B11			
B	400	D3	r	K1,2 H7 F8,9 D4	r	P	1000	E14	a	A14,15 E14,15 F13,14	a
	100 † 100		60				F15,16	u			
C	500	F2	u	A11 G11 D13,14	u	Z	500	CD14	a	H3 B11,12	a
	350 150	F2 G10,11	zw r				w 2000	H7			
J	500	J15,16	a	J1,2 D4,5 H15 K2,3	a	M	150	G15,16	r	G2	r
	4 w 1300	EF9 G9	r u				w 500	FG15,16			
V2	700	G10	a	D2 E7,8 G14 E11,12	a	Wellenkontakt	Kopfkontakt <i>k</i>		r	J3	r
	80 5	H10 J2	r u				Wellenkontakt <i>w</i>				
ZK	0,5	H4,5	—	—	—	FK	50	CD11	—	—	—
WK	2	JK5	—	—	—		Drehdrehtkontakt <i>w</i> 12	—	—	—	—
K	2000	J7,8	—	—	—	Sp	1000	D1	a	D1	a
	14	K9,10	—	—	—		25	D1			

Zu Abb. 1136. I. Gruppenwähler. Relaisübersicht.

gängen eine Anzahl von Stromkreisen umzuschalten. Als Steuerschalter (in Abb. 1120 sichtbar) wird ein 10teiliger Drehwähler (nach Art des I. VW) verwendet; er hat jedoch 5 Schaltarme und 5 Kontaktkränze. Die einzelnen Kontakte der Kränze bestehen aus zwei Blechen, welche durch eine Isolierzwischenlage getrennt sind (Abb. 1139); die Stromzuführung für die Schaltarme fehlt. Die beiden Kontaktbleche (mit den Stromzuführungen *m* und *n*) sind für gewöhnlich voneinander isoliert; sie werden miteinander verbunden, wenn der Schaltarm auf sie aufdreht. Die Schaltarme sind nachstehend mit römischen

¹) Arm II des Steuerschalters Schritt 1 (1836).



Relais oder Magnet	Wicklung	Viereck	Kontakt	Viereck	Relais oder Magnet	Wicklung	Viereck	Kontakt	Viereck
A	1000	B 6,7	a	F 3	P	1000	F 8,9	u	A 6,7
	300	G 2,3	a	GH 6,7		60	F 10	u	E 6,7
	w 50	F 4	r	H 10		w 2000	JK 6,7	u	G 9
B	1000	D 6,7	r	GH 9	H	60	GH 5	—	—
	300	G 2			D	60	J 10	a	G 1
C	1600	F 2	a	F 3	Kopikontakt k			a	J 7
	150	EF 3	a	G 3				a	G 8
	w 400	EF 2	u	HJ 10	r	F 2			
M	150	J 9	—	—	Durchdrehkontakt w 12			a	HJ 1,2
	w 500	J 9	—	—				a	HJ 2
Sp	1000	D 1,2	a	CD 1	WK	2	K 10	—	—
DK	600	K 3	a	K 3	KR	2000	J 5	—	—

Abb. 1137. II. (III./IV.) Gruppenwähler. Schaltbild und Relaisübersicht.

Zahlen, die Schritte mit arabischen Zahlen bezeichnet. In den Abbildungen sind die beiden Kontaktbleche als gegenüberstehende Punkte dargestellt; z. B. sind die mit *II. 1* bezeichneten Punkte als (über Arm *II*) miteinander verbunden zu denken, wenn der Steuerschalter auf Schritt 1 steht. Abweichend vom I. VW bezeichnet man die Ruhstellung des Steuerschalters als Schritt 1, die 10 Drehschritte als Schritte 2 bis 11.

Die Wefterschaltung des Steuerschalters besorgt der Drehmagnet *S*. Er wird im Bedarfsfalle erregt über einen Arbeitskontakt des Fortschalterrelais *F* (—, *WK 2*, *S 55*, *f*, +). Sobald *S* seinen Anker angezogen hat, schließt sein Arbeitskontakt *F* kurz; dieses fällt ab — infolge des parallelgeschalteten *F w 200* mit Verzögerung — und unterbricht den Stromweg für *S*. Dadurch ist sichergestellt, daß *S* immer nur kurze Zeit unter Strom bleibt.

Nachdem beim Belegen des LW (Steuerschalter in Stellung 1) *C* erregt worden ist, wird für die *c*-Leitung ein zweiter Weg zur Spannung geschlossen (über *c*, *C 1600*, *C w 200*, *C 200*, —), so daß *C* gebunden bleibt, wenn der Steuerschalter die Stellung 1 (Ruhstellung, Heben) verläßt. Die an der *a*- und *b*-Leitung liegenden Relais *A* und *B* (*a*-Leitung, *III. 1*, *A 350 + 500*, *w 40*, —; *b*-Leitung, *IV. 1*, *B 350 + 500*, +) sind zunächst stromlos, da im I. GW kein Gleichstromweg vorhanden ist.

Der Tln. wählt jetzt den Zehner, etwa 5. Im I. GW treten dieselben Vorgänge ein, wie bei Betätigung des II. GW (1835). *V*₂ erregt für die Dauer der Stromstoßreihe *B* im LW, der fünfmal abfallende Ruhkontakt *a* bringt ebensooft *A* im LW zum Ansprechen. Dieses wirkt auf den Hebemagnet *H* (—, *H 60*, *V. 1*, *a*, *p*, +), die Schaltwelle wird auf den 5. Schritt gehoben. Nach Beendigung der Stromstoßreihe werden *A* und *B* stromlos und setzen *F* unter Strom (—, *WK 2*, *F w 250*, $\frac{F 100}{F w 200}$, *Q w 250*, Kopfkontakt *k*, *I. 1*, *a*, *b*, +), so daß der Steuerschalter in die Stellung 2 (Drehen) überführt wird. *A* und *B* bleiben an die *a*- und *b*-Leitung angeschaltet (jetzt über *III. 2* und *IV. 2*).

Nun wählt der Tln. den Einer, etwa 0. *V*₂ im I. GW erregt wieder *B* im LW, *A* im I. GW übermittelt 10 Stromstöße an *A* im LW. Dieses schließt ebensooft den Stromweg für den Drehmagnet *D* (—, *D 60*, *V. 2*, *a*, *p*, +). Die Schaltwelle wird auf den 10. Drehschritt eingestellt, und damit ist die verlangte Anschlußleitung erreicht. Nach Beendigung der Stromstoßreihe fallen *A* und *B* ab und durch Ansprechen von *F* (über *Q w 250*, Wellenkontakt *w*, *I. 2* *a*, *b*, +) gelangt der Steuerschalter weiter nach Stellung 3 (Rückprüfung¹⁾).

In dieser Stellung wird *F* sogleich aufs neue erregt (über *Q w 250*, *I. 3*, *a*, *b*, +), so daß der Steuerschalter nach Stellung 4 (Prüfen) weitergeht. Auch jetzt erhält *F* sogleich wieder Strom (über *Q w 250*, *II. 4*, *u*, *a*, +), der Steuerschalter erreicht Stellung 5 (Besetzzeichen). Die kurze Zeit, in der die Arme in Stellung 4 stehen, genügt jedoch, um die erreichte Anschlußleitung auf Freisein zu prüfen. Ist sie frei, so spricht das Prüfelrelais *P* an (+, *b*, *c*, *IV. 4*, *P 1000 + 40*, *c*-Arm, *c*-Leitung zum I. VW, *T w 400*, Schritt 0 des *c*-Armes, *c*-Arm, $\frac{T 12}{Z 100}$, *T 600*, Schritt 0 des *d*-Armes, *d*-Arm, —); *P 1000* wird kurzgeschlossen (über *p*, +). Ist die verlangte Anschlußleitung besetzt, kann *P* nicht ansprechen (vgl. S. 707); in Steuerschalterstellung 5 erhält der anrufende Teilnehmer dann das Besetzzeichen (+, *S*, *V. 5*, *A i 100*, *B i 100*, +).

Ist die Anschlußleitung frei, so wird *F* durch einen Arbeitskontakt von *P* sogleich wieder erregt (über *Q w 250*, *I. 5*, *p*, +), und der Steuerschalter geht nach Stellung 6 (Vorruf). Jetzt wird Rufstrom²⁾ entsandt (—, *R M*, Signalrelais *RK 400*,

¹⁾ Über den Zweck der Stellung 3 vgl. (1838, d).

²⁾ Sogenannter Vorruf oder erster Ruf im Gegensatz zu dem selbsttätig wiederholten Ruf (Steuerschalterstellung 7).

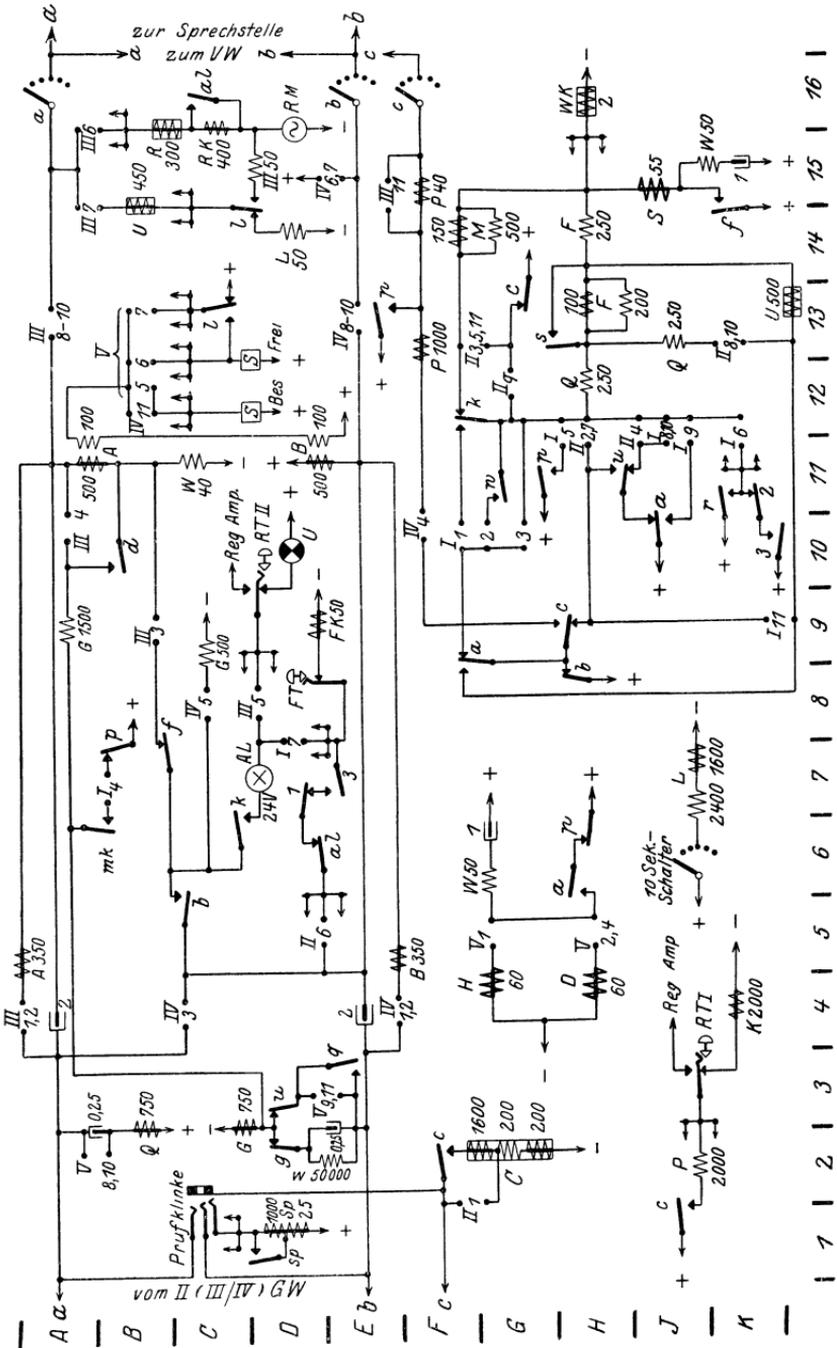


Abb. 1138. Leitungswähler. Schaltbild.

R 300¹⁾, III.6, a-Arm, a-Leitung zur Sprechstelle, Fernsprechgehäuse, b-Leitung, b-Arm, IV.6, +), bis F erneut Strom erhält (über Q w 250, I.6, Kontakte 2 [in Ruhestellung] und 3 [in Arbeitsstellung] des Langsamunterbrechers [1848, b], +) und den Steuerschalter nach Stellung 7 (Ruf) überführt. Jetzt wird der Ruf in bestimmten Abständen (1 s Ruf, 9 s Pause) wiederholt. Zu diesem Zweck wird das

Relais oder Magnet	Wicklung	Viereck	Kontakt	Viereck	Relais oder Magnet	Wicklung	Viereck	Kontakt	Viereck
A	500	AB 11	a	H 6	G	750	CD 2,3	r	D 2
	350	A 5	u	FG 8,9		w 500	C 9		
	i 100	AB 11,12	u	J 10,11		w 1500	A 9		
B	500	DE 11	a	C 5,6	Q	750	B 2,3	a	E 3
	350	EF 5	r	H 8		w 250	H 12		
	i 100	DE 11,12	r			w 250	J 13		
C	1600 200 w 200	FG 2 G 2 G 2	a	F 2	U	500 450	K 13 B 14,15	r	D 3
			a	J 1,2				u	H J 11
			r	G 13,14	H	60	G 4,5	—	—
			u	H 9				a	B 10
P	1000 40 w 2000	F 13 F 15 J 2	a	GH 11	S	55	J 15	a	H 13
			a	E 13				M	150 w 500
			r	H 6,7					
r	B 7,8								
F	100 w 200 w 250	H 13 H J 13 H 14	a	K 14,15	Kopfkontakt k		a	CD 6,7	
			r	BC 7,8	Wellenkontakt w		a	FG 12	
					Mehrfachkontakt mk		a	AB 6,7	
WK	2	H 16	—	—	I	—	—	r	D 7
FK	50	DE 9	—	—	II	—	—	r	K 10,11
Sp	1000 25	D 1 D 1	a	CD 1	III	w 50	D 15	a a	E 7 K 10
R	300	BC 15,16	a	K 10,11	K	2000	K 4	—	—
RK	400	C 15,16	—	—	L	1600 w 2400 w 50	J 7 J 7 D 14	u u	C 13 D 14,15
AL	—	—	a r	C 16 DE 6					

Zu Abb. 1138. Leitungswähler. Relaisübersicht.

für einen LW-Rahmen gemeinsame Relais L in jeder 10. Sekunde erregt (—, L 1600, L w 2400, 10-s-Schalter [1848, c], +), welches die Rufwiederholung besorgt (—, RM, III w 50, I, U 450, III.7, a-Arm, Anschlußleitung, b-Arm, IV.7, +). In den Pausen liegt an U über I, L w 50 nur die Gleichstromspannung. U spricht

¹⁾ R hat dieselben Aufgaben wie V₃ 675 im LW der kleinen Ämter (S. 707). Es spricht — auf Gleichstrom — an, wenn der 2. Tln. den Hörer abnimmt, solange der Steuerschalter noch in Stellung 6 steht. Ein Arbeitskontakt r setzt dann sogleich F unter Strom und bewirkt das Weitergehen des Steuerschalters.

infolge der Kupfermanteldämpfung auf den Rufstrom nicht an; es wird erregt, sobald der 2. Tln. den Hörer abnimmt (gleichgültig, ob L in Ruhe- oder in Arbeitsstellung sich befindet) und bringt durch Erregung von F (über Qw 250, II. 7, $u, a, +$) den Steuerschalter nach Stellung 8 (Sprechen). Abb. 1140 zeigt im Schaltungsauszug die Verbindung zwischen beiden Stellen.

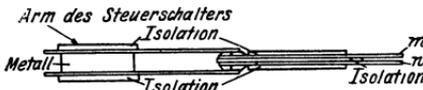


Abb. 1139. Steuerschalterarm.

(1837) **Zählung und Auslösung** (Abb. 1134 bis 1138). Es ist zu unterscheiden, ob der 1. oder der 2. Tln. zuerst den Hörer anhängt.

a) Der 1. Tln. hängt zuerst den Hörer an. Im I. GW fallen die Speisebübrückenrelais A und B ab. Durch a wird $C150$ kurzgeschlossen, der abfallende

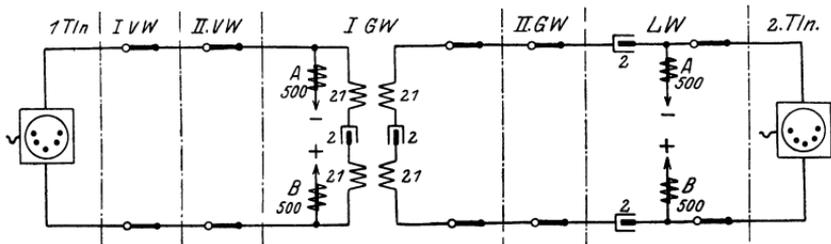


Abb. 1140. Gesprächsverbindung. Schaltungsauszug.

Kontakt c unterbricht den Stromweg für $V_1 800$. Dieses Relais wird jedoch über seine zweite Wicklung zunächst noch gehalten ($-$, Signalrelais $FK 50$, $V_1 850$, c, p, a -Leitung zum LW, $V. 8, Q 750, +$). Mit dem Ansprechen von Q im LW wird ein Stromweg für das Zählrelais Z im I. GW geschlossen ($-$ im LW, $G 750$ ¹⁾, u, q, b -Leitung zum I. GW, $p, c, Z 500, +$). Jetzt wird die c -Leitung vom I. VW, die vorher über $w 375 + 375$ an Erde lag, über 40Ω geerdet (über $m, z, w 40$, Zählkontrollrelais $ZK 0,5, +$) und dadurch der Strom so verstärkt, daß der Gesprächszähler betätigt wird (vgl. S. 708). Ferner schließt z das Relais $V_1 850$ und dessen abfallender Kontakt $P 60$ kurz. Jetzt spricht M an ($-$, $WK 2, \frac{M 150}{Mw 500}$, $v_1, v_2, p, k, +$) und löst den I. GW aus. Gleichzeitig wird durch m die c -Leitung vom I. VW unterbrochen, T im I. VW (ferner gegebenenfalls R und T im II. VW) wird stromlos und der I. VW geht in die Ruhelage (vgl. S. 708).

Beim Auslösen des I. GW ist auch die c -Leitung zum II. GW unterbrochen worden, so daß C im II. GW abfällt. Dadurch wird P stromlos, M erhält Strom

($-$, $WK 2, \frac{M 150}{Mw 500}$, $c, a, b, p, k, +$) ²⁾ und löst den II. GW aus. Beim Abfallen

von C wird ferner die c -Leitung zum LW unterbrochen, so daß C im LW abfällt. Die Auslösung des LW wird dadurch noch nicht herbeigeführt, sie erfolgt vielmehr erst, wenn auch der 2. Tln. den Hörer anhängt. Alsdann werden die Speisebübrückenrelais A und B stromlos, F wird erregt (über $Qw 250$, $I. 8, u, a, +$) und überführt den Steuerschalter nach Stellung 9 (Gesprächspause, vgl. unter b). F spricht sogleich wieder an (über $Qw 250$, $II. 9, c, +$), und der Steuerschalter geht nach Stellung 10 (zweite Gesprächsstellung, vgl. unter b). F erhält wiederum sogleich Strom (über $Qw 250$, $I. 10, u, a, +$), und der Steuerschalter gelangt nach Stellung 11 (Auslösen). Jetzt spricht M an ($-$, $WK 2, \frac{M 150}{Mw 500}$, $II. 11, c, +$)

¹⁾ Das Ansprechen von G ist ohne Bedeutung. Über den Zweck von G vgl. (1849, a).

und löst den LW aus. Sodann wird nochmals F erregt (über $Qw 250$, Kopfkontakt k , $II. 11$, c , +) und bringt den Steuerschalter nach Stellung 1 (Ruhe). Mit dem Auslösen des LW wird T im I. VW des 2. Tln. stromlos.

b) Der 2. Tln. hängt zuerst den Hörer an. Im LW werden die Speisebrückenrelais A und B stromlos, F wird erregt (über $Qw 250$, $I. 8$, u , a , +) und bringt den Steuerschalter nach Stellung 9. Die Auslösung der Wähler erfolgt erst, wenn auch der 1. Tln. den Hörer anhängt, und zwar ist der Hergang ähnlich, wie unter a beschrieben ist. Im I. GW kommt nach dem Abfallen von C jedoch $V_1 850$ nicht unter Strom, da im LW in Steuerschalterstellung 9 die Erde nicht am a -Zweig liegt; infolgedessen kann auch Q im LW nicht erregt werden. Der Stromweg für Z im I. GW wird statt über q über $V. 9$ geschlossen. Nunmehr erfolgt Zählung und Auslösung wie zu a .

Nimmt der 2. Tln. erneut den Hörer ab, ehe der 1. Tln. eingehängt hat, können beide wieder miteinander sprechen. Im LW werden nämlich A und B erneut erregt (über $III. 9$, Anschlußleitung, $IV. 9$), und der Steuerschalter geht nach Stellung 10 (zweite Gesprächsstellung). Im LW sind alle Stromwege jetzt ebenso geschaltet, wie in Steuerschalterstellung 8. Diese Regelung ist getroffen mit Rücksicht auf die Anschlüsse mit Nebenstellen. Wird ein solcher Anschluß angerufen, so geht der Steuerschalter des LW nach Stellung 8, wenn die Hauptstelle abfragt. Nachdem mit der verlangten Nebenstelle verbunden und diese gerufen ist, schaltet sich die Hauptstelle in der Regel aus, ehe die Nebenstelle den Anruf beantwortet, so daß die Stromschleife unterbrochen wird¹⁾. Statt daß die Verbindung dadurch gelöst wird²⁾, geht der Steuerschalter nach Stellung 9 (Gesprächspause) und nach Meldung der Nebenstelle nach Stellung 10 (zweite Gesprächsstellung).

Hängt nach Beendigung eines in Steuerschalterstellung 10 geführten Gesprächs der 1. Tln. zuerst den Hörer an, so erfolgt Zählung und Auslösung wie unter a , nur kommen $V_1 850$ und Q über $V. 10$ statt über $V. 8$ unter Strom. Hängt dagegen der 2. Tln. zuerst den Hörer an, so geht der Steuerschalter nach Stellung 11 (Stromweg für F über $Qw 250$, $I. 10$, u , a , +). Jetzt ist $P 40$ über $III. 11$ kurzgeschlossen; der abfallende p -Kontakt trennt die c -Leitung zum I. VW des 2. Tln. auf, so daß T abfällt und der I. VW in die Ruhstellung überführt wird. Trotzdem die Wähler nicht ausgelöst werden, besteht jetzt keine Verbindung zum Anschluß des 2. Tln. mehr, da die Arme des LW nach rückwärts isoliert sind; beim Abnehmen des Hörers würde der I. VW anlaufen und in gewöhnlicher Weise einen I. GW belegen. Zählung und Auslösung der Wähler erfolgen erst, wenn der 1. Tln. den Hörer anhängt; Z im I. GW erhält Strom über $V. 11$.

Der 2. Tln. hat hiernach die Möglichkeit, sich durch wiederholtes Anhängen und Abnehmen des Hörers freizuschalten, wenn der 1. Tln. aus Fahrlässigkeit oder aus Böswilligkeit den Hörer nicht einhängt³⁾.

(1838) Vorzeitige Auslösung. In keinem der nachstehend beschriebenen Fälle erfolgt Gesprächszählung, da Z im I. GW nicht erregt wird. Dazu wäre erforderlich, daß beim Abfallen von C im LW am b -Zweig Spannung läge. Dies ist aber nur der Fall, wenn der LW in Stellung 8, 9, 10 oder 11 steht, d. h., wenn ein Gespräch zustandegekommen ist.

a) Der 1. Tln. hängt an, ohne gewählt zu haben. Im I. GW werden A und B 4) stromlos, C bleibt über $\frac{C 350}{C 500}$ erregt, da k noch in Ruhelage ist.

¹⁾ Bei den neuesten Klappenschranken halt eine Drosselspule die Stromschleife aufrecht, bis die Nebenstelle den Anruf beantwortet.

²⁾ Wie es bei kleinen SA-Ämtern (vgl. S. 708) der Fall sein würde. Dort muß deshalb die Hauptstelle eingeschaltet bleiben, bis die Nebenstelle den Anruf beantwortet hat.

³⁾ Diese Gefahr des „Blockierens“ ist nach den Betriebserfahrungen überschätzt worden. Da es andererseits mit Rücksicht auf die Nebenstellentechnik erwünscht ist, mehrmalige Unterbrechungen der Anschlußleitung des 2. Tln. zuzulassen (Flackerzeichen), wird die Auslösung künftig nur vom Anhängen des Hörers beim 1. Tln. abhängig gemacht werden.

⁴⁾ Hat der 1. Tln. eine Nebenstellenanlage, so bleibt B bis zur Auslösung des I. VW erregt.

Beim Abfallen von A spricht V_2 an, ferner kommt J und damit H unter Strom. Die Schaltwelle wird um einen Schritt gehoben und der Kopfkontakt umgelegt. C wird jetzt stromlos und unterbricht V_1 und V_2 . Nunmehr erhält M Strom, löst den Wähler aus und unterbricht die c -Leitung vom I. VW, so daß dieser in die Ruhelage geht.

b) Der 1. Tln. hängt nach der ersten Stromstoßreihe an. Im I. GW fallen A und B , ferner C , V_1 und P ab. M erhält Strom, löst den Wähler aus und unterbricht die c -Leitung vom I. VW. Der Ruhekontakt a legt, bevor C abfällt, Erde an die a -Leitung zum II. GW und erregt dort A ; damit erhält H Strom und hebt die Schaltwelle um einen Schritt. Im I. GW kommt ferner beim Abfallen von A vorübergehend V_2 700 unter Strom, legt Spannung an die b -Leitung und erregt B im II. GW. Nach dem Abfallen von C und V_2 im I. GW sowie von A und B im II. GW wird M erregt und löst den II. GW aus.

c) Der 1. Tln. hängt nach der zweiten Stromstoßreihe an. Der I. und II. GW werden in gewöhnlicher Weise ausgelöst. Vorher werden jedoch im LW A und B erregt (vgl. unter b), die Schaltwelle wird um einen Schritt gehoben. Nach dem Wiederabfallen von A und B geht der Steuerschalter nach Stellung 2 (Stromweg für F über $Qw250$, k , I. 1, a , b , +). Nach dem Auslösen des II. GW fällt C ab, der Steuerschalter geht nach Stellung 3 (Stromweg für F über $Qw250$, II. 2, c , b , +). Jetzt erhält M Strom (über II. 3, c , +) und löst den LW aus. Der Steuerschalter durchläuft nun die Stellungen 4 bis 1 (Stromwege für F über $Qw250$ und (Stellung 3) I. 3, a , b , +; (St. 4) II. 4, u , a , +; (St. 5) k , II. 5, c , +; (St. 6) I. 6, Kontakte 2 und 3 des Langsamunterbrechers, +; (St. 7) II. 7, c , b , +; (St. 8) I. 8, u , a , +; (St. 9) II. 9, c , +; (St. 10) I. 10, u , a , +; (St. 11) k , II. 11, c , +).

d) Der 1. Tln. hängt nach der dritten Stromstoßreihe an. Wiederum werden über a und v_2 im I. GW die Relais A und B im LW erregt. D erhält Strom und dreht die Schaltwelle um einen Schritt. Nach dem Abfallen von C und V_2 im I. GW geht der Steuerschalter nach Stellung 3 (Stromweg für F über $Qw250$, w , I. 2, a , b , +). Um zu verhindern, daß der Steuerschalter nach Stellung 4 und unter Umständen weiter bis Stellung 6 geht, und daß dann in die Anschlußleitung, auf welche der LW eingestellt ist, zu Unrecht Rufstrom entsandt wird, spricht B nochmals an (— im I. GW, FK 50, V_1 850, c , p , a -Leitung zum LW, IV. 3, B 500, +) und unterbricht den Stromweg für F . Nach dem Ansprechen wird B gebunden (—, w 40, III. 3, f , b , B 500, +); durch die Parallelschaltung mit w 40 wird ferner der Strom für V_1 850 so geschwächt, daß dieses abfällt. Erst nach dem Abfallen von C und nach Auslösung des LW kommt F unter Strom (über $Qw250$, k , II. 3, c , +), und der Steuerschalter geht, wie unter c beschrieben, weiter bis Stellung 1.

e) Der 1. Tln. hängt nach Empfang des Besetzzeichens an. Der I. und II. GW werden in gewöhnlicher Weise ausgelöst, C im LW fällt ab. M erhält Strom (über II. 5, c , +) und löst den LW aus. Der Steuerschalter geht dann weiter bis Stellung 1 wie unter c .

(1839) Verzögerungsrelais. a) II. VW. Infolge der Kupfermanteldämpfung von R spricht T im I. VW schneller an (vgl. Fußnote 4 auf S. 705). Bei der Auslösung fällt T (im II. VW) früher ab als R . Die Folge ist, daß D einen Stromstoß erhält und die Schaltwelle um einen Schritt weiterdreht. Dies ist ohne Bedeutung, auch dann, wenn der auf diesem Schritt erreichbare I. GW von anderer Seite belegt ist, da die Schaltarme des II. VW nach rückwärts isoliert sind.

b) I. GW. Relais C hat zu demselben Zweck Kupfermanteldämpfung erhalten, wie R im II. VW. V_1 und V_2 müssen aus demselben Grunde wie beim kleinen SA-Amt (1826) mit Verzögerung abfallen. V_1 800 ist zu diesem Zweck bei Unterbrechung des Stromwegs Jw 1300 parallelgeschaltet, V_1 850 und V_2 700 werden durch Kurzschließen stromlos gemacht (vgl. 1819, b). Ebenso fällt P durch Kurzschließung verzögert ab; infolge der Abfallverzögerung von V_1 und P bleibt Z genügend lange unter Strom, um die Gesprächszählung sicher zu bewirken.

c) II. GW. Die Kupfermanteldämpfung von *C* soll schnelles Ansprechen von *P* im I. GW bewirken, um Doppelverbindungen zu verhüten.

d) LW. Aus gleichartigem Grunde ist *C* im LW Verzögerungsrelais. *P*40 wird in Steuerschalterstellung 11 kurzgeschlossen und fällt deshalb verzögert ab. Die Verzögerung ist jedoch ohne Bedeutung; die Kurzschließung ist nur angewendet, weil kein Kontakt zur Unterbrechung des Stromweges für *P* vorhanden ist. *F* wird jedesmal nach dem Ansprechen durch *s* kurzgeschlossen; die Abfallverzögerung ist erforderlich, damit *S* genügend lange unter Strom bleibt, um die Schaltarme des Steuerschalters bis zum nächsten Schritt zu drehen. Bei *U*450 und bei dem jedem LW-Rahmen zugeordneten Relais *R* verhindert die Kupfermanteldämpfung, daß die Relais auf Rufstrom (Stereoschalterstellung 7 bzw. 6) ansprechen. Wegen der Abfallverzögerung von *U*500 vgl. (1849, a).

e) Wegen der Abfallverzögerung von *I* im Relaisunterbrecher vgl. (1848, a), *I* im Langsamunterbrecher (1848 b), *UK* und *WK* (1848, d 3).

(1840) **Funkenlöschung.** Durch hohe Stromstärken gefährdete Unterbrechungsstellen sind nach den bei den kleinen SA-Ämtern angewandten Grundsätzen (1827) gegen Verbrennung geschützt.

(1841) **Überlagerung der Sprechstromwege mit Gleichstrom** (1814). Während beim kleinen SA-Amt über alle *a*- und *b*-Arme (VW und LW) Speisestrom fließt, fehlt beim großen SA-Amt zunächst der Gleichstromfluß über die *a*- und *b*-Arme des I. und II. (III., IV.) GW (vgl. Abb. 1140); er muß deshalb künstlich geschaffen werden. Diesem Zweck dienen im I. GW und LW (Abb. 1136 u. 1138) die Wider-

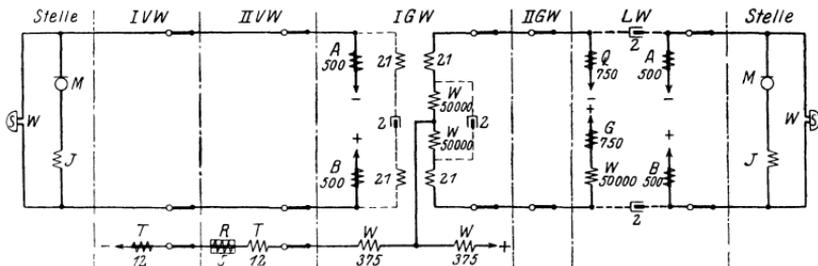


Abb. 1141. Überlagerung der Sprechstromwege mit Gleichstrom.

stände zu $50\,000\ \Omega$ (Silitwiderstände). Der entstehende Gleichstrom ist so schwach, daß er die Relais nicht beeinflusst. Abb. 1141 zeigt den Gleichstromfluß während des Gesprächs¹⁾.

(1842) **Verkehrsmessungen.** Bei den I.-GW-, II.-GW- und LW-Gestellen ist die Möglichkeit vorgesehen, durch Anschalten eines Schreibstrommessers den Gleichzeitungsverkehr des Gestells (oder einer Gruppe von Gestellen) aufzuzeichnen (1594, 1850, b); während der Messungen ist die Feststelltaste *RT* (im LW-Gestell *RTI*) einzudrücken. Solange kein Wähler belegt ist, fließt kein Strom durch den an Spannung liegenden, durch einen Nebenschluß von niedrigem Widerstand überbrückten Schreibstrommesser; in jedem Wähler legt bei der Belegung ein dann ansprechender Arbeitskontakt (*b* im I. GW, Kopfkontakt *k* im II. GW und *c* im LW) Erde über $2000\ \Omega$ an das Meßgerät. Die aufgezeichnete Stromstärke ist also proportional der Zahl der belegten Wähler.

¹⁾ Im I. GW wäre die Verbindung des Mittelpunktes zwischen $w\ 50\,000$ und $w\ 50\,000$ mit dem Mittelpunkt zwischen $w\ 375$ und $w\ 375$ an sich nicht nötig. Diese Regelung ist getroffen mit Rücksicht auf Schaltungsanordnungen, bei denen hinter den II. GW beide Leitungszweige an Spannung oder beide an Erde liegen; da dann beide Zweige gleiches Potential haben, würde kein Überlagerungsgleichstrom fließen. Der Mittelpunkt zwischen $w\ 375$ und $w\ 375$ dient für diesen Fall als Spannungsteiler; sein Potential beträgt etwa $-30\ \text{V}$. In beiden Zweigen ist also ein Spannungsunterschied von $30\ \text{V}$ wirksam.

Beiden I. VW		ist geführt																				
		Drehschritt																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	zum I. GW				zum II. VW						
des Hunderts	Gestellhälfte	Rahmen	Wähler	Rahmen	Wähler	Rahmen	Wähler	Rahmen	Wähler	Rahmen	Wähler	Rahmen	Wähler	Rahmen	Wähler	Rahmen	Wähler	Rahmen	Wähler	Rahmen	Wähler	
		1-20	obere	1	1	2	1	3	1	4	1	11	1	12	1	13	1	14	1	15	1	16
2	1			2	2	3	2	4	2	11	2	12	2	13	2	14	2	15	2	16	2	
3	1			3	2	3	3	3	4	3	11	3	12	3	13	3	14	3	15	3	16	3
4	1			4	2	4	3	4	4	4	11	4	12	4	13	4	14	4	15	4	16	4
5	1			5	2	5	3	5	4	5	11	5	12	5	13	5	14	5	15	5	16	5
6	1			6	2	6	3	6	4	6	11	6	12	6	13	6	14	6	15	6	16	6
7	1			7	2	7	3	7	4	7	11	7	12	7	13	7	14	7	15	7	16	7
8	1			8	2	8	3	8	4	8	11	8	12	8	13	8	14	8	15	8	16	8
9	1			9	2	9	3	9	4	9	11	9	12	9	13	9	14	9	15	9	16	9
10	1			10	2	10	3	10	4	10	11	10	12	10	13	10	14	10	15	10	16	10
11	9			1	10	1	11	1	12	1	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	8	1
12	9			2	10	2	11	2	12	2	3	2	4	2	5	2	6	2	7	2	8	2
13	9			3	10	3	11	3	12	3	3	3	4	3	5	3	6	3	7	3	8	3
14	9			4	10	4	11	4	12	4	3	4	4	4	5	4	6	4	7	4	8	4
15	9			5	10	5	11	5	12	5	3	5	4	5	5	5	6	5	7	5	8	5
16	9			6	10	6	11	6	12	6	3	6	4	6	5	6	6	6	7	6	8	6
17	9			7	10	7	11	7	12	7	3	7	4	7	5	7	6	7	7	7	8	7
18	9			8	10	8	11	8	12	8	3	8	4	8	5	8	6	8	7	8	8	8
19	9			9	10	9	11	9	12	9	3	9	4	9	5	9	6	9	7	9	8	9
20	9			10	10	10	11	10	12	10	3	10	4	10	5	10	6	10	7	10	8	10
1-20	untere	1	5	1	6	1	7	1	8	1	9	1	10	1								
		2	5	2	6	2	7	2	8	2	9	2	10	2								
		3	5	3	6	3	7	3	8	3	9	3	10	3								
		4	5	4	6	4	7	4	8	4	9	4	10	4								
		5	5	5	6	5	7	5	8	5	9	5	10	5								
		6	5	6	6	6	7	6	8	6	9	6	10	6								
		7	5	7	6	7	7	7	8	7	9	7	10	7								
		8	5	8	6	8	7	8	8	8	9	8	10	8								
		9	5	9	6	9	7	9	8	9	9	9	10	9								
		10	5	10	6	10	7	10	8	10	9	10	10	10								
		11	13	1	14	1	15	1	16	1	1	1	2	1								
		12	13	2	14	2	15	2	16	2	1	2	2	2								
		13	13	3	14	3	15	3	16	3	1	3	2	3								
		14	13	4	14	4	15	4	16	4	1	4	2	4								
		15	13	5	14	5	15	5	16	5	1	5	2	5								
		16	13	6	14	6	15	6	16	6	1	6	2	6								
		17	13	7	14	7	15	7	16	7	1	7	2	7								
		18	13	8	14	8	15	8	16	8	1	8	2	8								
		19	13	9	14	9	15	9	16	9	1	9	2	9								
		20	13	10	14	10	15	10	16	10	1	10	2	10								

Die Drehschritte 7 bis 10 der unteren Gestellhälfen führen zu den gleichen II. VW wie die der oberen Gestellhälfen

Staffelung der Ausgänge der I. VW einer 2000-Gruppe. Ausgänge der I. VW.

	ist geführt														
	Drehschritt														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	zum I. GW														
	Wähler	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Rahmen	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Wähler	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Rahmen	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Wähler	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Rahmen	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Wähler	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	Rahmen	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	Wähler	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	Rahmen	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Wähler	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	Rahmen	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	Wähler	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	Rahmen	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	Wähler	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	Rahmen	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Beim II.-VW-Rahmen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Wähler	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Rahmen	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Wähler	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Rahmen	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Wähler	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Rahmen	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Wähler	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	Rahmen	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	Wähler	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	Rahmen	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Wähler	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	Rahmen	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	Wähler	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	Rahmen	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	Wähler	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	Rahmen	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Staffelung der Ausgänge der I.VW einer 2000-Gruppe. Ausgänge der II.VW.

In ähnlicher Weise können an den LW-Gestellen nach Eindrücken der Taste *RTII* die Besetztfälle aufgezeichnet werden (+, Meßgerät, *RTII*, *III.5*, *AL*, *k*, *IV.5*, *Gw* 500, —).

(1843) Stafflung der Ausgänge der I. VW. Bei Ämtern mit II. VW werden die Ausgänge der I. VW gestaffelt, d. h. ein Teil der Drehschritte wird mit I. GW, ein Teil mit II. VW verbunden (1807, 1852). S. 728 und 729 geben ein Beispiel für die Stafflung bei einer 2000-Gruppe eines Amtes mit je 8 vH II. VW und I. GW (bezogen auf die Zahl der I. VW). Die Drehschritte 1 bis 4 der I. VW sind zu I. GW, die Drehschritte 5 bis 10 zu II. VW geführt. Dabei besteht noch der Unterschied, daß die Drehschritte 5 und 6 zweier Gestellhälften je zu besonderen II. VW, die Drehschritte 7 bis 10 dagegen parallel zu denselben II. VW führen.

Steht beispielsweise der I. VW des Tln. 1264 auf Schritt 3, so hat er den 2. Wähler im 15. Rahmen der I. GW belegt. Oder steht derselbe I. VW auf

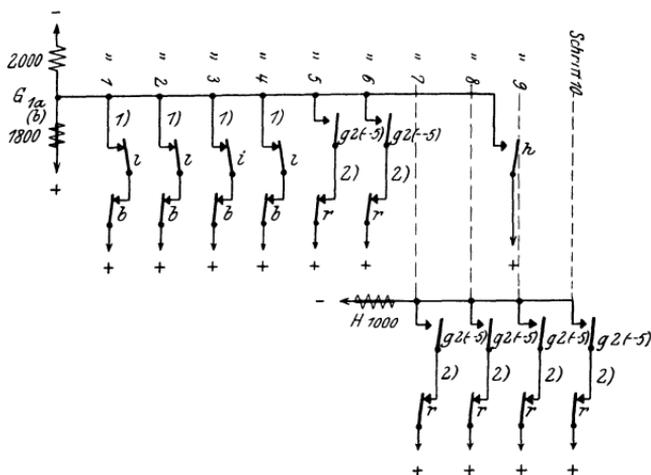


Abb. 1142. Abschaltung der I. Vorwähler.
Anm.: 1) = *Ab* 1 in Abb. 1136, 2) = *Ab* in Abb. 1135.

Schritt 8, so ist er zum 2. Wähler im 6. Rahmen der II. VW verbunden; steht dieser auf Schritt 14, so hat er auf den 9. Wähler im 14. Rahmen der I. GW geprüft.

(1844) Abschaltung der I. VW. Die Abschaltung (1809) der I. VW bewirkt ein der Gestellhälfte zugeordnetes Abschalterelais (für die obere Gestellhälfte *G1a*, für die untere Gestellhälfte *G1b* benannt), welches beim Ansprechen den die Drehmagnete der I. VW antreibenden Relaisunterbrecher (1848, a) am Arbeiten verhindert und dem Anrufenden das Besetztzeichen übermittelt (+, *S*, *LA* i 25, *g1a* (b), + in Abb. 1134).

Das Abschalterelais *G1a*(b) in Abb. 1142 würde dauernd unter Strom stehen (—, *G1a* w 2000, *G1a* 1800, +), wenn es nicht an dem Punkte zwischen wirksamer und Widerstandswicklung kurzgeschlossen werden könnte. Für die Kurzschließung bestehen (wenigstens mittelbar) 10 Möglichkeiten entsprechend den 10 Ausgängen der Gestellhälfte: Drehschritte 1 bis 4: *G1a*(b) wird kurzgeschlossen über Ruhkontakte *b* und *i*¹⁾ der mit diesen Schritten verbundenen I. GW, falls wenigstens einer dieser Wähler frei ist. Drehschritt 5 und 6: der Kurzschluß erfolgt

¹⁾ *Ab* 1 in Abb. 1136. Im belegten I. GW ist *B* erregt; nur während der Stromstoßgabe fällt es (außer bei Belegung von einer Nebenstellenanlage aus) ab, dann ist aber *J* in Arbeitsstellung. Einfacher wäre die Verwendung von Ruhkontakten *c* oder *v*₁ (wie *Ab* 3 in Abb. 1136), diese Relais sind jedoch schon voll belastet.

über Arbeitskontakt $g^{2(-5)}$ und Ruhekontakt r . Letzterer gehört zu dem auf Schritt 5 bzw. 6 erreichbaren II. VW und ist in Ruhelage bei unbelegtem Wähler. G_2 (— 5) ist ein jedem II.-VW-Rahmen zugeordnetes Abschalterelais, welches erregt ist, solange noch einer der 15 erreichbaren I. GW frei ist (1845). Drehschritt 7 bis 10: In ähnlicher Weise setzen die mit diesen Schritten verbundenen II. VW, solange wenigstens einer dieser Wähler frei ist, ein Hilfsrelais H unter Strom, welches dann $G_{1a(b)}$ kurzschließt. Die Einfügung von H ist nötig, da die vier II. VW von den I. VW beider Gestellhälften erreichbar und deshalb die Abschalterelais G_{1a} und G_{1b} zu beeinflussen sind.

(1845) **Abschaltung der II. VW.** Zu jedem Rahmen II. VW gehören vier¹⁾ hintereinandergeschaltete Abschalterelais G_2 bis G_5 , die unter Strom sind²⁾,

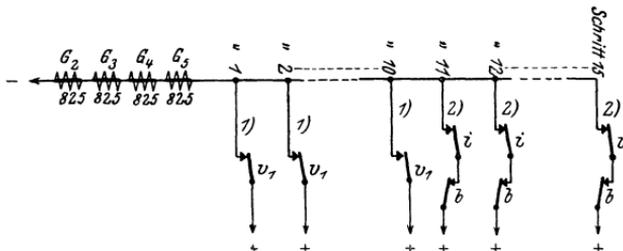


Abb. 1143. Abschaltung der II. Vorwähler.

Anm.: 1) = $Ab\ 3$, 2) = $Ab\ 2$ in Abb. 1136.

solange wenigstens noch einer der erreichbaren 15 I. GW frei ist (Abb. 1143). Sind alle 15 I. GW besetzt, so verhindern die geöffneten Arbeitskontakte der Abschalterelais G_2 bis G_5 , daß I. VW sich auf einen der II. VW des Rahmens einstellen können (1844).

(1846) **Durchdrehen.** a) I. GW (Abb. 1136). Wenn ein I. GW beim Eindrehen keinen freien II. GW findet, werden die Schaltarme über den 10. Schritt, also über den Kontaktkranz überhaupt, hinausgedreht. Der umgelegte Durchdrehkontakt w_{12} [(1817), S. 698] erregt V_2

$$\left(-, A\ w\ 40, c, C\ 150, a, \frac{V_2\ 80, w_{12}, DT\ \text{in Arbeitslage}^3)}{\frac{V_1\ 800}{J\ w\ 1300}}, + \right),$$

welches den Stromweg für D unterbricht, und übermittelt dem 1. Tln. das Besetzzeichen (+, $S, w_{12}, A\ i\ 100, B\ i\ 100, b, i, +$). Hängt dieser den Hörer an, so erfolgt in gewöhnlicher Weise die Auslösung ($V_2\ 80$ wird beim Abfallen von C stromlos).

Die jedem Rahmen zugeordnete feststellbare Taste DT ist, wie erwähnt, in der Regel gedrückt. Sie wird nur an den Tagen gezogen, an denen die Zahl der Durchdreher und ihre Verteilung auf die einzelnen Höhenschritte ermittelt werden soll. Diese Zählungen werden angestellt, um zu erkennen, ob die Zahl der II. GW ausreicht, oder ob sie für einzelne Höhenschritte erhöht werden muß. Bei gezogener Taste DT wird $V_2\ 80$ auf folgende Weise erregt:

$$-, \frac{\text{Signalrelais } DK\ 14, DT, w_{12}, V_2\ 80}{A\ w\ 40, c, C\ 150, a}, \frac{V_1\ 800}{J\ w\ 1300}, +.$$

¹⁾ Entsprechend der Anzahl der benötigten Kontakte.

²⁾ Über v_1 ($Ab\ 3$) in Abb. 1136. Wenn keiner der der 2000-Gruppe zugeordneten I. GW belegt ist (z. B. nachts), wird durch einen in Abb. 1143 nicht dargestellten Kontakt eines im Signalrahmen (1848 d) untergebrachten Relais die Spannung für G_2 bis G_5 fortgenommen. Relais G_{1a} ist dann über die b - und r -Kontakte der über Schritt 1 bis 4 erreichbaren I. GW kurzgeschlossen.

³⁾ Vgl. nächsten Absatz.

DK betätigt eine Signallampe und einen Alarmwecker (1848, d 8) und ruft so den überwachenden Beamten herbei. Hängt der 1. Tln. auf Empfang des Besetzzeichens den Hörer an, so wird der Wähler nicht ausgelöst, da V_1 800 auch nach Abfallen von C erregt bleibt. Die Auslösung wird vielmehr von dem Beamten durch Drücken von DT bewirkt, wodurch V_1 800 und V_2 80 stromlos werden.

b) II. GW (Abb. 1137). Beim Durchdrehen der Schaltwelle werden A und B erregt; bei gedrückter Taste:

$$-, A w 50, c, A 300, \frac{B 300, w_{12}}{B w 1000, w_{12}, DT, S}, +;$$

bei gezogener Taste:

$$-, \frac{A w 50, c, A 300}{DK 600, DT, w_{12}, B w 1000}, B 300, w_{12}, +;$$

der 1. Tln. erhält das Besetzzeichen (bei gedrückter Taste:

$$+, S, DT, w_{12}, B w 1000, \frac{A 300, c, A w 50, -}{B 300, w_{12}, +},$$

bei gezogener Taste: $+, S$, Kondensator $0,5 \mu F$, dk , DT , w_{12} usw.; von $A 300$ und $B 300$ wird die Summerspannung auf $A 1000$ und $B 1000$ und damit auf die Leitung zum I. GW übertragen). Hängt der 1. Tln. den Hörer an, so wird der I. GW ausgelöst. Im II. GW wird bei gedrückter Taste DT mit dem Abfallen von C der Stromweg für $A 300$ und $B 300$ unterbrochen und M erregt. Bei gezogener Taste DT bleibt $B 300$ auch nach dem Abfallen von C unter Strom und hält den Stromweg für M unterbrochen; DK betätigt die Signale wie unter a. Erst nach Drücken von DT wird $B 300$ stromlos und M spricht nunmehr an.

(1847) **Anschlüssen mit Nebenstellen** ist beim Amte eine Speisebrücke in gleicher Weise wie bei den kleinen SA-Ämtern (1828) vorzuschalten.

(1848) **Hilfseinrichtungen.** a) Beiden I. und II. VW bewirkt ein Relaisunterbrecher mit Stufenschaltung (in Abb. 1134 und 1135 mit U angedeutet),

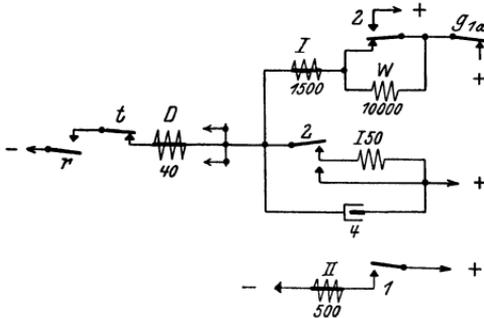


Abb. 1144. Relaisunterbrecher mit Stufenschaltung.

daß die Drehmagnete nicht Dauerstrom, sondern Stromstöße erhalten. Er besteht aus zwei Relais I und II (Abb. 1144). Beim Ansprechen des R-Relais eines I. VW wird I erregt ($-, r, t, D 40, I 1500, 2, g 1a, +$); D spricht wegen der geringen Stromstärke noch nicht an. Über 1 wird II erregt, dieses erdet mit seinem Doppelarbeitskontakt D vorübergehend über $I w 50$, dann unmittelbar, so daß D anspricht und die Schaltwelle auf den nächsten Schritt dreht. Ein Ruhekontakt 2 unterbricht ferner den Stromweg für I . Dieses fällt mit Verzögerung ab, da ein Weg für den Selbstinduktionsstrom vorhanden ist ($+, \frac{2}{g 1a}, II w 10000, I 1500, 2, +$). Beim Abfallen von I wird auch II stromlos, und der Vorgang beginnt von neuem. Der Unterbrecher arbeitet mit etwa 35 Erregungen in der Sekunde.

Beim Abfallen von II wird der Stromweg für D nicht sogleich, sondern stufenweise unterbrochen, indem für einen Augenblick $I w 50$ in die Erdleitung eingeschaltet wird. Dadurch wird die Stromstärke, die beim gleichzeitigen Arbeiten mehrerer Drehmagnete einige Ampere betragen kann, wesentlich verringert, so

daß die Funkenbildung herabgedrückt wird. Ein Kondensator von $4\mu\text{F}$ dient als weiterer Funkschutz.

Für jede Gestellhälfte I. VW ist ein Relaisunterbrecher vorhanden. Ist die Gestellhälfte abgeschaltet, so ist $g1^a$ in Arbeitsstellung; weder I noch die Drehmagnete der I. VW können dann unter Strom kommen. Für je 4 Rahmen II. VW (ein halbes Gestell) ist ein gleichartiger Relaisunterbrecher mit Stufenschaltung eingebaut, bei dem nur die Erdverbindung für I unmittelbar statt über $g1^a$ verläuft. Der Relaisunterbrecher ist nach Art der auswechselbaren Relaisätze (1818) mit Messerkontakten ausgerüstet, so daß er bei Störung sogleich durch einen Vorratsatz ersetzt werden kann.

b) Der Langsamunterbrecher. Der LW entsendet in Steuerschalterstellung 6 (Vorruf) Rufstrom zum 2. Tln. Damit der Wecker sicher und nicht zu kurz anspricht, wird der Steuerschalter erst nach etwa 0,5 s durch den jedem LW-Rahmen zugeordneten Langsamunterbrecher (Abb. 1145) weitergeschaltet. Beim Eindrehen des Steuerschalters nach Stellung 6 wird I erregt (—, $F w 250$, $\frac{F 100}{F w 200}$, $Q w 250$, I. 6, 2, I 2000, +); F spricht auf diesen schwachen Strom nicht an. Mit 1 wird II erregt. Damit wird in den Stromweg für F noch I w 2000 eingeschaltet, ferner wird III unter Strom gesetzt. Jetzt wird I kurzgeschlossen und fällt verzögert ab. 1 unterbricht den Stromweg für II, dessen Anker infolge des Kupfermantels ebenfalls verzögert in die Ruhelage zurückkehrt. Nunmehr wird auch III stromlos. Solange der Anker durch die Verzögerungswirkung des Kupfermantels noch festgehalten wird, ist F über 2 (in Ruhelage) und 3 (in Arbeitslage) geerdet; es spricht an und sorgt für Weiterschaltung der Steuerschalters.

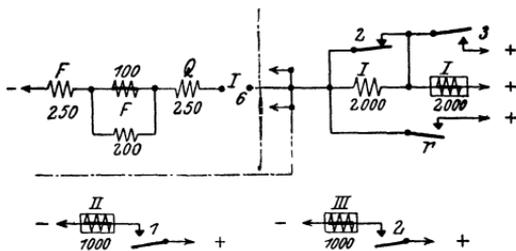


Abb. 1145. Langsamunterbrecher.

c) Die Ruf- und Signalmaschine ist so bemessen, daß sie ein Amt bis zu 10000 Anschlüssen versorgen kann. Der Antriebsmotor leistet 30 VA¹⁾, der mit ihm gekuppelte Wechselstromgenerator liefert Rufstrom von 90 V, herabgehend bis zu 75 V bei Belastung. Auf die Achse sind ferner zur Erzeugung der Summerströme aufgesetzt zwei mühlradähnliche Anker aus weichem Eisen, die sich im Felde zweier aus der ZB erregten Magnete drehen; beim Umlauf der Anker wird der Kraftlinienfluß geändert und dadurch dem erregenden Gleichstrom Summerstrom überlagert, der unter Zwischenschaltung eines Übertragers an die Verbrauchsstellen weitergeleitet wird. Der eine Anker hat 6, der andere 18 Schaufeln. Da der Motor 25 U/s macht, ergeben sich Summerströme von 150 (tiefer Ton) und 450 (hoher Ton) Per/s. Endlich wird behufs Schließung von Stromkreisen in bestimmtem Zeitmaße über eine Zahnradübersetzung eine langsam laufende Achse mit Nockenscheiben gedreht; die Nocken legen beim Umlauf Kontakte um, über welche die erwähnten Stromkreise geführt sind. Zahl und Form der Nocken sind entsprechend dem benötigten Zeitmaß verschieden; es sind Nockenscheiben vorhanden für das Amtszeichen, den 10-Sekunden-Schalter, den 5-Minuten-Kontakt (1848, d 11 β), das Flackern von AL im LW (1848, d 10) und für ein für Fernvermittlungsplätze (1874) erforderliches Summerzeichen im Zeitmaß des Morse-E (*).

Die Ruf- und Signalmaschine wird immer paarweise vorgesehen, beide Maschinen werden übereinander in ein Gestell eingebaut. Die eine Maschine wird

¹⁾ Die Einführung einer gleichartigen Maschine mit 15 VA für Ämter bis zu 1000 Anschlüssen steht bevor.

aus dem Netz angetrieben und läuft tagsüber, die zweite, aus der Z B angetriebene, dient als Ersatz in Störungsfällen und arbeitet ferner nachts. Im ersten Falle wird sie selbsttätig eingeschaltet, wenn die Netzmaschine stehen bleibt (z. B. bei Unterbrechung des Netzstromes); im letzteren Falle läuft sie nicht dauernd, sondern wird (über einen Arbeitskontakt des Relais *K* in Abb. 1136) selbsttätig angelassen, sobald ein I. GW belegt wird.

d) Signallampen und -wecker. Durch farbige Lampen, welche in der Regel den Gestellen, zuweilen auch den Rahmen oder den einzelnen Wählern zugeordnet sind, werden selbsttätig die wichtigsten Störungen angezeigt, besondere Betriebsvorgänge gemeldet oder die Belegung von Wählern usw. ersichtlich gemacht. An gut sichtbarer Stelle werden die wichtigeren Signale in einem besonderen Lampenrahmen — gemeinsam für das ganze Amt oder für eine größere Abteilung — wiederholt; den Wiederholungslampen werden ferner Alarmwecker zugeordnet. Die Relais zur Betätigung der Wiederholungslampen und der Wecker werden in einem Signalrahmen untergebracht.

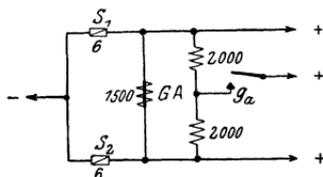


Abb. 1146. Signalrelais für Abzweigsicherungen.

Folgende Fälle werden signalisiert:

1. Ansprechen einer Abzweigsicherung. Jedes Gestell hat zwei Abzweigsicherungen. Hinter den Sicherungen S_1 und S_2 (Abb. 1146) sind zwei Brücken vorhanden, die aber in der Regel stromlos sind, da die Abzweigpunkte gleiches Potential haben. Wenn jedoch in einer Weiterführung (z. B. von S_1) ein Kurzschluß eintritt und S_1 infolgedessen anspricht, so wird GA erregt (—, S_2 , GA 1500, Kurzschluß, +) und bindet sich (—, S_2 , GA 1500, GA w 2000, ga , +). Weitere Arbeitskontakte setzen die Signallampe und das Relais im Signalrahmen, welches die Wiederholungslampe und den Alarmwecker betätigt, unter Strom.

2. Ansprechen einer Einzelsicherung. Über den Ansprechkontakt der Sicherung (1829, d 2) wird ein Relais erregt, welches die Signale bringt.

3. Dauerstrom (oder dauernde Stromstöße) in einem Kraftmagnet. Dem zu schützenden Kraftmagnet ist ein Verzögerungsrelais von geringem Widerstand (UK beim II. VW, WK beim I. GW, II. GW und LW, Abb. 1135 bis 1138) vorgeschaltet. Dieses spricht an und fällt auch in den Pausen zwischen den einzelnen Stromstößen nicht ab. Ein Arbeitskontakt bringt die Störungslampe am Gestell und im Wiederholungsrahmen sowie den Alarmwecker, jedoch nicht unmittelbar, sondern über eine Relaisanordnung im Signalrahmen. Diese bewirkt in Verbindung mit dem 10-s-Schalter, daß die Störungszeichen erst erscheinen, wenn der Stromfluß durch den Kraftmagnet längere Zeit, etwa 10 s, besteht, damit nicht das regelmäßige Arbeiten der Kraftmagnete die Signaleinrichtungen betätigt.

In der Zuleitung zu den Drehmagneten der I. VW fehlt ein gleichartiges Signalrelais. Hier bewirkt vielmehr ein Arbeitskontakt 1 des Relaisunterbrechers (1848, a) in gleicher Weise wie oben uk oder wk das (wiederum verzögerte) Erscheinen der Signale. Während nämlich der Relaisunterbrecher beim regelmäßigen Arbeiten der I. VW nur Bruchteile einer Sekunde in Tätigkeit ist, arbeitet er dauernd, wenn der Drehmagnet eines I. VW dauernd an Spannung liegt (z. B. bei Unterbrechung von T oder bei fehlerhafter Abschaltung).

4. Bei Abschaltung einer I.-VW-Gestellhälfte betätigt ein Arbeitskontakt des Abschaltrelais $G1^a$ bzw. 1^b (1844) eine Gestelllampe und die Wiederholungslampe, jedoch, da es sich nicht um eine Störung handelt, keinen Alarmwecker.

5. Belegte II. VW werden durch eine dem Wähler zugeordnete Lampe, die von R betätigt wird, gekennzeichnet (1833).

6. Bei Abschaltung eines II.-VW-Rahmens werden die zum Rahmen gehörigen Abschalterrelais G_2 bis G_5 (1845) stromlos; ein Ruhekontakt von G_5 bringt eine dem Rahmen zugeordnete Lampe zum Leuchten. Der Stromweg für die Lampe wird jedoch durch ein besonderes, für jedes Gestell vorhandenes Relais unterbrochen, wenn G_2 bis G_5 deshalb stromlos sind, weil keiner der I. GW der 2000-Gruppe belegt ist (Fußnote 2 auf S. 731).

7. Die Belegung eines (oder mehrerer) Wähler eines GW- oder I.W.-Gestells wird am Gestell durch eine Lampe angezeigt. Sie wird eingeschaltet durch den Arbeitskontakt des dem Gestell zugeordneten Relais K . Dieses ist erregt, wenn wenigstens in einem Wählerrelaissatz b (bei den I. GW, Abb. 1136), Kopfkontakt k (bei den II. GW, Abb. 1137) oder c (bei den LW, Abb. 1138) in Arbeitslage ist. Die Lampen sind nur für den Nachtüberwachungsdienst von Bedeutung; sie werden deshalb nur bei den Prüfängen mittels eines für jeden Signalrahmen vorhandenen Schalters an Spannung gelegt.

8. Das Durchdrehen eines GW wird nur bei gezogener Taste DT (an Zähltagen) angezeigt (1846). Ein Arbeitskontakt $d k$ betätigt die Lampe am Gestell und (mit Verzögerung) Wiederholungs Lampe und Alarmwecker.

9. Halten einer Verbindung. Wenn ein Tln. wiederholt von unbekannter Seite belästigt worden ist, kann durch besondere Maßnahmen (Änderung der c -Leitung des Anschlusses, Verwendung abweichend geschalteter LW-Relaissätze für die betreffende 100-Gruppe) festgestellt werden, von welchen Anschlüssen aus er angerufen wird. Bei jeder ankommenden Verbindung wird dann im LW die a -Leitung zum I. GW dauernd — unabhängig von der Stellung des Steuerschalters — geerdet und ferner verhindert, daß an die b -Leitung zum I. GW Spannung — über $G 750$ — gelegt wird. Infolgedessen wird im I. GW, nachdem der 1. Tln. den Hörer angehängt hat, Z nicht erregt, die Kurzschliebung des über die a -Leitung unter Strom stehenden Relais $V_1 850$ durch z wird unterdrückt, der Stromweg für M bleibt bei v_1 unterbrochen und die Auslösung des I. GW wird verhindert. Das mit $V_1 850$ in Reihe geschaltete Relais FK betätigt die Gestelllampe sowie (mit Verzögerung) Wiederholungslampe und Alarmwecker.

10. LW in Steuerschalterstellung 5 (besetzt) werden durch Flackern einer jedem LW zugeordneten Lampe (AL in Abb. 1138) gekennzeichnet (—, $Gw 500$, $IV. 5$, Kopfkontakt k , AL , $III. 5$, Taste $RTII$, U , +). Das Signal bietet — insbesondere in der ersten Zeit nach Betriebsöffnung — Gelegenheit, Tln., die nach Empfang des Besetztzeichens den Hörer nicht anhängen, zu belehren.

11. Fehler in den Anschlußleitungen. α) Unterbrechung. Wird die fehlerhafte Anschlußleitung angerufen, so geht (in Steuerschalterstellung 6 des LW) kein Rufstrom ab. In diesem Falle bleibt ein dem Rahmen zugeordnetes Relais AL (in Abb. 1138 sind nur die Kontakte des Relais dargestellt) stromlos, während es im Regelfalle erregt ist. Über den Ruhekontakt al kommt, wenn der Anker des Relais III des Langsamunterbrechers (1848, b) in Arbeitsstellung, der Anker des Relais I dagegen bereits abgefallen ist, ein Stromweg für B und für das Signalrelais FK zustande (—, $FK 50$, Taste FT , 3, 1, al , $II. 6$, $B 500$, +). Beide Relais werden auch gehalten, wenn der Steuerschalter nach Stellung 7 weitergegangen ist (—, $FK 50$, FT , $I. 7$, AL , k , b , $B 500$, +). AL leuchtet dauernd, FK betätigt die Signallampen des Gestells und des Wiederholungsrahmens sowie den Alarmwecker; b verhindert das Weitergehen des Steuerschalters aus Stellung 7, wenn der 1. Tln. den Hörer einhängt. Der überwachende Beamte stellt die fehlerhafte Anschlußleitung fest und unterbricht durch Drücken von FT den Stromweg für B .

β) Schleifenberührung (bei Anschlußleitungen mit Nebenstellen: Erdschluß im a -Zweig). Ein I. GW ist belegt, es wird nicht gewählt. Über den 5-Min.-Kontakt der Signalmaschine (1848, c), einen Kontakt b (Arbeitslage) und den Kopfkontakt k (Ruhelage) wird ein jedem I.-GW-Rahmen zugeordnetes Relais (in Abb. 1136 nicht gezeichnet) erregt. Dieses betätigt nach Ablauf von 5 Minuten

die Gestellampe, die Wiederholungslampe und den Alarmwecker. Das Signal erscheint auch, wenn ein Tln. den Hörer abnimmt, aber nicht wählt.

γ) Erdschluß im *a*-Zweig (nur bei Anschlußleitungen ohne Nebenstellen). Das jeder Gestellhälfte zugeordnete Signalrelais *LA* (Abb. 1134) spricht an (—, *LA* 25, *Rw* 900, *t*, *a*-Leitung, Fehlerstelle, +) und betätigt (mit Verzögerung) die Wiederholungslampe und den Alarmwecker. Die Gestellampe leuchtet erst nach Umlegen eines dem Signalrahmen zugeordneten Schalters auf.

(1849) **Mehrfachanschlüsse.** Bei SA-Ämtern geringeren Umfangs (etwa bis zu 3000 Anschlüssen) werden, wie bei den kleinen SA-Ämtern (1830), die LW durch Ansetzen von Mehrfachkontakten dafür eingerichtet, unter den Einzelanschlüssen eines Tln. einen freien auszusuchen. Bei größeren Ämtern ist dieses Verfahren nicht zweckmäßig, weil die 100-Gruppen mit stark arbeitenden Mehrfachanschlüssen in abgehender und ankommender Richtung viel stärkeren Verkehr haben würden, als die übrigen Gruppen, und deshalb vermehrte Verbindungsmöglichkeiten (Ausgänge zu den I. GW, LW) erhalten müßten. Darunter würde die Einbeitlichkeit und die Wirtschaftlichkeit dieser Ämter leiden. Deshalb verteilt man hier den abgehenden Verkehr gleichmäßig auf die 100-Gruppen und leitet den ankommenden Verkehr über besondere LW, die ohne Anfügung von Mehrfachkontakten imstande sind, einen freien Einzelanschluß auszusuchen (Mehrfachleitungswähler, MLW). Zwecks besserer Wirtschaftlichkeit vereinigt man neuerdings beide Maßnahmen, indem man für die Mehrfachanschlüsse mit 3 Einzelanschlüssen LW mit Mehrfachkontakt, für die stärkeren Mehrfachanschlüsse MLW verwendet.

a) **Mehrfachkontakte.** Findet der LW (Abb. 1138) in Steuerschalterstellung 4 den ersten Einzelanschluß besetzt, so kommt *A* unter Strom (—, *w* 40, *A* 500, III. 4, *Gw* 1500, *mk*, I. 4, *p*, +) und erregt *D* (—, *D* 60, V. 4, *a*, *p*, +); die Schaltwelle wird auf den nächsten Einzelanschluß weitergedreht. Beim Ansprechen von *D* wird *A* 500 kurzgeschlossen und fällt ab. Damit nicht in diesem Augenblick der Steuerschalter weitergedreht wird (über *Qw* 250, II. 4, *u*, *a*, +), wird beim Ansprechen von *A* auch *U* erregt (—, *WK* 2, *Fw* 250, *U* 500, *a*, *b*, +). *U* ist Verzögerungsrelais und hält den Stromweg für *F* nach dem Abfallen von *A* noch einige Zeit unterbrochen. Ist der zweite Einzelanschluß frei, so geht der Steuerschalter nach Abfallen von *U* weiter nach Stellung 5. Andernfalls kommt *A* nach dem Abfallen von *D* erneut unter Strom und die Vorgänge wiederholen sich, bis ein freier Anschluß gefunden oder die Schaltwelle bis auf den letzten Einzelanschluß gedreht worden ist; *mk* ist dann nicht mehr geschlossen, so daß *A* nicht wieder erregt werden kann.

Die Kurzschließungen von *A* durch *d* während des Drehvorgangs rufen im *a*-Zweige Potentialänderungen hervor, die sich über die Zweitwicklung des Übertragers im I. GW ausgleichen und lästige Knackgeräusche für den 1. Tln. hervorrufen würden (*a*-Zweig, Kondensator $2\mu\text{F}$, *a*-Leitung über II. GW zum I. GW, $\dot{U}21$, Kondensator $2\mu\text{F}$, $\dot{U}21$, *b*-Leitung über II. GW zum LW, Kondensator $0,25\mu\text{F}$, *g*, *mk*, I. 4, *p*, +; die Abzweigungen über *Q* 750, *G* 750 und *B* 500 sind stark gedrosselt und bleiben deshalb außer Betracht). Dies wird verhütet durch das Ansprechen von *G* (—, *G* 750, *mk*, I. 4, *p*, +), welches den oben genannten Stromweg bei *g* unterbricht. Ohne diese Aufgabe hätte an Stelle von *G* eine Drosselpule genügt.

Bei Ämtern mit II. VW ordnet man die Mehrfachkontakte der vierten und fünften 10-Reihe zu. Die in der Regel auch in abgehender Richtung stark benutzten Mehrfachanschlüsse werden so auf beide Hälften der I.-VW-Gestelle verteilt.

Besondere Maßnahmen sind notwendig, wenn einzelne oder alle Amtsleitungen eines Mehrfachanschlusses nachts nach bestimmten Nebenstellen durchgeschaltet werden sollen. Jeder durchzuschaltende Einzelanschluß mit Ausnahme des letzten erhält dann eine zweite Anschlußnummer (und zwar zur besseren Verteilung des abgehenden Verkehrs in einer anderen 100-Gruppe) und wird

im Hauptverteiler mit den Inneneinrichtungen beider Nummern verbunden; damit beim Abnehmen des Hörers nicht beide I. VW anlaufen, wird der zur Folgenummer gehörende I. VW ausgelötet. In Abb. 1147 ist ein Mehrfachanschluß (Sammelnummer 1331) mit den Einzelanschlüssen 1331, 1332 und 1333 dargestellt; alle sollen nachts zu bestimmten Nebenstellen durchverbunden werden. Dem Anschluß 1331 ist 1719, dem Anschluß 1332 ist 2025 als zweite Nummer zugeteilt, die I. VW 1331 und 1332 sind ausgelötet.

Wirkungsweise: Wird in der Anschlußleitung 1332 (2025) angerufen, so arbeitet der I. VW 2025. Wird die Sammelnummer 1331 angerufen, so wird ein LW der 100-Gruppe 13 belegt, der einen freien Einzelanschluß aussucht. Wird (nachts) die Nummer 1719 gewählt, so gelangt der Anruf zu einem LW der 100-Gruppe 17, der nur die Anschlußleitung 1719 (1331) auf Freisein prüft. Wird die Nummer 1333 eingestellt, so wird nur diese Anschlußleitung von einem LW

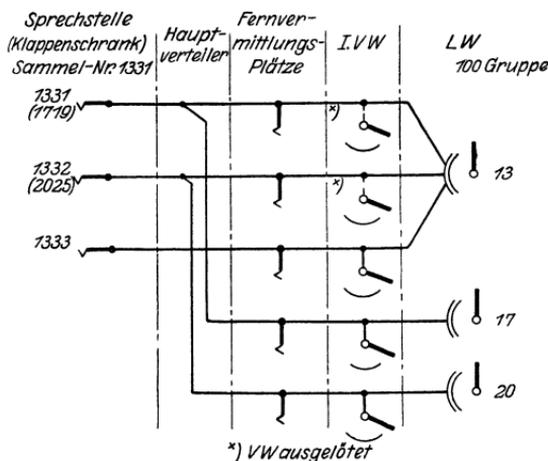


Abb. 1147. Leitungsführung eines Mehrfachanschlusses (LW mit Mehrfachkontakt) mit Nachtschaltung.

der 100-Gruppe 13 auf Freisein geprüft. Im Fernsprechbuch wird für Taganrufe nur die Sammelnummer 1331, für Nachtanrufe werden die einzelnen Nebenstellen (mit den Nummern 1719, 2025 und 1333) aufgeführt.

b) Mehrfachleitungswähler. Die zu einem Mehrfachanschluß gehörenden, in verschiedenen 100-Gruppen liegenden Einzelanschlüsse erhalten zweite Nummern, und zwar in einer 10-Reihe liegende Folgenummern. Im Fernsprechbuch wird nur die niedrigste von ihnen (die Sammelnummer) angegeben. Die Folgenummern liegen in besonderen 100-Gruppen, denen MLW an Stelle der gewöhnlichen LW zugeordnet sind; zu den MLW gehören keine I. VW. Die Führung der Einzelanschlüsse ist aus dem in Abb. 1148 dargestellten Beispiel ersichtlich. Wirkungsweise: Wird in der Anschlußleitung 4804 (7223) angerufen, so arbeitet der I. VW 4804. Wird die Sammelnummer 7221 gewählt, so stellt sich einer der MLW der 100-Gruppe 72 auf diese ein und sucht einen freien Einzelanschluß aus. Wird (nachts) die Nummer 4269 angerufen, so gelangt der Anruf zu einem LW der 100-Gruppe 42, der nur die Anschlußleitung 7222 (7222) auf Freisein prüft. Sollen einzelne oder alle Amtsleitungen eines Mehrfachanschlusses nachts zu bestimmten Nebenstellen durchgeschaltet werden, so werden im Fernsprechbuch hierfür nicht die über MLW, sondern die über LW erreichbaren Nummern (z. B. 3857, 4269) angegeben.

Die Schaltung des MLW (Abb. 1149) stimmt in der Hauptsache mit der Schaltung des LW (Abb. 1138) überein. Nach beendeter Wahl gelangt der Steuerschalter wie beim LW bis zur Stellung 4 (Prüfen). Ist der erste Einzelanschluß frei, so geht der Steuerschalter in gewöhnlicher Weise weiter bis Stellung 7 (Rufen). Andernfalls werden *A*, *D* und *U* erregt (—, *A* *w* 40, *A* 500, *III*. 4, *G* *w* 1500, *I*. 4, *p*, *IV*. 4, *c*, *b*, +; —, *D* 60, *V*. 4, *a*, *p*, + und —, *WK* 2, *F* *w* 250, *U* 500, *a*, *b*, +) und arbeiten in der unter a) beschriebenen Weise. Wird einer der folgenden Einzelanschlüsse als frei befunden, so spricht *P* an, und der Steuerschalter geht nach dem Abfallen von *U* weiter. Sind dagegen alle Einzelanschlüsse besetzt, so dreht der Wähler auf den zu diesem Zweck freizuhaltenden nächsten Kontakt (Leerkontakt) ein, um in dieser Stellung dem Anrufenden das Besetztszeichen zu übermitteln. Folgt dagegen in der 10-Reihe keine weitere Sammel-

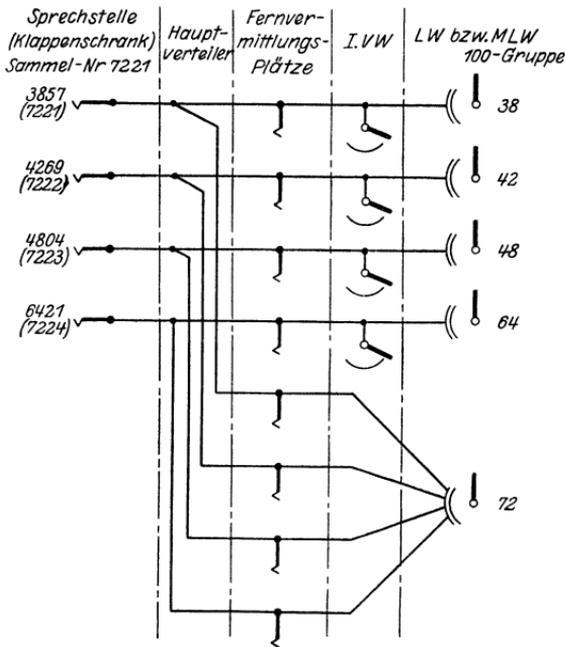


Abb. 1148. Leitungsführung eines Mehrfachanschlusses (MLW).

nummer, so ist der Leerkontakt entbehrlich; der Wähler dreht dann vielmehr durch (1846) und der Durchdrehkontakt sorgt für die Besetztsmeldung.

Nach dem Aufdrehen auf den Leerkontakt sind der *a*- und *b*-Arm des MLW mit Erde, der *c*-Arm über einen Widerstand von 420 Ohm mit Spannung verbunden. *P* spricht an (—, *w* 420, *c*-Arm, *P* 40 + 1000, *IV*. 4, *c*, *b*, +) und wird über die 40-Ohm-Wicklung und den eigenen Arbeitskontakt gebunden. Der Steuerschalter geht jetzt weiter bis nach Stellung 11. *F* erhält Strom: in Stellung 4 über *Q* *w* 250, *II*. 4, *u*, *a*, +; in Stellung 5 über *Q* *w* 250, *I*. 5, *p*, + und in Stellung 6 über *Q* *w* 250, *I*. 6, 2, 3, +. In Stellung 7 wird *U* erregt (—, *L* *w* 50, *l* in Ruhestellung [oder —, *R* *M*, *III* *w* 50, *l* in Arbeitsstellung], *U* 450, *III*. 7, *a*-Arm, +); dadurch wird für *F* ein Stromweg über *Q* *w* 250, *II*. 7, *u*, *a*, + geschaffen. In den Steuerschalterstellungen 8 bis 10 steht *A* 500 unter Strom (—, *w* 40, *A* 500, *III*. 8 bis 10, *a*-Arm, +). Dadurch wird auch *U* gehalten (—, *WK* 2, *F* *w* 250, *U* 500, *a*, *b*, +); auch in Steuerschalterstellung 11 bleibt *U* gebunden

(—, *WK 2*, *F w 250*, *U 500*, *I. 11*, *u, a, +*). *F* wird weiter erregt: in Stellung 8 über *Q w 250*, *II. 8*, *a, b, +*; in Stellung 9 über *Q w 250*, *I. 9*, *a, +* und in Stellung 10 über *Q w 250*, *II. 10*, *a, b, +*. In Stellung 11 erhält der anrufende Tln. das Besetztzeichen (+, *S, IV. 11*, *A i 100*, *B i 100*, +). Hängt er den Hörer an, so fällt nach Auslösung der GW das Relais *C* ab. *M* spricht an (—, *WK 2*, *M 150* *M w 500*, *II. 11*, *c, +*) und löst den MLW aus; der Steuerschalter geht nach Stellung 1 weiter (Stromweg für *F* über *Q w 250*, *k, II. 11*, *c, +*). Damit die Verbindung nicht gezahlt wird, trennt ein in Steuerschalterstellung 7 bis 11 geöffneter Ruhekontakt *u* die Spannungszuführung (über *G 750*) vom *b*-Zweig und damit von *Z* im I. GW ab.

Hat dagegen der MLW bei Besetztsein aller Einzelanschlüsse durchgedreht, so geht der Steuerschalter nur bis zur Stellung 5 (Stromweg für *F*: über *Q w 250*, *II. 4*, *w 12*, +). Die Übermittlung des Besetztzeichens und die Auslösung erfolgen dann wie beim LW.

Mehrfachanschlüsse mit mehr als 10 Einzelanschlüssen erhalten mehrere Sammelnummern oder werden über zwischengeschaltete Mischwähler (1898) erreicht.

C. Wählerzahlen, Wählergruppen, Verteilung.

(1850) **Wählerzahlen** (1594). Zur Gewährleistung eines guten Betriebes müssen die Verbindungsglieder (II. VW¹⁾, GW, LW) so zahlreich vorgesehen werden, daß sie zur Bewältigung starken Verkehrs (in der Hauptverkehrsstunde) ausreichen; andererseits wäre es unwirtschaftlich, ihre Zahl unnütz groß zu bemessen. Außergewöhnlich hohen Verkehrsspitzen braucht die Zahl der Wähler nicht unbedingt zu genügen. Man läßt in der Regel einen Verlust von 1 vT²⁾ zu, d. h. bei einer von 1000 Verbindungen darf ein Wähler mangels eines freien Wählers nächster Ordnung durchdrehen und dem Anrufenden das Besetztzeichen übermitteln. Die Wählerzahlen können errechnet oder abgeschätzt werden.

a) Errechnung der Wählerzahlen³⁾. Die Zahl *n* der für eine bestimmte Verkehrsbeziehung (für ein Leitungsbündel) erforderlichen Wähler ist eine Funktion der Zahl *c* der in einer Zeiteinheit zu vermittelnden Verbindungen und der durchschnittlichen Dauer *t* einer Verbindung, ausgedrückt in derselben Zeiteinheit. Als Zeiteinheit verwendet man die Stunde; da die Wähler für den stärksten Verkehr ausreichen sollen, sind *c* und *t* für die Hauptverkehrsstunde zu ermitteln. Wäre der Verkehr während der Hauptverkehrsstunde ganz gleichmäßig, so würde ein freigewordener Wähler sogleich für eine neue Verbindung benutzt werden; es wäre dann $n = c \cdot t$. Da der Verkehr aber immer mehr oder minder großen Schwankungen unterliegt, die Wähler also nicht dauernd ausgenutzt werden, muß ein Zuschlag gemacht werden. Am bekanntesten sind folgende Formeln, die alle nur für größere Bündel gelten:

$$1. n = c \cdot t + 4,2 \sqrt{c \cdot t} \text{ (Western),}$$

$$2. n = c \cdot t + m \sqrt{c \cdot t}, \text{ worin } m \text{ von } 4,73 \text{ (bei } c \cdot t = 1) \text{ bis } 3,33 \text{ (bei } c \cdot t = \infty) \text{ abfällt (Christensen), und}$$

$$3. n = c \cdot t + \sqrt[3]{c \cdot t} \text{ (Campbell).}$$

Die aus diesen Formeln für *n* errechneten Werte (bei $ct = 0$ bis 150) sind

¹⁾ I. VW sind gleich der Zahl der Anschlußleitungen, also zu 100 vH erforderlich.

²⁾ Der Satz ist sehr niedrig, er könnte ohne Schaden für den Betrieb erhöht werden. Vergleichsweise sei erwähnt, daß in größeren Orten in der Hauptverkehrsstunde etwa 25 vH aller Anrufe wegen Besetztseins der verlangten Anschlußleitungen nicht zu einer Verbindung führen.

³⁾ Vgl. Langer, Max: Berechnung der Wählerzahl in selbsttätigen Fernsprechämtern (ETZ 1924, S. 203).

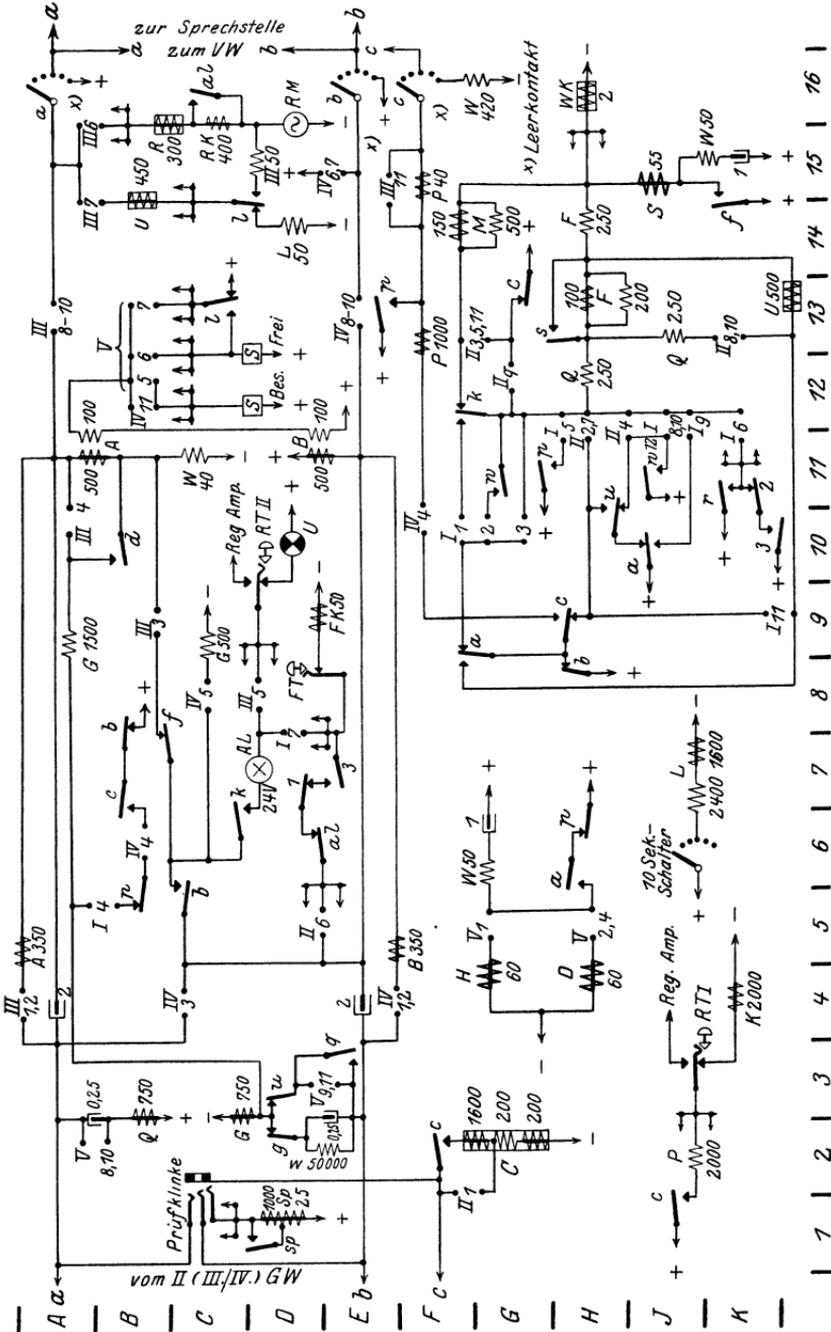


Abb. 1149. Mehrfachleitungswähler. Schaltbild.

in den Schaulinien 1 bis 3 der Abb. 1150 dargestellt. Von der Firma Siemens & Halske ist aus zahlreichen Messungen die Schaulinie 4 abgeleitet worden, die von der DRP benutzt wird.

Die Schaulinien 1 bis 4 gelten nur unter der Voraussetzung, daß der prüfende Wähler die Auswahl unter allen oder unter vielen Wählern nächster Ordnung

Relais oder Magnet	Wicklung	Viereck	Kontakt	Viereck	Relais oder Magnet	Wicklung	Viereck	Kontakt	Viereck
A	500	AB 11	a	H 6	G	750	CD 2,3	r	D 2
	350	A 5	u	FG 8, 9		w 500	C 9		
	i 100	AB 11,12	u	J 10		w 1500	A 9		
B	500	DE 11	a	C 5,6	Q	750	B 2,3	a	E 3
	350	EF 5	r	H 8		w 250	H 12		
	i 100	DE 11,12	r	B 8		w 250	J 13		
C	1600 200 w 200	FG 2 G 2 G 2	a	F 2	F	100	H 13	a	K 14,15 BC 7, 8
			a	J 1,2		w 200	H / 13	r	
			a	B 7	w 250	H 14			
			r	G 13,14	H	60	G 4, 5	—	—
			u	H 9	D	60	H 4, 5	a	B 10
P	1000 40 w 2000	F 13 F 15 J 2	a	GH 11	M	150 w 500	FG 14 G 14	—	—
			a	E 13					
			r	H 6,7					
			r	B 5,6	Kopfkontakt k			a	CD 6,7 FG 12
U	500	K 13	r	D 3	Wellenkontakt w			a	G 11
	450	B 14,15	u	HJ 10,11	Durchdrehkontakt w 12			a	J 11
WK	2	H 16	—	—	I	—	—	r	D 7
FK	50	DE 9	—	—	II	—	—	r	K 10,11
Sp	1000 25	D 1 D 1	a	CD 1	III	w 50	D 15	a a	E 7 K 10
R	300	BC 15,16	a	K 10,11	K	2000	K 4	—	—
RK	400	C 15,16	—	—	L	1600 w 2400 w 50	J 7 J 7 D 14	u u	C 13 D 14,15
AL	—	—	a r	C 16 DE 6					

Zu Abb 1149. Mehrfachleitungswähler. Relaisübersicht

hat (vollkommenes Leitungsbündel). Mehr als rund 100 Wähler erreichbar zu machen, ist zwecklos, da bei weiterer Steigerung der Mischung nur noch unwesentliche Verbesserungen erzielt werden¹⁾.

¹⁾ Hiernach genügt beispielsweise die Staffelschaltung der I. VW (1807, 1843), bei der 90 bis 94 I. GW erreicht werden können, den Anforderungen.

Wenn dagegen ein Wähler von den Wählern nächster Ordnung nur einen kleineren Teil erreichen kann (unvollkommenes Leitungsbündel), wird die Mischung des Verkehrs schlechter, und es muß deshalb ein weiterer Zuschlag für n gemacht werden. So kann ein GW für jeden Höhengradd immer nur 10 der Wähler nächster Ordnung auf Freisein prüfen, durch zweckmäßige Verteilung

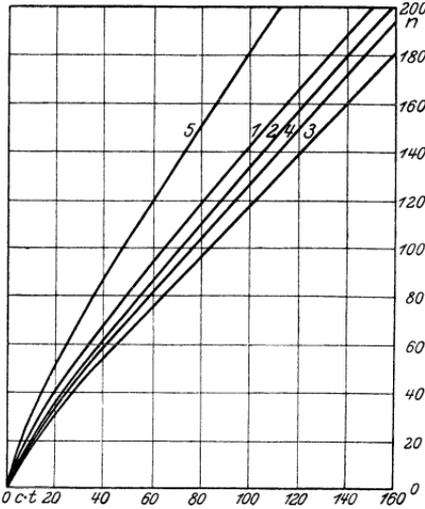


Abb. 1150. Schaulinien für die Bestimmung von Wählerzahlen. 1 = Western. 2 = Christensen. 3 = Campbell. 4 = S & H (vollkommene Leitungsbündel). 5 = S & H (unvollkommene, jedoch gut verteilte Leitungsbündel).

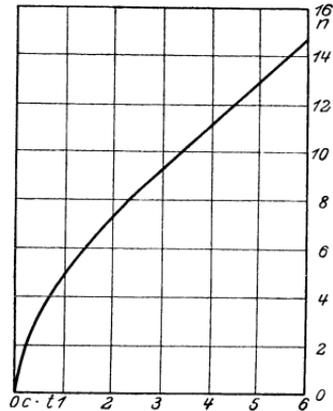


Abb. 1151. Schaulinie für die Bestimmung von Wählerzahlen für unvollkommene Leitungsbündel (kleine c.t-Werte).

(Staffelung und Verschränkung) der Ausgänge (1852) wird jedoch die Mischung, so weit wie möglich, verbessert. Für solche unvollkommene, jedoch gut verteilte Leitungsbündel gilt die Schaulinie 5 der Abb. 1150 (S & H). Die in Abb. 1151 dargestellte Schaulinie (S & H) ist anzuwenden für unvollkommene Leitungsbündel mit kleinen c.t-Werten (stark unterteilter Verkehr) z. B. Zugänge zu den LW).

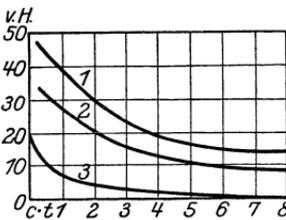


Abb. 1152. Zuschläge bei Verwendung von Durchschnittswerten c und t .

Ist endlich der nach den kleinsten Gruppen (100-Gruppen) gehende Verkehr nicht einzeln gemessen, sondern werden für c und t Durchschnittswerte benutzt, die aus der Messung des für eine größere Gruppe eingehenden Verkehrs durch Division abgeleitet sind, so müssen zu den aus Abb. 1151 abgelesenen Wählerzahlen weitere Zuschläge gemacht werden. Abb. 1152 (S & H) zeigt die Höhe dieser Zuschläge für die Fälle, in denen der

Durchschnittswert für $c \cdot t$ aus der Messung des ankommenden Verkehrs einer 200-, einer 500- oder einer 1000-Gruppe abgeleitet ist; für andere Fälle können die Zuschläge durch Interpolation ermittelt werden.

b) Abschätzung der Wählerzahlen. Auf Grund von Betriebserfahrungen kann man die SA-Ämter nach ihrer Größe und ihrem Verkehr in verschiedene Gruppen einteilen und für jede Gruppe Sätze für die einzelnen Wählerarten festsetzen. Die DRP wendet folgende Sätze an:

Umfang des Netzes	Verkehr	II. VW,	LW	
		GW		Ausbaufähig- keit der Rah- men für Stück
Anschlüsse		vH	vH	
bis 100	—	—	10	—
bis 1000	—	7 bis 10	7 bis 10	10
bis 5000	gewöhnlich	6	8	10
	stark ¹⁾	7	10	12
über 5000	gewöhnlich	7	10	12
	stark ¹⁾	8	12	15

MLW werden in der Regel zu 15 vH, dazugehörige GW letzter Ordnung zu 12 vH vorgesehen. In größten Netzen sind unter Umständen bis zu 30 vH MLW (in zwei 10-, 12- oder 15teiligen Rahmen, deren Ausgänge parallel zu schalten sind) und bis zu 25 vH GW letzter Ordnung erforderlich. Einige Zeit nach der Inbetriebnahme der Ämter werden zweckmäßig Verkehrsmessungen (1842) vorgenommen. Gegebenenfalls sind die Wähler zu vermehren²⁾; überzählige Wähler können bei der nächsten Erweiterung oder für andere Ämter verwendet werden.

c) Vergleich beider Verfahren. Die Ermittlung der Werte für c und t im Handamtsbetriebe ist umständlich und kostspielig. Wirklich genaue Feststellungen sind kaum möglich, zumal wenn das SA-Amt nur einen Teil der Anschlüsse des Handamts aufnehmen soll. Zur Ermittlung von c genügt nicht das Ablesen der Gesprächszähler, da die gebührenfreien Verbindungen (z. B. Verbindungen nach Dienststellen, Besetzerverbindungen) unberücksichtigt bleiben würden. Der Wert für t kann nur als Durchschnitt aus verhältnismäßig wenigen Beobachtungen errechnet werden, ferner sind Abschläge nötig (Wegfall der Wartezeit auf die Meldung der Abfragebeamtin, sofortige Trennung). Errechnete Wählerzahlen gelten also nur mit verhältnismäßig hoher Fehlermöglichkeit.

Die Abschätzung der Wählerzahlen erfordert dagegen keine besonderen Feststellungen. Es besteht, wie die Erfahrung gezeigt hat, an sich genügende Sicherheit, daß die Wähler ausreichen werden; darüber hinaus ist zu berücksichtigen, daß bei Betriebseröffnung das Amt nicht voll mit Anschlüssen belegt ist (in der Regel zu 60 bis 70 vH), daß also die Sätze, auf die Zahl der bei Betriebseröffnung vorhandenen Anschlüsse bezogen, um 43 bis 67 vH höher sind, als die auf den Endausbau bezogenen Sätze.

Hiernach ist die Abschätzung der Wählerzahlen für Regelfälle vorteilhafter. Die Berechnung kann jedoch nicht entbehrt werden bei außergewöhnlichen Verkehrsverhältnissen (z. B. Hauptgeschäfts-, Banken-, Zeitungsviertel in den größten Städten).

(1851) Wählergruppen, Gruppenverbindungen. Der in Abb. 1153 als Beispiel dargestellte Gruppenverbindungsplan zeigt schematisch, wie bei einem SA-Amt für 6000 Anschlußleitungen (7 vH II. VW und GW, 10 vH LW) die Wähler zu Gruppen zusammengefaßt sind und wie die einzelnen Gruppen untereinander zusammenhängen. Die Höhenschritte der GW sind durch die in Kreisen stehenden Ziffern angedeutet. Je 2000 I. VW bilden eine Gruppe; jede Gruppe von I. VW arbeitet auf eine besondere Gruppe von II. VW und von I. GW. Die Ausgänge sämtlicher I. GW führen zu Gruppen von II. GW, von denen je eine für jedes Tausend vorhanden ist. Jede Gruppe von II. GW endlich hat Zugänge zu Gruppen von LW, die den Hunderten (des betreffenden Tausends) zugeordnet sind.

¹⁾ Z. B., wenn größere Industrie- oder Handelsunternehmungen vorhanden sind oder starker Badeverkehr, Meßverkehr usw. vorkommt.

²⁾ Die Sätze sind so vorsichtig festgesetzt, daß bisher eine Vermehrung in keinem Falle nötig gewesen ist.

Aus der Abb. 1153 ist auch ersichtlich, zwischen welchen Gruppen von Wählern Zwischenverteiler (V_z , 1931) vorhanden sind. Die Abbildung läßt ferner erkennen, daß Erweiterungen (z. B. um eine weitere 2000-Gruppe) ohne Schwierigkeiten eingefügt werden können. Stehen dagegen an den I. GW freie Höhenschritte nicht mehr zur Verfügung, muß eine neue Stufe GW eingefügt werden und die Anschlußnummern erhalten allgemein eine Ziffer mehr als vorher. Abb. 1154 zeigt jedoch, wie in geeigneten Fällen sich die Einfügung einer neuen GW-Stufe für die vorhandenen Einrichtungen vermeiden läßt. Ein Amt mit 800 I. VW (100-Gruppen 2 bis 9) soll um 400 I. VW (100-Gruppen 10 bis 13) erweitert werden. Die Ausgänge des bisher unbenutzten 1. Höhenschritts der I. GW verlaufen zu II. GW für das 1. Tausend, deren Höhenschritte 0 bis 3 zu den LW der neuen 100-Gruppen führen. Nötigenfalls ist der erste Höhenschritt der I. GW freizumachen, indem die Anschlußnummern 100 bis 199 in 1100 bis 1199 geändert werden.

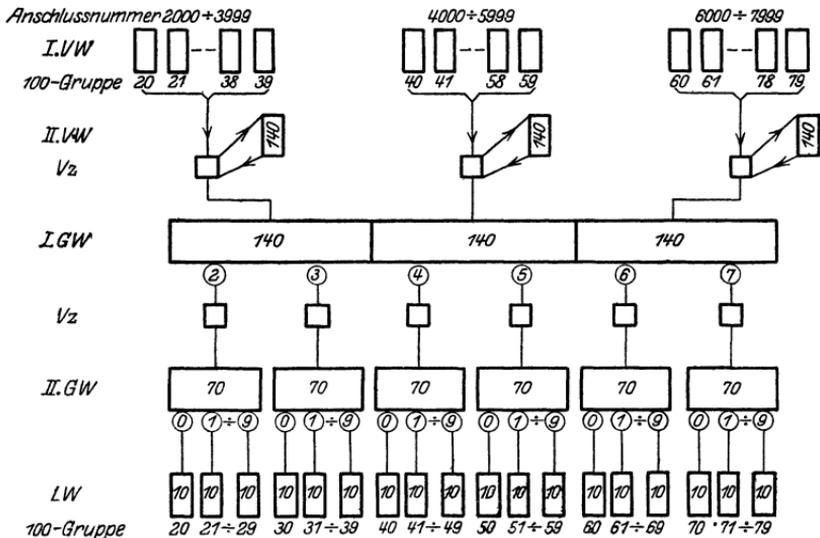


Abb. 1153. Gruppenverbindungsplan für ein Amt von 8000 Anschlüssen.

(1852) Verteilung der Wählerausgänge. Aus Abb. 1153 ist zwar ersichtlich, wieviele Wähler in jeder einzelnen Gruppe vorhanden sind; so stehen z. B. den 420 I. GW für die Höhenschritte 2 bis 7 je 70 II. GW zur Verfügung. Der einzelne I. GW kann jedoch — entsprechend der Zahl seiner Drehschritte — für jeden Höhenschritt immer nur 10 II. GW erreichen. Die Zugänge zu den 70 II. GW bilden also kein 70-Bündel, sondern sie sind in 10-Bündel aufgelöst. Um die bestmögliche Ausnutzung der II. GW zu erreichen, ist es nötig, die Ausgänge zweckmäßig zu verteilen. Hilfsmittel dafür sind die Staffelung und die Verschränkung.

Staffelung. Die GW prüfen die ihnen auf den einzelnen Höhenschritten zugänglichen Wähler nächster Ordnung immer in einer bestimmten Reihenfolge auf Freisein, nämlich beginnend mit dem auf Drehschritt 1 erreichbaren bis zu dem auf Drehschritt 10 erreichbaren Wähler. Die dem Drehschritt 1 zugeordneten Wähler werden also besonders oft belegt werden, während für die weiter erreichbaren Wähler die Zahl der Belegungen immer mehr abnimmt. Deshalb ist es vorteilhaft, die Drehschritte 1 möglichst weniger GW parallelzuschalten, bei den weiteren Drehschritten die Parallelschaltung aber staffelförmig fortschreitend zu steigern. Also ist für die auf Drehschritt 1 erreichbaren Wähler die Mög-

lichkeit der Belegung zwar groß, sie können aber nur von wenigen Wählern vorhergehender Ordnung erreicht werden. Für die auf den letzten Drehschritten erreichbaren Wähler ist dagegen die Möglichkeit der Belegung gering, dafür können sie aber von vielen Wählern vorhergehender Ordnung erreicht werden. So kann in dem in Abb. 1155 dargestellten Verteilungsbeispiel erreicht werden: der II. GW Rahmen 1 Wähler 1 (in der Abb. bezeichnet als Wähler 11) von den 20 I. GW der Rahmen 1 und 2, der II. GW Rahmen 2 Wähler 3 (23) von den 40 I. GW der Rahmen 1 bis 4, der II. GW Rahmen 1 Wähler 6 (16) von den 60 I. GW der Rahmen 1, 2, 5, 6, 9 und 10, der II. GW Rahmen 2 Wähler 8 (28) von den 80 I. GW der Rahmen 1, 2 und 5 bis 10.

Ein anderes Beispiel für die Anwendung der Staffelung bietet die Beschaltung der Ausgänge der I. VW (1843).

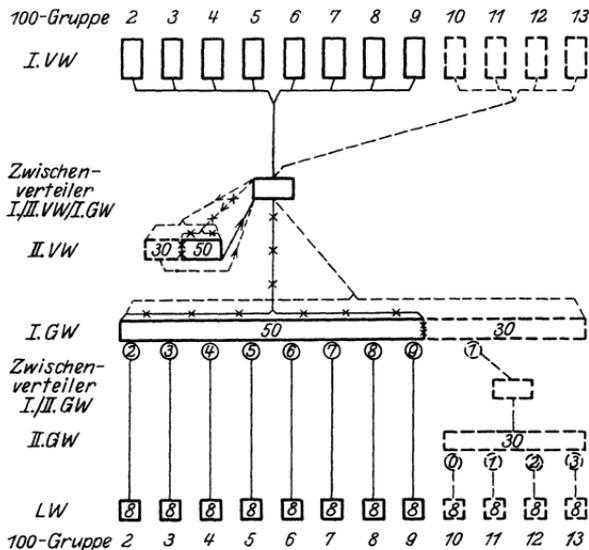


Abb. 1154. Vereinfachte Erweiterung eines Amtes (von 800 Anschlüssen auf 1200 Anschlüsse) —x—x— fällt fort, - - - - - kommt hinzu.

Verschränkung. Eine ähnliche Überlegung führt dazu, die in einer Staffel erreichbaren Wähler in gleichem Maße auszunutzen. Bei der einfachen Parallelschaltung der Drehschritte mehrerer GW-Rahmen würde vorzugsweise der Wähler belegt werden, der über den ersten, zur Staffel gehörenden Drehschritt erreichbar ist; die den folgenden Drehschritten zugeordneten Wähler würden in fortschreitend geringerem Maße beansprucht werden. Deshalb schaltet man in den verschiedenen GW-Rahmen verschiedene Drehschritte (derselben Staffel) parallel; auf diese Weise erreicht man, daß jeder Wähler für gewisse Rahmen dem ersten Drehschritt der Staffel zugeordnet ist. So wird z. B. in Abb. 1155 erreicht: der II. GW Rahmen 2 Wähler 3 (23) von den 20 I. GW der Rahmen 1 und 2 über Drehschritt 2, von den 20 I. GW der Rahmen 3 und 4 über Drehschritt 3; ferner der II. GW Rahmen 2 Wähler 8 (28) von den 20 I. GW der Rahmen 1 und 2 über Drehschritt 7, von den 20 I. GW der Rahmen 9 und 10 über Drehschritt 8, von den 20 I. GW der Rahmen 7 und 8 über Drehschritt 9, von den 20 I. GW der Rahmen 5 und 6 über Drehschritt 10.

Hiernach ergeben sich für die Ausarbeitung der Verteilungspläne folgende Gesichtspunkte:

1. Die Möglichkeit, einen freien Wähler zu finden, soll für die ersten Drehschritte am größten sein und sich für die folgenden allmählich vermindern.
2. Die erreichbaren 10 Wähler sollen möglichst in verschiedenen Rahmen liegen.
3. Der eingehende Verkehr soll gleichmäßig auf die einzelnen Rahmen verteilt werden.

Nachträglich kann eine Änderung der Verteilung nötig werden, wenn nach Maßgabe der Verkehrsmessungen die Zahl der Wähler verändert werden muß (1850, b) oder wenn ein Amt erweitert wird. Die Umschaltungen werden am Zwischenverteiler (1931) vorgenommen. Die spätere Erweiterung der Amtseinrichtungen wird bei der Ausarbeitung der Verteilungspläne schon berücksichtigt, so daß später im Zwischenverteiler in der Hauptsache nur weitere Rangierdrähte einzuziehen und möglichst wenige Verbindungen umzuschalten sind.

D. Ortsfernprechnetze mit mehreren SA-Ämtern.

(1853) Netze mit mehreren SA-Ämtern. In größeren Ortsfernprechnetzen ist es oft nicht wirtschaftlich, alle Anschlußleitungen an ein Amt heranzuführen,

weil die Leitungen zu lang und zu teuer werden würden. Man unterteilt in solchen Fällen das Netz in mehrere Anschlußbezirke mit je einem Vermittlungsamt. Abb. 1156 gibt ein Beispiel, in dem je ein SA-Amt für drei Hauptbezirke (I bis III) und zwei kleine Randbezirke (Ia und IIIa) vorgesehen ist; Abb. 1157 bringt den zugehörigen Gruppenverbindungsplan¹⁾. Aus dem Plan er-

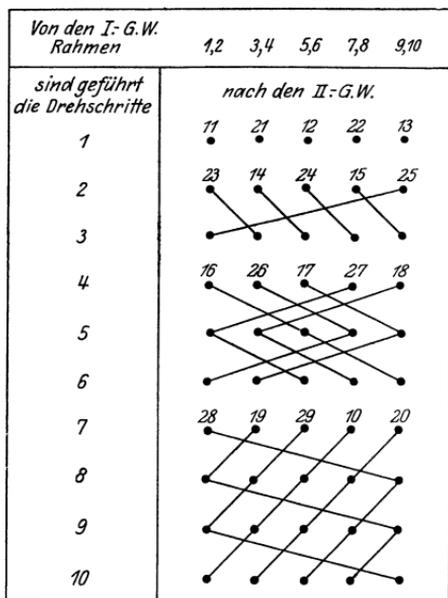


Abb. 1155. Beispiel eines Verteilungsplans.

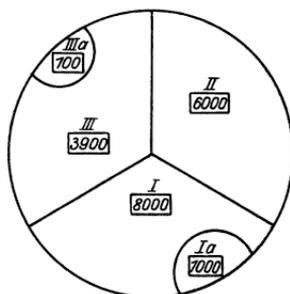


Abb. 1156. Beispiel für die Unterteilung eines Ortsnetzes.

gibt sich ein grundlegender Unterschied zwischen den Ämtern I bis III einerseits und den Ämtern Ia und IIIa andererseits. Erstere haben Wähler aller Ordnungen (Vollämter), die Ämter Ia und IIIa dagegen nicht (Hilfsämter).

(1854) Vollämter. Aus Abb. 1157 ist ersichtlich, daß jedes Vollamt ein in sich geschlossenes SA-Amt ist, nur führen von je zwei Höhengritten der I. GW Verbindungsleitungen zu II. GW der beiden anderen Vollämter. Bei jedem Amte sind deshalb die II. GW in drei Untergruppen geteilt, von denen eine für den

¹⁾ Die Zwischenverteiler sind fortgelassen.

Verkehr aus dem eigenen Amte und je eine für den Verkehr aus den beiden anderen Vollämtern dient; dagegen wird für die Ausgänge aller II.-GW-Rahmen ein gemeinsamer Verteilungsplan benutzt. Für die Festsetzung der Wählerzahlen

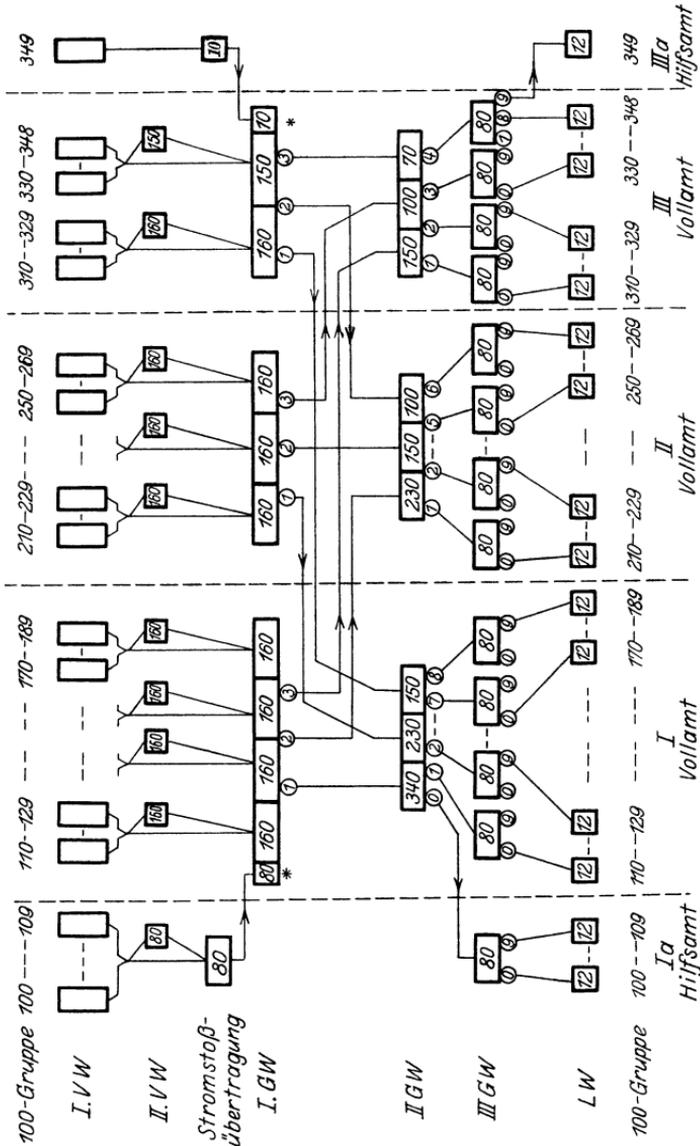


Abb. 1157. Gruppenverbindungsplan für ein Ortsnetz mit 3 Vollämtern und 2 Hilfsämtern. * in Schaltung der II. GW

gelten die unter (1850, b) gegebenen Grundsätze; ist die Zahl der II. GW eines Amtes klein, so muß wegen der Unterteilung in Untergruppen ufter Umständen ein Zuschlag gemacht werden. Wenn der Verkehr in den einzelnen Anschlußbereichen verschieden ist, können die Bedarfssätze an Wählern für die einzelnen Ämter ver-

schieden festgesetzt werden. Das Vollamt, bei dem die Amtsverwaltung ihren Sitz hat, wird als Hauptamt bezeichnet, die übrigen werden Unterämter genannt.

(1855) Hilfsämter. Die Hilfsämter stellen keine in sich geschlossenen SA-Ämter, sondern nur räumlich entfernt untergebrachte Gruppen des zugehörigen

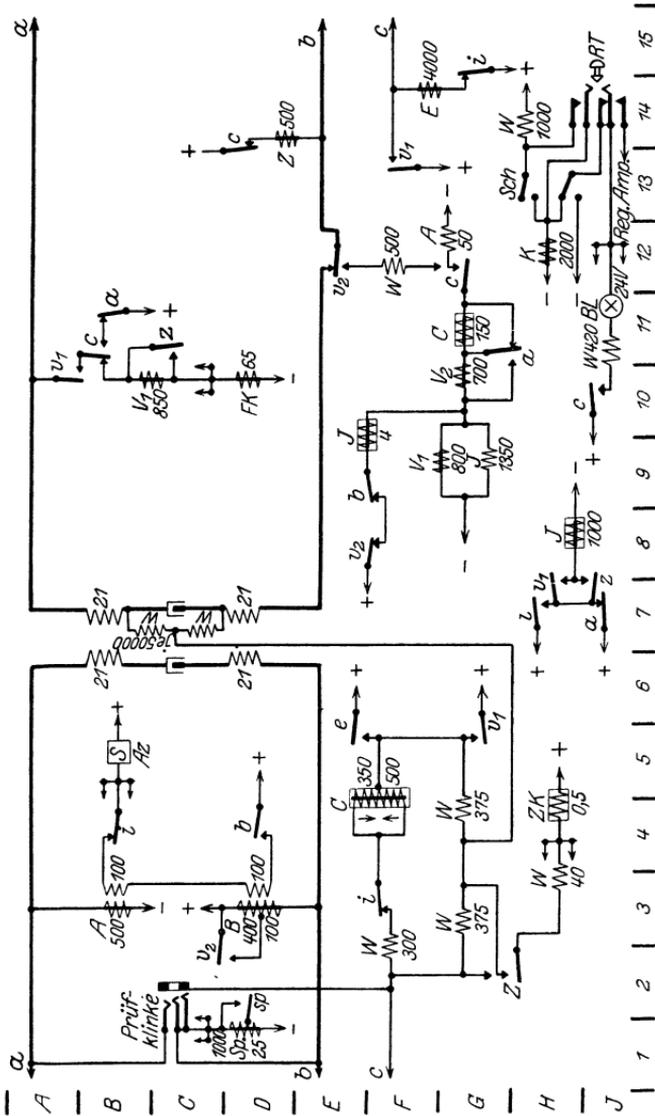


Abb. 1158. Stromstoßübertragung für Hilfsämter. Schaltbild.

Vollamts dar, z. B. Ia eine 1000-Gruppe des Amtes I, IIIa eine 100-Gruppe des Amtes III. Sie erhalten deshalb auch nur die für die Gruppe erforderlichen Wähler (Ia: I. und II. VW, III. GW, LW; IIIa: I. VW, LW). Auch die I. GW bei den Hilfsämtern unterzubringen, wäre unwirtschaftlich, weil die Ausgänge

der einzelnen Höhenschritte nach den verschiedenen Vollämtern zu führen, mit hin zahlreiche Leitungsbündel erforderlich wären. Andererseits würde die Unterbringung der I. GW beim Vollamt besondere Leitungen für die Steuerung der Abschalterelais der VW des Hilfsamts erfordern, ferner wäre es nicht zweckmäßig, die Sprechstellen der Hilfsämter über die Verbindungsleitungen mit Speisestrom zu versorgen. Man vermeidet alle diese Schwierigkeiten, indem man den I. GW in zwei Teile zerlegt und den einen Teil im Hilfsamt, den anderen im Vollamt unterbringt.

Zum Verständnis diene folgende Überlegung. Der I. GW hat zunächst, wie jeder GW, die Aufgabe, unter dem Einfluß der ersten Stromstoßreihe die Schaltwelle auf einen bestimmten Hohenschritt zu heben und einen freien II. GW herauszusuchen. Außerdem hat er aber weitere Aufgaben zu erfüllen, nämlich die anrufende Sprechstelle mit Speisestrom zu versorgen, die Abschalterelais der I. und II. VW zu steuern, die als Stromunterbrechungen eingehenden Strom-

Relais	Wicklung	Viereck	Kontakt	Viereck	Relais	Wicklung	Viereck	Kontakt	Viereck
A	500	B 3	r	J 7	V ₁	800	FG 9	a	G 5, 6
	i 100	B 3	r	B 11		850	BC 10	a	H 7, 8
B	400	D 3	a	D 4	V ₂	700	G 10	a	CD 2, 3
	100	D 3	r	EF 9				r	F 8
	i 100	D 3	r	EF 9				u	E 12
C	500	F 4, 5	da	G 12	Z	500	DE 13, 14	a	J 7, 8
	350	EF 4, 5	r	D 13, 14				a	C 11
	150	G 11	u	B 11				da	GH 2
			a	J 10					
J	1000	H 8	a	H 7	S _p	1000	D 1	a	D 2
	4	EF 9, 10	r	F 3		25	D 1		
	w 1350	G 9	r	B 4	FK	65	D 10	—	—
			r	G 14, 15	ZK	0,5	H 4, 5	—	—
E	4000	F 14	a	E 5, 6	K	2000	H 12	—	—

Zu Abb. 1158. Stromstoßübertragung für Hilfsämter. Relaisübersicht.

stöße in der Form von Stromschließungen über den Ringübertrager hinweg weiterzugeben und Auslösung sowie Gesprächszählung einzuleiten. Die erste Aufgabe kann von einem Wähler einfachster Schaltung, d. h. von einem Wähler nach der Schaltung der II. GW, erfüllt werden; diese Wähler werden beim Vollamt aufgestellt. Für die restlichen Aufgaben genügt eine Relaisanordnung nebst Ringübertrager, Stromstoßübertragung genannt, die beim Hilfsamt verbleibt. Je ein Wähler und eine Stromstoßübertragung gehören zusammen, sind also durch (dreiadrige) Leitungen fest verbunden. Die Relais einer Stromstoßübertragung werden in einen auswechselbaren Relaisatz (1818) eingebaut und zu je 40 oder 80 mit den zugehörigen Ringübertragern an besonderen Gestellen untergebracht.

(1856) Stromstoßübertragung. Abb. 1158 gibt das Schaltbild einer Stromstoßübertragung. Außer den vom gewöhnlichen I. GW bekannten Relais ist ein Relais *E* vorhanden, welches im Ruhezustande erregt ist (— im Wähler [Schaltung der II. GW, Abb. 1137], *A w* 50, *C* 150, *C w* 400, *k*, *c*-Leitung zur Übertragung, *E* 4000, *i*, +); das Relais *C* im GW spricht auf den schwachen Ruhe-

strom nicht an. Stellt sich ein VW auf die Übertragung ein, so werden (ähnlich wie beim gewöhnlichen I. GW) A , B , C und V_1 erregt; die c -Leitung vom VW findet jedoch abweichend Erde über e , später über v_1 . Der anrufende Tln. erhält das Amtszeichen (+, S , i , A i 100, B i 100, b , +). Über v_1 wird auch die c -Leitung zum Wähler unmittelbar geerdet; dadurch wird E kurzgeschlossen und fällt ab, während die eingetretene Stromverstärkung C im Wähler ansprechen läßt. Endlich bereitet v_1 einen Stromweg für das — hier als Verzögerungsrelais gebaute — Relais J vor, der geschlossen wird, wenn beim Eingang des ersten Stromstoßes A abfällt (—, J 1000, v_1 , a , +). J hält sich dann für die Dauer der Verbindung über den eigenen Arbeitskontakt und unterbricht die Erdzuleitung für E sowie die Stromwege für $\frac{C}{C 500}$ und für das Amtszeichen. V_2 legt, wie beim gewöhnlichen I. GW, für die Dauer jeder Stromstoßreihe Spannung an die b -Leitung zum Wähler, während A bei jedem Stromstoß abfällt und ebensooft die a -Leitung zum Wähler erdet. Es werden somit die erste Stromstoßreihe auf den Wähler, die folgenden Stromstoßreihen auf die Wähler weiterer Ordnungen übertragen.

Hängt der anrufende Tln. nach Gesprächsschluß den Hörer an, so fallen in bekannter Weise A und B , ferner mit Verzögerung C ab. Ehe das durch $\frac{J 4, b, v_2}{J w 1300}$

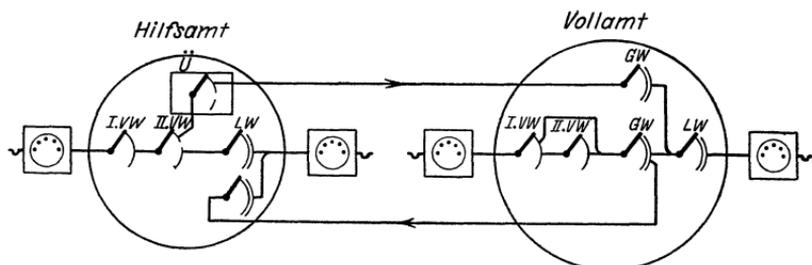


Abb. 1159. Überbrückungsschaltung für Hilfsämter.

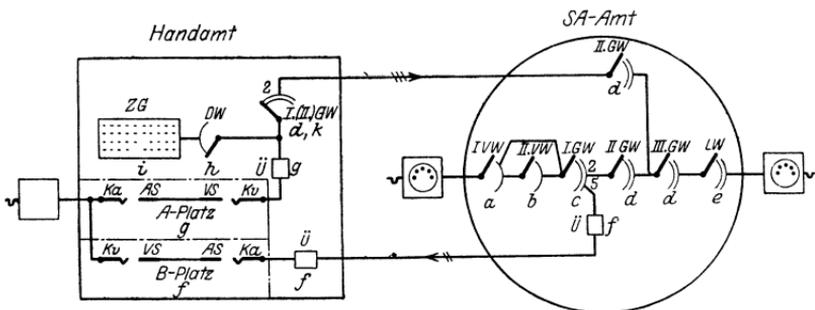
überbrückte Relais V_1 800 abfällt¹⁾, wird Z erregt und bewirkt in der c -Leitung zum I. VW die für die Gesprächszählung erforderliche Stromverstärkung. Beim Abfallen von V_1 wird die c -Leitung zum Wähler stromlos, so daß dort C und damit P abfällt; nunmehr erhält M Strom und löst den Wähler aus. Dadurch wird in der Übertragung Z , welches bisher vom LW aus erregt war, stromlos und trennt die c -Leitung zum VW auf. Beim Abfallen von V_1 wurde ferner der Stromweg für J aufgetrennt. Dieses fällt — mit Verzögerung — ab und schaltet E wieder an die c -Leitung. Nachdem E angesprochen hat, befinden sich Übertragung und Wähler im Ruhezustand,

Für die Abschaltung der VW dienen — statt v_1 , i und b beim gewöhnlichen I. GW — Arbeitskontakte von E . Belegte Übertragungen werden durch eine Besetztlampe BL gekennzeichnet, die über einen Arbeitskontakt des Relais C betätigt wird.

(1857) Überbrückungsschaltung für Hilfsämter. Verbindungen zwischen zwei Tln. desselben Hilfsamtes verlaufen nach Vorstehendem über GW des Vollamtes. Es werden also zwei Verbindungsleitungen, eine zum und eine vom Vollamt, beansprucht; die Anzahl der — unter Umständen recht kostspieligen — Leitungen muß dementsprechend hoch veranschlagt werden. Um an Leitungen zu sparen, wendet man zuweilen eine Schaltung an, welche Verbindungen der ge-

¹⁾ Hat der angerufene Tln. den Hörer noch nicht angehangt, bleibt es ohnehin über V_1 850 zunächst gebunden, bis es nach Kurzschluß durch z abfällt (vgl. 1837).

nannten Art unmittelbar im Hilfsamt herzustellen gestattet (Überbrückungsschaltung). Abb. 1159 zeigt schematisch den Schaltungsaufbau¹⁾. Im Hilfsamt werden II. VW besonderer Schaltung mit vier Schaltarmen eingefügt. An den ersten Drehschritten liegen die Stromstoßübertragungen \ddot{U} , die letzten Drehschritte dagegen führen zu LW des Hilfsamtes. In die Stromstoßübertragung ist ein Drehwähler (Mitlaufwerk) eingefügt, welcher von den Stromstößen der ersten Reihe (unter Umständen von den Stromstößen mehrerer Reihen) gesteuert wird. Wenn eine Anschlußnummer des Vollamts gewählt wird, ist das Mitlaufwerk ohne Bedeutung und die Verbindung verläuft in gewöhnlicher Weise. Wird dagegen eine Anschlußnummer des Hilfsamtes gewählt, so wird das Mitlaufwerk durch die Stromstöße der ersten Reihe (unter Umständen der ersten Reihen) auf einen bestimmten Schritt gedreht. In dieser Stellung wird die c -Leitung vom II. VW unterbrochen und dadurch dessen Drehmagnet nochmals angereizt. Bei der erneuten Drehbewegung kann der II. VW, und zwar über den d -Arm, nur auf die letzten, zu LW des Hilfsamtes führenden Schritte aufrufen. Auf den belegten LW wirken dann die zwei letzten Stromstoßreihen. Die Stromstoßübertragung mit der zugehörigen Verbindungsleitung wird beim Weiterdrehen des II. VW



$a =$ Abb. 1134. $b =$ Abb. 1135, $c =$ Abb. 1136. $d =$ Abb. 1137. $e =$ Abb. 1138. $f =$ Abb. 1161.
 $g =$ Abb. 1164, $h =$ Abb. 1165, $i =$ Abb. 1162. $k =$ Abb. 1163.

Abb. 1160. Übersichtszeichnung für gemischten Betrieb.

frei. Die LW für den Innenverkehr weichen in der Schaltung von den gewöhnlichen LW ab, da sie die anrufende Stelle mit Mikrophonspeisestrom versorgen müssen.

Eine Verbindungsleitung wird also bei Innenverbindungen nur beim Aufbau der Verbindung für kurze Zeit beansprucht. Der Ersparnis an Leitungskosten stehen die höheren Kosten für die Beschaffung und Instandhaltung der Einrichtungen des Hilfsamtes gegenüber.

E. Ortsfernsprechnetze mit gemischtem Betrieb.

(1858) **Allgemeines.** In großen Orten wird die selbsttätige Betriebsweise meistens schrittweise eingeführt. In der Regel werden, um beim Wachsen der Zahl der Anschlüsse Erweiterungen des Handamts zu vermeiden, in den Randgebieten ein oder mehrere SA-Unterämter eingerichtet, während das Handamt selbst erst, wenn es verschlissen ist, durch ein SA-Amt ersetzt wird. Für die Zwischenzeit müssen Vorkehrungen getroffen werden, um SA-Tln. mit Handamtstln. und umgekehrt verbinden zu können (gemischter Betrieb). Ein Beispiel für die Regelung dieses Verkehrs ist in Abb. 1160 schematisch dargestellt; bei den Einzelbestandteilen der Schaltung weisen die beigeetzten Buchstaben auf

¹⁾ Vgl. Langer, Max: Unteramt in selbsttätigen Fernsprechanlagen (Ztschr. f. Fernmeldetechnik, Werk- u. Gerätebau, 1923, Hft. 10).

die Abbildungen hin, in denen die zugehörigen Schaltungen dargestellt sind. Aus wirtschaftlichen Gründen werden sowohl im Handamt als auch im SA-Amt möglichst Einrichtungen (Plätze, Wähler) gewöhnlicher Bauart verwendet; können die Teile nach Maßgabe ihrer Schaltung nicht unmittelbar miteinander arbeiten — was häufig der Fall ist —, so werden Relaisübertragungen zwischengeschaltet, welche die Unterschiede ausgleichen. Solche Übertragungen werden auch beim Übergang von dreiadrigen auf zweiadrige Leitungen benutzt, um die Aufgaben der *c*-Leitung auf die Sprechleitung überzuleiten.

(1859) Verkehrsrichtung SA-Amt = Handamt. Grundsätzliches. Der SA-Tln. erreicht durch Wählen einer bestimmten Nummer eine *B*-Beamtin des Handamtes. Für diesen Verkehr nutzt man in der Regel Höhenschritte der I. GW aus, die für Verbindungen nach Tln. nicht benötigt werden; in einem SA-Amt mit 3000 Anschlüssen mit den Nummern 2000 bis 4999 stehen für diesen Zweck z. B. die Höhenschritte 1 und 5 bis 0 zur Verfügung¹⁾. Nachdem der I. GW auf den Höhenschritt eingestellt ist, sucht er beim selbsttätigen Eindrehen unter 10 Verbindungsleitungen eine freie aus und betätigt eine Anruf Lampe; nach dem Abfragen steckt und überwacht die Beamtin die Verbindung in gewöhnlicher Weise. Nach der Beantwortung des Anrufs durch den 2. Tln. sorgt sie für die Gesprächszählung; nach dem Aufleuchten beider Schlußlampen trennt sie die Verbindung. Die Wähler werden ausgelöst, wenn der 1. Tln. den Hörer anhängt; nur bei gebührenfreien Gesprächen erfolgt die Auslösung erst nach Trennung der Verbindung am *B*-Platz. Wenn zugänglich, werden für den Verkehr nicht erst besondere *B*-Plätze umgebaut oder neu aufgestellt, sondern die Verbindungsleitungen werden an *A*-Plätzen mit Vielfachfeld wie Anschlußleitungen auf Anrufzeichen geschaltet. Die Verbindungsleitungen werden dabei auf alle oder auf die schwächer belegten Plätze verteilt; die zugehörigen Anruflampen werden durch farbige Blenden gekennzeichnet. Die Bedienungsweise unterscheidet sich nicht von der gewöhnlichen.

In Netzen mit starkem Verkehr läßt man die Verbindungsleitungen im Handamt an Mischwählern (1898) endigen, die bei Belegung der Leitung selbsttätig anlaufen und sich auf ein freies Anrufzeichen einstellen. Dadurch erreicht man eine gleichmäßige Verteilung der Anrufe auf alle *B*-Plätze, wobei die Zahl der bei einem Platze im Höchstfall vorliegenden unerledigten Anrufe beliebig (z. B. auf 3) beschränkt werden kann; ferner ist es in der betriebsschwachen Zeit möglich, alle Anrufe in einem *B*-Platze oder einigen wenigen *B*-Plätzen zuzuleiten.

(1860) Schaltungsbeispiel. In die Verbindungsleitungen müssen Relaisübertragungen eingebaut werden, die erst ein Zusammenarbeiten der Wähler mit den Handamtseinrichtungen ermöglichen; die Übertragungen sind je nach der Art des Handamts verschieden. Abb. 1161 zeigt ein Beispiel für den Verkehr mit einem Westernamt. In jede der zweiadrigen Verbindungsleitungen ist im SA-Amt und im Handamt eine Übertragung eingebaut. Der I. GW stellt sich beim Eindrehen auf eine freie Verbindungsleitung in der gewöhnlichen Weise ein. Das Prüfrelais *P* findet in der Übertragung Spannung über *f*, *c*, *C* 400; ist die Leitung besetzt, kann *P* nicht ansprechen, da seinen 1040 Ohm die 40 Ohm des Prüfrelais des bereits eingestellten I. GW parallelgeschaltet sind. Nach dem Ansprechen von *C* wird auch die zweite Wicklung (1600 Ohm) eingeschaltet. Ein Arbeitskontakt *c* bringt *A* (beim Handamt) zum Ansprechen (— 60 V, *w* 500, *f*, *c*, *a*-Leitung zum Handamt, *A* 500, *z*, +), *a* betätigt *AL* (— 24 V, *AL*, *a*, *t*, +).

Beim Einsetzen von *AS* wird *T* erregt (— 24 V, *SL*₁, *w* 85, $\frac{T 30}{Z 500}$, +; *Z* 500 spricht auf den geringen Stromanteil nicht an). Über *t* wird *AL* gelöscht, ferner *F* (beim SA-Amt) erregt (— 60 V, *F* 500, *b*-Leitung, *t*, *D*₁ 500, +); *f* legt Erde

¹⁾ Vgl. auch (1870).

statt der Spannung an die a -Leitung und macht so A stromlos. In der Schnur wird S_1 erregt (-24 V , $\ddot{U}, \frac{S_1 100}{S_1 w 200}, z, a, D_2 500, \ddot{U}, +$); mit s_1 wird SL_1 kurzgeschlossen. Wenn nach Ausführung der Verbindung bei Beantwortung des Anrufs die zweite Schlußlampe verschwindet, drückt die Beamtin die Zähltaste ZT und legt dadurch unmittelbar Spannung an Z . Dieses spricht nunmehr an und hält sich auch nach Loslassen von ZT ($-24\text{ V}, \frac{S_1, w 40}{SL_1}, w 85, \frac{Z 500}{T 30}, +$). Ferner

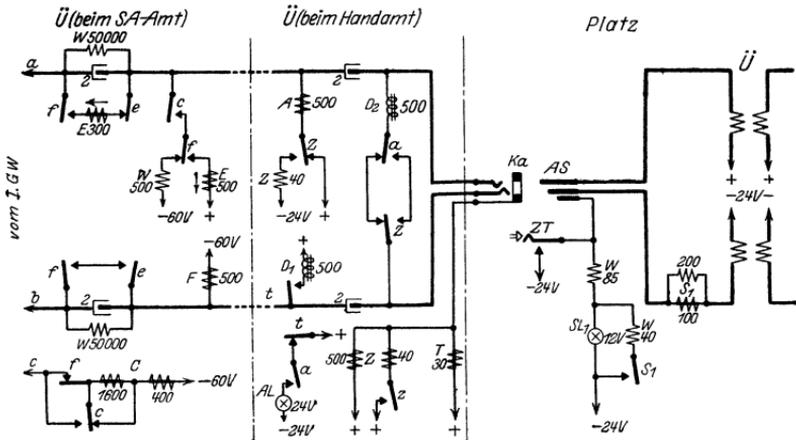


Abb. 1161. Schaltungsbeispiel für den Verkehr SA-Amt = Handamt. Schaltbild.

Lampe, Relais	I. GW			Ü (SA-Amt)			Ü (Handamt)			Platz		
	P	V ₁	Z	C	E	F	A	AL	T	Z	S ₁	SL ₁
1 Ltg. wird belegt	█	█		█				█	█			
2 AS wird gesteckt	█	█		█		█			█		█	
3 Beamtin zählt	█	█		█	█				█		█	
4 1 Tln. hängt an	█	█	█	█		█			█		█	█
5 Beamtin trennt	█	█		█		█			█		█	█

Zu Abb. 1161. Schaltungsbeispiel für den Verkehr SA-Amt= Handamt. Betriebsvorgänge.

legt z Spannung an die a -Leitung und erregt dadurch A und E ($-24\text{ V}, Z w 40, z, A 500, a$ -Leitung, $c, f, E 500, +$). S_1 bleibt über die Arbeitskontakte a und z unter Strom. In der Übertragung beim SA-Amt überbrücken e und f den Kondensator der b -Leitung und bereiten damit die Gesprächszählung vor. Hängt der 1. Tln. den Hörer an, so spricht im I. GW nach dem Abfallen von C das Relais Z an ($-60\text{ V}, F 500, \frac{e, f, b\text{-Leitung zum I. GW, } c, Z 500}{b\text{-Leitung zum Handamt, } t, D_1 500}, +$); es folgt dann in gewöhnlicher Weise die Gesprächszählung und die Auslösung der Wähler. Infolge Auftrennung der c -Leitung fällt in der Übertragung des SA-Amtes C ab und unterbricht den Stromweg für E und A . Im Handamt wird S_1 durch a stromlos

gemacht und laßt SL_1 aufleuchten. Beim Trennen der Verbindung fallen alle Relais ab; bis zu diesem Zeitpunkt bleibt die Leitung gegen weitere Anrufe gesperrt, da f die c -Leitung unterbricht.

Hängt der 1. Tln. an, ehe die Beamtin ZT gedrückt hat, so werden die Wähler zunächst nicht ausgelöst, da $V_1 850$ im I. GW gehalten wird ($-60V$, c, f, a -Leitung, $f, E 300, e, \frac{c, f, E 500}{a\text{-Leitung zum Handamt, } A 500, z, +}$).

Die beiden Wicklungen von E werden dabei in entgegengesetzter Richtung vom Strome durchflossen, so daß E nicht anspricht. Dagegen wird A erregt und macht S_1 stromlos, so daß SL_1 aufleuchtet. Drückt die Beamtin jetzt ZT , so wird beim Handamt über z Spannung (24 V) an die a -Leitung gelegt. Der $E 500$ durchfließende Gesamtstrom ist jetzt größer als der $E 300$ durchfließende Zweigstrom. E spricht an und erregt über die b -Leitung Z im I. GW. Gesprächszählung und Auslösung folgen dann in gewöhnlicher Weise.

Handelt es sich endlich um eine nicht gebührenpflichtige Verbindung, so trennt die Beamtin nach Aufleuchten der Schlußlampen, ohne ZT gedrückt zu haben. Durch das Abfallen von T wird F stromlos und trennt den Stromweg für $V_1 850$ im I. GW auf. Die Wähler werden ausgelöst, und zwar, da Z im I. GW nicht anspricht, ohne Gesprächszählung.

(1861) Verkehrsrichtung Handamt = SA-Amt. Grundsätzliches. An den A -Plätzen werden Kv -Klinken für den Verkehr nach SA-Ämtern in der erforderlichen Anzahl eingebaut (vgl. Abb. 1160). In eine freie Kv -Klinke fuhrt die A -Beamtin den Verbindungsstöpsel VS ein, wenn ein Handamtsteilnehmer eine Verbindung mit einem SA-Teilnehmer verlangt. Jede Klinke ist fest verbunden zunächst mit einer Relaisübertragung (\dot{U}^1), über diese mit einem Dienstwähler (DW) und endlich mit einem I. GW. Der DW^2 wird beim Einsetzen von VS angereizt, stellt sich auf einen freien Zahlengeber (ZG) ein und laßt an einem Tastensatz, der dem ZG fest zugeordnet ist, eine Anruf Lampe aufleuchten. Die den Tastensatz bedienende Beamtin (T -Beamtin) fragt ab und stellt die verlangte Nummer auf dem Tastensatz ein. Damit ist ihre

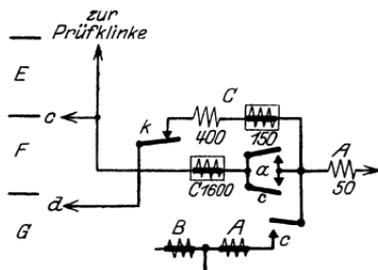


Abb. 1163. Vieradrige Zuführung zum II. Gruppenwähler (Deckblatt zu Abb. 1137).

Tätigkeit beendet; sie ist sogleich zur Weiterarbeit frei, falls auf dem zweiten, zu ihrem Arbeitsplatz gehörigen ZG inzwischen ein weiterer Anruf aufgelaufen ist. Mit der Überwachung, Zählung und Trennung der Verbindung hat die T -Beamtin keine Befassung. Der nach Einstellung des Tastensatzes selbsttätig ablaufende ZG entsendet die der eingestellten Nummer entsprechenden Stromstoßreihen zum I. GW und über diesen zu den folgenden Wählern. Nach beendeter Stromstoßgabe wird die Verbindung zwischen DW und ZG unterbrochen, so daß letzterer für einen neuen Anruf frei wird. Das durchschnittliche Leistungsmaß einer T -Beamtin beträgt 350 Verbindungen in der Stunde; es wird von gewandten Beamtinnen zu Zeiten lebhaften Verkehrs erheblich überschritten.

Da die Versorgung der anrufenden Stelle mit Mikrophonspeisestrom und die Gesprächszählung vom A -Platze aus erfolgen, genügt an Stelle des gewöhnlichen

¹⁾ Man kann auch jeder Kv -Klinke einen Mischwähler (1898) zuordnen, der beim Stecken des Stöpsels angereizt wird und sich auf einen freien I. (II.) GW (nebst DW) einstellt. Die Zahl dieser Schaltglieder kann dann niedriger bemessen werden.

²⁾ Der DW wäre entbehrlich, wenn jedem zu einer Kv -Klinke gehörenden I. GW ein ZG fest zugeordnet wäre. Dadurch würde aber der Bedarf an ZG , die doch nur während des Aufbaues der Verbindung gebraucht werden, außerordentlich steigen; die dafür aufzuwendenden Kosten wären erheblich höher als die Kosten für die DW . Die Verwendung von DW ermöglicht es ferner, stets nur soviel Personal zu beschäftigen, als der Verkehr erfordert.

I. GW (Abb. 1136) aus den unter (1855) erörterten Gründen ein Wahler nach der einfacheren Schaltung der II. GW (Abb. 1137), nur muß, da der DW mit dem zugehörigen I. GW in Schaltung der II. GW — künftig bezeichnet als GW — durch eine vieradrige Leitung verbunden ist (vgl. Abb. 1165), die Schaltung des Relais C des GW nach Maßgabe der Abb. 1163 geändert werden¹⁾. Bei Benutzung der Abb. 1137 ist also das Relais C durch Abb. 1163 überdeckt zu denken.

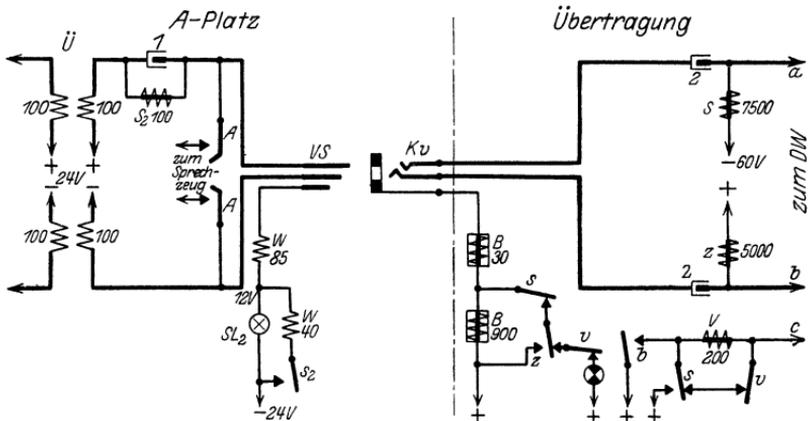


Abb. 1164. Schaltungsbeispiel für den Verkehr Handamt = SA-Amt. Schaltbild.

Ein Schaltungsbeispiel ist (für ein Western-Handamt) in Abb. 1164 dargestellt und unter (1864) besprochen. Eine Übersicht über die Betriebsvorgänge wird in Abb. 1165, a gegeben.

(1862) Dienstwähler. Als DW werden Drehwähler mit drei Schaltarmen und mit 25 Drehschritten verwendet; in einem Gestell werden 5 Rahmen zu je 10 DW untergebracht. Zu jedem DW gehören 3 Relais (Abb. 1165); von ihnen dienen A_n in der Hauptsache zum Anreizen des Drehmagnets und T_1 als Prüfreis (entsprechend den Relais R und T der VW), während T_2 die Verzweigung der hinausgehenden Stromstoße zum 1. Tln. verhilft. Der Unterbrecher U ist ein Relaisunterbrecher mit Stufenschaltung der unter (1848, a) beschriebenen Art. Die Schaltungsvorgänge im DW werden unter (1864) beschrieben; Abb. 1165 a enthält die Übersicht über die Betriebsvorgänge.

(1863) Zahlengabe, Tastensätze, Tastentische. Je ein ZG und Tastensatz sind einander zugeordnet und bilden schaltungstechnisch eine Einheit. Die ZG werden in zwei Ausführungsformen (S & H²⁾ und Autofabag) bezogen; Abb. 1162 (S. 758) zeigt die Schaltung des ZG der Autofabag. Der ZG enthält 23³⁾ Relais, die zu zwei austauschbaren Relaisätzen vereinigt sind. Der Tastensatz besteht aus mehreren Tastenstreifen mit je 11 Tasten, von denen die ersten 10 zum Einstellen der Ziffern 1 bis 0 dienen, während die 11. für besondere Zwecke (1868) verwendet wird. Die Tasten 1 bis 10 bleiben nach dem Niederdrücken in der Arbeits-

¹⁾ In Wirklichkeit entsprechen die II.-GW-Gestelle von vornherein der Abb. 1163, nur sind die Lötösen für die c - und d -Leitung untereinander durch eine Drahtbrücke verbunden, wodurch die Schaltung nach Abb. 1137 hergestellt wird. Beim Übergang zu vieradrigem Betriebe braucht also nur die Drahtbrücke entfernt zu werden.

²⁾ Die Schaltung des ZG von S & H weicht von der nachstehend beschriebenen Schaltung des ZG der Autofabag ab. Der auffälligste Unterschied besteht darin, daß er nur 5 statt 10 Ziffernrelais enthält. Jedes Ziffernrelais wird mit Hilfe einer Relaisumsteuerung für z w e i Ziffern benutzt (I für die Ziffern 1 und 2, II für die Ziffern 3 und 4 usw.).

³⁾ Einige nebensächlichen oder besonderen Zwecken dienende Relais sind in Abb. 1162 (S. 758) weggelassen.

lage; sie werden mechanisch ausgelöst, wenn in derselben Reihe eine andere Taste gedrückt wird. Die Anzahl der Tastenstreifen entspricht der Zahl der zum Aufbau einer Verbindung nötigen Stromstoßreihen, sie beträgt z. B. 5 in einem OFN mit fünfstelligen Anschlußnummern. Zum Einstellen der Anschlußnummer 63014

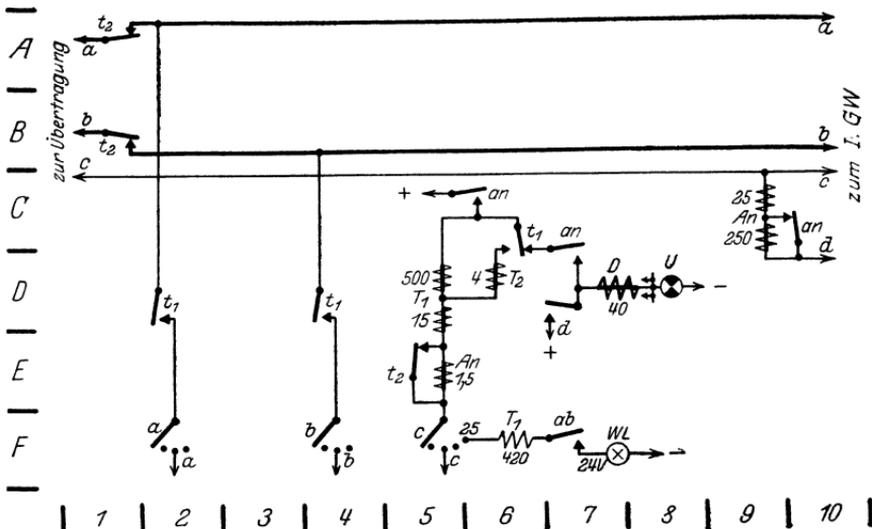


Abb. 1165. Dienstwähler. Schaltbild.

Relais oder Magnet	Wicklung	Viereck	Kontakt	Viereck
T_1	500 15 w 420	D 5 DE 5 F 6	a a u	D 2 D 4 CD 6
T_2	4	D 6	r r r	A 1 B 1 E 5
An	250 25 1,5	C 9 C 9 E 5	a a r	C 5, 6 CD 7 C 10
D	40	D 7	a	D 7

Zu Abb. 1165. Dienstwähler. Relaisübersicht.

Arbeitslagen. Solange sie (beim Einstellen) vollständig niedergedrückt sind (erste Arbeitslage), schließen sie außer den Arbeitskontakten $Te1$ bis $Te10$ noch einen zweiten Arbeitskontakt an . Dieser ist für alle 10 Tasten parallelgeschaltet und deshalb nur einmal dargestellt (Viereck H7). Beim Loslassen federn sie etwas zurück (zweite Arbeitslage), wobei der Kontakt an geöffnet wird, während der Kontakt $Te1$ (bis 10) geschlossen bleibt. Die Tasten $Tzt11$ bis $Te11$ lösen eine andere, in demselben Streifen gedrückte Taste nicht aus und kehren beim

wäre in dem ersten (10000- oder ZT-) Streifen die Taste 6, in dem zweiten (1000- oder T-) Streifen die Taste 3, in dem dritten (100- oder H-) Streifen die Taste 10 (0), in dem vierten (10- oder Z-) Streifen die Taste 1, in dem fünften (1- oder E-) Streifen die Taste 4 zu drücken. In Abb. 1162¹⁾, die fünfstelligen Anschlußnummern voraussetzt, sind die Tasten des ZT-Streifens mit $Tzt1$ bis $Tzt11$, die Tasten des T-Streifens mit $Tt1$ bis $Tt11$ usw. bezeichnet. Jede der Tasten 1 bis 10 der einzelnen Streifen schließt beim Niederdrücken einen Arbeitskontakt (z. B. Th_2 im Viereck D 16, 17). Abweichend von den Tasten der übrigen Streifen haben die Tasten $Te1$ bis $Te10$ zwei

¹⁾ In der zugehörigen Übersicht über die Betriebsvorgänge sind zum besseren Verständnis auch die Anzugs- und Abfallzeiten der Relais dargestellt.

Loslassen in die Ruhelage zurück. Solange sie gedrückt sind, betätigen sie einen Umschaltekontakt (z. B. $Tz\ 11$ Viereck $GH\ 7$). Die Kontakte an und die Arbeitskontakte $Tz\ 11$, $Tt\ 11$, $Th\ 11$ und $Tz\ 11^1$ lassen den ZG an, d. h. beim Schließen von an usw. beginnt die Entsendung der Stromstoßreihen.

Zum Tastensatz gehören noch eine Anruflampe AL (Viereck $K\ 7$) und eine Ablauflampe AbL (Viereck $G\ 14$). Jeder Arbeitsplatz enthält zwei Tastensätze nebst ZG, ferner eine Drängelampe DL (Viereck $L\ 7$) und einen — in Abb. 1162 fortgelassenen — Schalter, der gestattet, die Stromstöße statt auf die Betriebswähler auf die Wähler einer Tastenprüfeinrichtung wirken zu lassen. An einem im Abfrageamt angebrachten Lampenfeld (z. B. 5 Reihen zu je 10 Lampen) müssen beim Prüfen eines Tastensatzes die den gedrückten Tasten entsprechenden Lampen aufleuchten. Abweichungen zeigen Fehler des Tastensatzes (z. B. Drahtbrüche oder Nebenschließungen an den Tastenkontakten) oder des ZG an.

Lampe, Magnet, Relais		A- Platz	Übertragung				DW				I. GW	LW		
		SL ₂	B	S	V	Z	An	T ₁	T ₂	D	C	G	Q	
1	Ltg. wird belegt . . .	█	█											
2	DW läuft an . . .	█	█				█	█		█		█		
3	ZG läuft ab . . .	█	█				█		█			█		
4	2. Tln. meldet sich		█		█	█						█		█
5	Gesprächszustand .		█		█	█						█		█
6	2. Tln. hängt an .	█	█		█	█						█		█
7	Beamtin trennt . .		█		█	█						█		█

Abb. 1165a. Schaltungsbeispiel für den Verkehr Handamt=SA-Amt und Dienstwähler. Betriebsvorgänge.

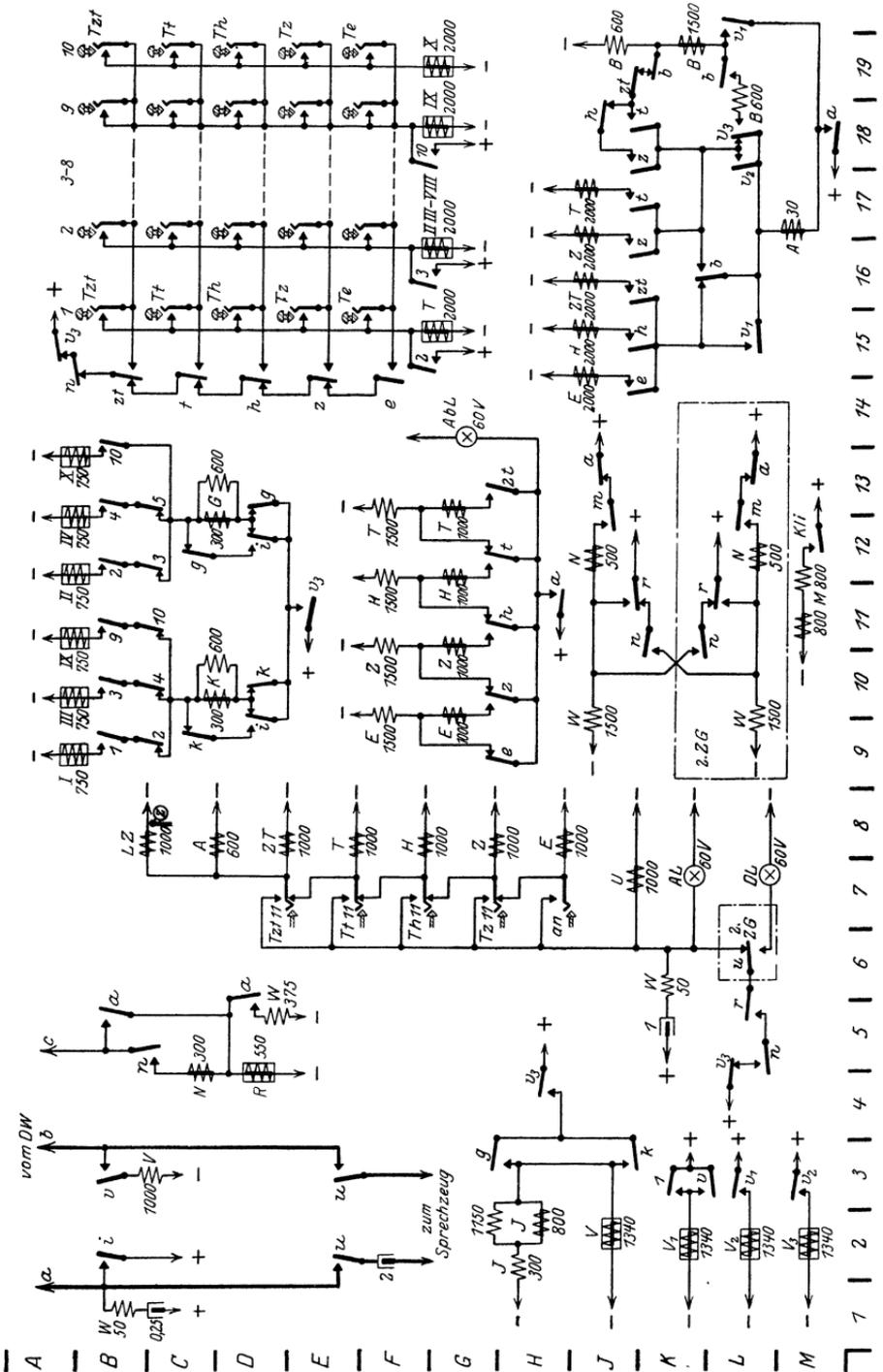
Je zwei Arbeitsplätze sind zu einem Arbeitstisch vereinigt, der in Form und Abmessungen ungefähr dem Meldetisch entspricht. Im Innern des Arbeitstisches sind die ZG-Relaisätze eingebaut.

Die Relais des ZG können nach ihren Aufgaben in folgende Gruppen eingeteilt werden: a) Relais zur Bereitstellung des ZG: M , N . b) Relais für das Auflaufen des DW und zum Anlassen des ZG: R , U , C , A . c) Reihenrelais: ZT , T , H , Z , E . d) Relaiskette zum Abwerfen der Reihenrelais: V , V_1 , V_2 , V_3 , B . e) Relaiskette für die Stromstoßgabe: G , J , K . f) Ziffernrelais: I bis X .

Die Wirkungsweise des ZG usw. im einzelnen ist unter (1864) beschrieben.

An Stelle der erwähnten, nur aus Relais bestehenden ZG (Relaiszahlengabe) waren früher Maschinenzahlengabe im Gebrauch, die auf besonderen Zahlengabertischen aufgebaut waren. Wagrecht über den Tisch verlief eine dauernd von einem Motor angetriebene Welle; ferner waren auf dem Tisch 12 Aggregate, die ebensovielen Tastensätzen zugeordnet waren, nebst den erforderlichen Relais untergebracht. Die Aggregate bestanden aus einer Anzahl kreisförmiger Scheiben, die auf eine gemeinsame Welle aufgesetzt waren. Der Rand der Scheiben trug Nocken in verschiedener Zahl und Anordnung. Ein Aggregat wurde elektromagnetisch mit der Hauptwelle gekuppelt, wenn an dem zugehörigen Tastensatz eine E-Taste gedrückt wurde; nach Vollendung einer Um-

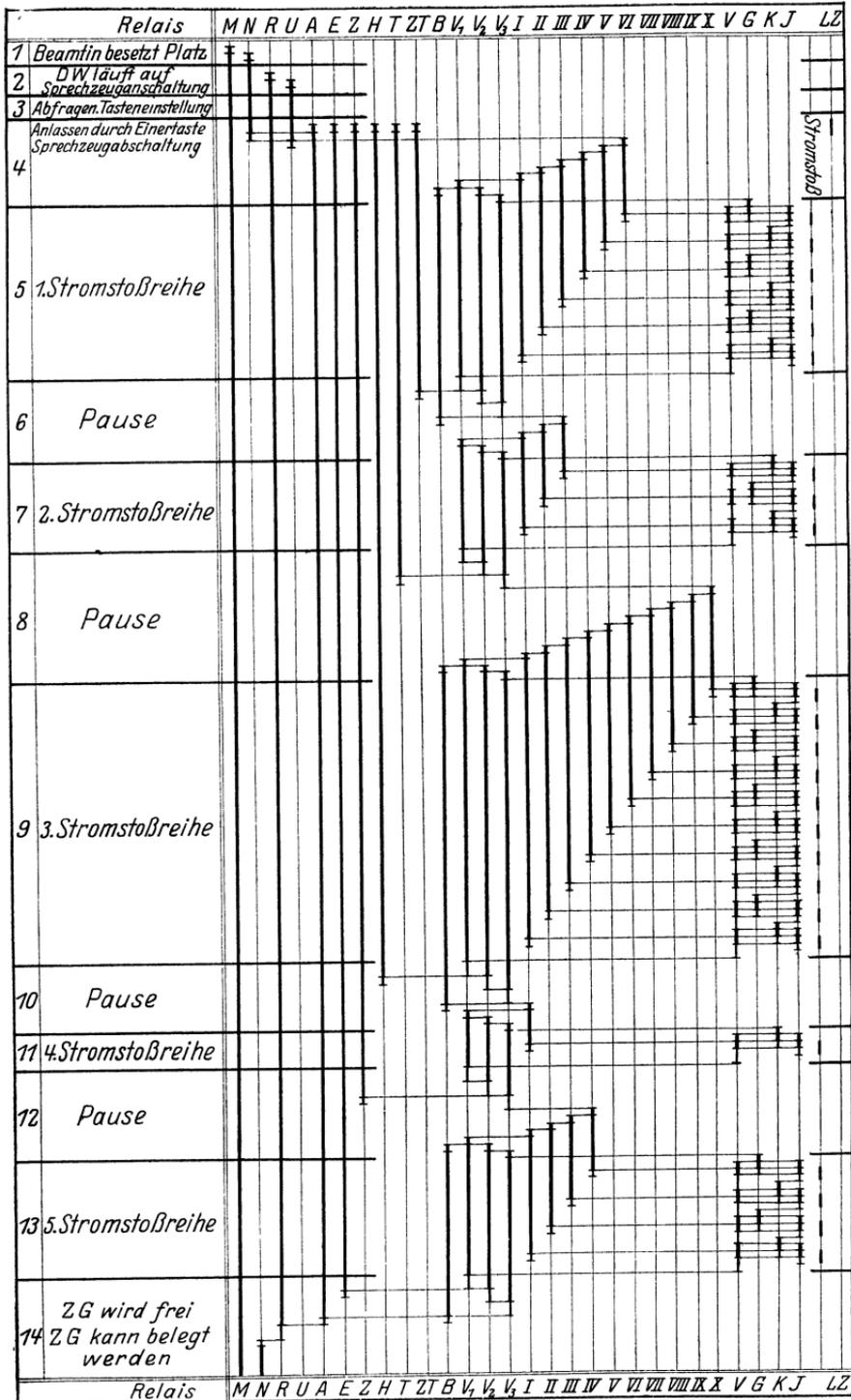
¹⁾ Die Taste $Tz\ 11$ (in Abb. 1162 nicht dargestellt) wird zum Anlassen des ZG nicht benötigt; sie kann für besondere Zwecke (z. B. Betätigung eines Weckers zum Herbeirufen des Aufsichtsbeamten) benutzt werden.



Re-lais	Wick-lung	Viereck	Kon-takt	Viereck	Re-lais	Wick-lung	Viereck	Kon-takt	Viereck	Re-lais	Wick-lung	Viereck	Kon-takt	Viereck	Re-lais	Wick-lung	Viereck	Kon-takt	Viereck
A	600	CD8	a	B5	N	300	C4,5	a	BC5	U	1000	JK7	a	EF2	E	1000	G9,10	a	F14,15
	30	LM17	a	D5,6 H11 M18		500	J12	a	L5 K10,11 A14,15	U*	—	—	a	EF3		2000	HJ8	a	JK14
			r	J13				r								w1500	F9,10	r	GH9
A*	—	—	r	L13	N*	500	L12	a	K10,11	I	750	AB9	a	K3		1000	G10,11	a	JK16
			r					a			2000	FG15	a	B9	Z	1000	GH8	a	JK17,18
B	w1500	K19	a	L19	R	550	D4,5	a	L5,6 JK11	II	750	AB11,12	a	B12		2000	J16,17	w	GH10
	w600	J19	r	K19				w			2000	FG16,17	r	FG15		w1500	F10,11	w	E14,15
	w600	L18,19	w	KL16	R*	—	—	w	L11					BC9					
G	300	CD12	a	GH3	V	1340	J2	a	KL3	III	750	AB10	a	B10		1000	G11,12	a	JK15
	w600	CD13	r	C12		w1000	BC3	a	B3				r	FG16	H	1000	FG8	r	J18
			r	D12,13				a								2000	J15	w	GH11
K	300	CD10	a	JK3	V1	1340	K2	a	L3	IV	750	AB12,13	a	B13					
	w600	CD10	r	C9				a	L15 L19				r	BC10		1000	G12,13	a	JK17
			r	D10	V2	1340	L2	a	M3	V	—	—	r	BC13	T	1000	EF8	a	JK18
J	800	H2	a	B2				a	L17,18	IX	750	AB11	a	B11					
	w300	H2	w	D9,10				r	H4		2000	FG18				2000	J17	w	GH12
	w1150	GH2	w	D12	V3	1340	M2	w	E11							w1500	F12,13	w	C14,15
M	800	M11	a	J12,13				r	L4,5	X	750	AB13,14	a	B14		1000	DE8	a	GH13
	w800	M11,12	a	L12,13				w	A15 L18		2000	FG19	r	FG18	ZT	2000	J16	r	JK16

Zu Abb. 1162. Relaiszahlengeber (Autofabag). Relaisübersicht.

* des 2. ZG.



Zu Abb. 1162. Relaiszahlengabe (Autofabag). Betriebsvorgänge.

drehung wurde die Kupplung selbsttätig wieder aufgehoben. Während des Umlaufs betätigten die Nocken feststehend angebrachte Kontakte. So schlossen z. B. die Nocken einer Scheibe einen Kontakt, welcher während der einzelnen Stromstoßreihen Spannung an die *b*-Leitung legte zur Erregung des Relais *B* in den Wählern während des Hebevorgangs. Die 50 Nocken einer anderen Scheibe (5 Gruppen zu je 10 Nocken) erdeten, wenn auf dem Tastensatz die Nummer 00000 eingestellt war, fünfzigmal (zehnmal in jeder Stromstoßreihe) die *a*-Leitung zur Steuerung des Relais *A* in den Wählern. Waren in den einzelnen Tastenstreifen niedrigere Ziffern als 0 (10) eingestellt, so betätigten die Nocken zwar in jeder Stromstoßreihe zehnmal den Stromstoßkontakt, jedoch wurde von diesem Kontakt die Erde abgetrennt, sobald die der eingestellten Ziffer entsprechende Anzahl von Stromstößen abgegeben war. Zu diesem Zweck trug die Welle des Aggregats noch einen Sucherarm, der während einer Umdrehung 5 Gruppen zu je 10 Kontakten bestrich. Diese Kontakte waren mit den Kontakten der 50 Tasten des Tastensatzes verbunden. Gelangte der Sucher in der 1. Stromstoßreihe auf den Kontakt, welcher der gedrückten ZT-Taste zugeordnet war, so wurde ein Relais erregt, welches für den Rest der Stromstoßreihe die Erdverbindung des Stromstoßkontaktes auftrennte. In gleicher Weise wiederholte sich der Vorgang in den folgenden Stromstoßreihen.

Die Relaiszahlengabe erfordern geringere Beschaffungs- und Unterhaltungskosten als die Maschinenzahlengabe, außerdem wird der Platz für die Zahlengebirtsche erspart.

(1864) Schaltungsbeispiel (Abb. 1162, S. 758). a) Einer der beiden ZG eines Platzes wird für das Auflaufen eines Anrufs bereitgestellt, wenn die *T*-Beamtin ihr Sprechzeug einschaltet und damit den Einschaltklinkenkontakt *kli* (Viereck *M* 12) schließt. Über *kli* wird *M* und über dieses *N* erregt (—, *w* 1500, *N* 500, *m*, *a*, +). Der gleiche Stromweg wird auch für *N* des 2. ZG geschlossen, doch wird *N* zunächst über *n*, *r* des 1. ZG kurzgeschlossen. Der 2. ZG wird also erst aufnahmebereit, wenn im 1. ZG dieser Kurzschluß unterbrochen wird.

b) Schaltvorgänge bis zum Auflaufen des Anrufs auf den ZG. Die *A*-Beamtin des Handamts ermittelt, wenn ein Tln. eine Verbindung mit einem SA-Tln. verlangt, in gewöhnlicher Weise durch Knackkontrolle eine freie *Kv*-Klinke (Abb. 1164) und setzt *VS* ein. In der Übertragung, über welche beim Handamt die belegte Verbindungsleitung geführt ist, wird *B* erregt (—24 V, *S* *L*₂, *w* 85, *B* 30 + 900, +). *B* 900 wird jedoch taktmäßig kurzgeschlossen (über *s*, *z*, *v*, *U*); das dadurch verursachte Flackern von *S* *L*₂ deutet der Beamtin an, daß die Verbindung noch nicht gezählt werden darf. Ein Kontakt *b* bringt *An* im DW (Abb. 1165) und *C* im GW (Abb. 1137, 1163) zum Ansprechen (+, *b*, *s*, *v*, *c*-Leitung zum DW, *An* 25, *an*, *d*-Leitung zum GW, *k*, *C* *w* 400, *C* 150, *A* *w* 50, —); nach dem Ansprechen von *An* wird auch *An* 250 in den Stromweg eingeschaltet. Im DW wird über *an* der Drehmagnet *D* angereizt (—, *U*, *D* 40, *an*, *t*₁, *an*, +). Die Drehbewegung kommt zum Stillstand, wenn ein freier ZG (Abb. 1162) erreicht ist; *T*₁ spricht dann an (+, *an*, *T*₁ 500 + 15, *t*₂, *c*-Arm, *c*-Leitung zum ZG, *n*), *N* 300, *R* 550, —) und unterbricht den Stromweg für *D*. Kontakte von *T*₁ schalten ferner die Sprechleitungen zum Platz durch, endlich wird *T*₁ 500 mit *t*₁, *T*₂ 4 überbrückt. *T*₂ spricht seiner geringen Empfindlichkeit wegen zunächst nicht an. Der ZG ist nun gegen das Auflaufen eines weiteren DW gesperrt, da dem Prüferelais *T*₁ 500 + 15 des suchenden DW der niedrige Widerstand *T*₂ 4 + *T*₁ 15 im eingestellten DW parallelgeschaltet ist.

Im ZG wurde beim Auflaufen des DW über die *c*-Leitung *R* erregt. Ein Umschaltkontakt *r* hebt den Kurzschluß für *N* des 2. ZG auf und macht diesen aufnahmebereit, ferner schließt er *N* 500 des 1. ZG kurz. *N* hält sich zunächst jedoch weiter über *N* 300 (in der *c*-Leitung zum DW). Ein Arbeitskontakt *r* betätigt die Anruflampe *AL* und *U* (—, $\frac{AL}{U 1000}$, *u* des 2. ZG, *r*, *n*, *v*₃, +). *U* schaltet

1) *N* ist erregt (vgl. untera).

die Sprechleitungen zum Sprechzeug der *T*-Beamtin durch (*a*-Leitung, t_1 im DW, *a*-Arm des DW, *u*, Kondensator $2\mu\text{F}$, Sprechzeug, *u*, *b*-Arm des DW, t_1 im DW, *b*-Leitung).

c) Anlassen des ZG. Die *T*-Beamtin fragt nach dem Aufleuchten von *AL* ab und stellt die verlangte Nummer — etwa 63014 — auf dem Tastensatz ein. Beim Niederdrücken der E-Taste wird *an* vorübergehend geschlossen (1863); dadurch werden die Reihenrelais *ZT*, *T*, *H*, *Z* und *E* erregt (—, *ZT* 1000, *Tzt* 11, *Tt* 11, *Th* 11, *Tz* 11, *an*, *u* des 2. ZG, *r*, *n*, v_3 , +; ebenso —, *T* 1000, *Tt* 11, *Th* 11 usw.). Die gleiche Erdverbindung über *an* betätigt ferner *A* 600 und den Leistungszähler *LZ* 1000, welcher die Zahl der über den ZG hergestellten Verbindungen angibt. Kontakte *a* schließen *N* 300 kurz, legen w 375 parallel zu *R* 550, unterbrechen die Erdverbindung für *N* 500 und setzen die Ablauflampe *AbL* unter Strom. Die ersten beiden Änderungen bewirken eine wesentliche Verminderung des Widerstandes der *c*-Leitung vom DW, so daß nunmehr T_2 4 im DW anspricht und die Sprechleitung zum Handamt vorübergehend — für die Dauer der Stromstoßgabe — unterbricht. Ferner hebt t_2 den Kurzschluß für *An* 1,5 auf; über diese Wicklung hält sich *An* später (vgl. unter d).

Mit dem Abfallen von *N* erlischt *AL*, ferner wird *U* stromlos, so daß auch die Verbindung zwischen Sprechleitungen und Sprechzeug unterbrochen wird. Endlich werden über *a* die Reihenrelais *ZT*, *T* usw. sowie *A* selbst gebunden

$$\left(-, \frac{\frac{ZT\ 2000, zt}{H\ 2000, h}}{\frac{E\ 2000, e}{T\ 2000, t}}, A30, a, + \text{ und } -, \frac{\frac{T\ w\ 1500, T\ 1000, zt}{H\ w\ 1500, H\ 1000, t}}{\frac{Z\ w\ 1500, Z\ 1000, h}}{E\ w\ 1500, E\ 1000, z}}, a, +\right).$$

d) 1. Stromstoßreihe. Beim Abfallen von *N* wird das der gedrückten Taste *Tzt* 6 entsprechende Ziffernrelais *VI* erregt (—, *VI* 2000, *ZT* 6, zt , *n*, v_3 , +), welches das Ziffernrelais *V* unter Strom setzt (—, *V* 2000, 6, +). In gleicher Weise werden die Ziffernrelais *IV*, *III*, *II* und *I* betätigt. Nunmehr sprechen der Reihe nach die Relais V_1 , V_2 und V_3 der Abwerfkette an (—, V_1 1340, 1, +; —, V_2 1340, v_1 , +; —, V_3 1340, v_2 , +). v_3 erregt das Relais *G* der Kette für die Stromstoßgabe (—, *VI* 750, 6, 7, $\frac{G\ 300}{G\ w\ 600}$, $\frac{g}{i}$, v_3 , +); über diesen Stromweg hält sich auch *VI* nach dem Ansprechen von V_3 . Über *g* erhalten *V* und *J* Strom (V 1340, J 800, J 300, J 1150, g , v_3 , +) und legen Erde bzw. Spannung an die *a*- und

b-Leitung zum GW, so daß dort *A* und *B* ansprechen (+, *i*, *a*-Leitung zum DW, *a*-Arm, t_1 , *a*-Leitung zum GW, p , *A* 1000, —; —, *V* w 1000, v , *b*-Leitung zum DW, *b*-Arm, t_1 , *b*-Leitung zum GW, p , *B* 1000, +). Die Kontakte *i* und *v* haben also dieselben Aufgaben, wie *a* und v_2 im I. GW (Abb. 1136); *i* übermittelt die Stromstöße, während *v* für die Dauer der Stromstoßreihe *B* im GW bzw. LW erregt.

Es leuchtet ein, daß das Stromstoßrelais *J* im Gegensatz zu *V* nur kurze Zeit in Arbeitsstellung bleiben darf; hierfür sorgt die von *J*, *G* und *K* gebildete Relaiskette. Beim Ansprechen unterbricht *J* den Stromweg für *G* und *VI* 750; *g* trennt die Erdverbindung für *J* und *V* auf. Während *J* nun (mit geringer Verzögerung) abfällt, wird der Anker des mit starker Kupfermanteldämpfung arbeitenden Relais *V* gehalten, bis die Erdverbindung erneut, diesmal über *k*, hergestellt wird. *K* wird nach dem Abfallen von *VI*, das nur schwache Kupfermanteldämpfung hat, erregt (—, *V* 750, 5, 6, $\frac{K\ 300}{K\ w\ 600}$, $\frac{k}{i}$, v_3 , +); in diesem Stromweg wird *V* auch nach dem Abfallen von *VI* gebunden. Über *k*, v_3 kommt außer *V* auch *J* erneut unter Strom, so daß die *a*-Leitung zum GW zum zweiten Male

geerdet wird. Beim Ansprechen von J werden K und $V750$ stromlos, so daß die Erdverbindung für J und V wiederum unterbrochen wird. J und V fallen ab; dagegen wird, bevor der Anker von V abfällt, nun wieder G (und $IV750$) erregt (—, $IV750$, 4, 5, usw.). Über g erhalten J und V wiederum Strom, es wird der dritte Stromstoß entsandt.

In gleicher Weise wiederholen sich die Vorgänge, bis nach Entsendung des 6. Stromstoßes K und I abfallen. Jetzt kann G nicht wieder ansprechen, die Erdverbindung für J und V bleibt unterbrochen, so daß nunmehr auch V abfällt. v trennt die Stromwege für B im GW, ferner für V_1 , welches inzwischen (außer über 1) auch über v geerdet war, auf. Nacheinander fallen dann V_2 und V_3 ab.

Nunmehr ist die Entsendung der 2. Stromstoßreihe vorzubereiten, indem ZT abgeworfen wird, die übrigen Reihenrelais aber gehalten werden. Diesem Zweck dient das Relais B , welches beim Ansprechen von V_1 erregt wurde (—, $Bw600$, $B1500$, v_1 , a , +) und sich dann bis zum Abfallen von V_3 hielt (—, $Bw600$, $B1500$, b , $Bw600$, v_3 , $A30$, a , +). Nach dem Ansprechen von B verläuft der Haltkreis für $ZT2000$ über v_1 statt über b . Auf dieselbe Weise werden auch $H2000$ und $E2000$ gehalten; für diese beiden Relais (nicht auch für ZT) besteht ein zweiter Haltkreis über $Hw1500$, $H1000$, t , a bzw. $Ew1500$, $E1000$, z , a . Beim Abfallen von V_3 wird ZT stromlos, während H und E über den zweiten Haltkreis gebunden bleiben. Nach dem Abfallen von B erhalten $H2000$ und $E2000$ erneut Strom, nicht aber ZT . Die Reihenrelais T und Z bleiben erregt sowohl über die Wicklungen zu 2000Ω (erst über b , dann über v_3), als auch über die Wicklungen zu 1000Ω .

Der GW arbeitet unter dem Einfluß der Stromstöße in gewöhnlicher Weise. Nachdem beim 1. Höhenschritt der Kopfkontakt k in die Arbeitslage umgelegt ist, wird C über die c -Leitung vom DW gehalten (—, $Aw50$, c , $C1600$, c -Leitung zum DW, c -Leitung zur Übertragung, v , s , b , +). An im DW bleibt über $An1,5$ (in Reihe mit T_115 usw.) gebunden. Beim Eindrehen belegt der GW einen freien II. GW im SA-Amt.

e) 2. Stromstoßreihe. Nach dem Abfallen von ZT und V_3 werden über die Taste $Tt3$ das Ziffernrelais III (—, $III2000$, $Tt3$, t , zt , n , v_3 , +), ferner II und I (—, $II2000$, 3, +; —, $I2000$, 2, +) und endlich (in gleicher Weise wie unter d) V_1 , V_2 und V_3 erregt. Mit dem Ansprechen von V_3 beginnt erneut das Wechselspiel zwischen J einerseits, G und K andererseits, jedoch arbeitet während des 1. Stromstoßes diesmal¹⁾ nicht G , sondern K ; v legt wieder Spannung an die b -Leitung zum GW. Abweichend von den Vorgängen bei der 1. Stromstoßreihe spricht B nicht an, da es über b , zt , t , v_3 (später v_2), $A30$ kurzgeschlossen ist; auch nach dem Abfall von V_2 kann es nicht ansprechen, da inzwischen bei v_1 seine Erdverbindung aufgetrennt ist. Nach dem Abfallen von V_2 wird T^2 , welches sich zunächst über v_3 , dann über v_2 hielt (—, $T2000$, t , v_3 — später v_2 —, $A30$, a , +), stromlos, dagegen bleiben H , Z und E gebunden.

Die Stromstöße wirken in gewöhnlicher Weise auf den II. GW des SA-Amtes.

f) 3. bis 5. Stromstoßreihe. Es wiederholen sich die unter d und e beschriebenen Vorgänge. In den einzelnen Stromstoßreihen werden die Ziffernrelais X bis I , dann I , endlich IV bis I erregt. Das Relais B tritt wieder nur in den ungeraden Stromstoßreihen (der 3. und 5.) in Tätigkeit.

Die Stromstöße wirken in gewöhnlicher Weise auf den III. GW und LW des SA-Amtes.

g) Freiwerden des ZG. Nach der letzten Stromstoßreihe ist beim Abfallen von V_1 auch E stromlos geworden, welches als letztes Ziffernrelais noch gebunden war (—, $E2000$, e , v_1 , $A30$, a , +). Kurz darauf unterbricht der abfallende Kontakt v_3 auch den Stromweg für B und A (—, $Bw600$, $B1500$, b , $Bw600$, v_3 , $A30$, a , +). Jetzt wird bei a die c -Leitung vom DW aufgetrennt;

¹⁾ Aus der Zeichnung ist ersichtlich, daß bei geraden Ziffern G , bei ungeraden Ziffern K zuerst arbeitet.

²⁾ Der Stromweg für $T1000$ ist bei zt unterbrochen.

R im ZG sowie An , T_1 und T_2 im DW fallen ab. Die drei von der Übertragung kommenden Leitungen sind im DW jetzt unmittelbar zum GW durchgeschaltet, alle Abzweigungen zu den Teilen des DW und zum ZG sind abgetrennt.

Daß der DW, der keine Ruhestellung hat, auf den zum ZG führenden Kontakten stehen bleibt, ist ohne Bedeutung, da im DW alle drei Leitungen isoliert sind.

Ob N im freigewordenen ZG sofort wieder anspricht und den ZG durch Schließen der c -Leitung für einen neuen Anruf aufnahmefähig macht, richtet sich danach, ob auf den 2. ZG inzwischen ein Anruf aufgelaufen ist oder nicht. Im ersten Falle ist R im 2. ZG erregt und hat den Kurzschluß für $N500$ im 1. ZG (über n , r des 2. ZG) aufgehoben; ist der 2. ZG bereits angelassen, so ist der Kurzschluß auch noch bei n im 2. ZG unterbrochen. Hat sich dagegen kein Anruf auf den 2. ZG eingestellt, so bleibt N im 1. ZG kurzgeschlossen, N im 2. ZG dagegen erregt; ein Anruf kann also auf den 2., nicht aber auf den 1. ZG auflaufen.

h) Anruf des 2. Tln., Gespräch, Gesprächszählung, Schlußzeichen. Da nach dem Abfallen von T_2 im DW die Sprechleitungen vom Handamt zum SA-Amt durchgeschaltet sind, so hört der 1. Tln. das vom LW während des Rufens nach rückwärts gegebene Freizeichen. Der A -Beamtin sagt das unverändert andauernde Flackern von SL_2 , daß sie die Zähltaste noch nicht drücken darf (vgl. unter b). Wird der Ruf nicht beantwortet und hängt der 1. Tln. den Hörer an, so trennt die A -Beamtin, ohne zu zählen. Bei Beantwortung des Rufs geht dagegen der LW in die Steuerschalterstellung 8 und jetzt werden Q im LW sowie S und Z in der Übertragung erregt (— in der Übertragung, $S7500$, a -Leitung über die GW zum LW, $V. 8$, $Q750$, +; — im LW, $G750$, u , g , b -Leitung über die GW zur Übertragung, $Z5000$, +). Kontakte von S heben die Kurzschlüsse für $B900$ und $V200$ (in der c -Leitung) auf; SL_2 erlischt, da sie jetzt mit $w85$ und $B30 + 900$ in Reihe liegt. Die A -Beamtin bewirkt nunmehr die Gesprächszählung.

Durch das Ansprechen von Z ist die Schlußzeichengabe vorbereitet. Hangt der 2. Tln. den Hörer an, so schreitet der Steuerschalter des LW nach Stellung 9 (oder 11). Der Stromweg für Q im LW und S in der Übertragung wird unterbrochen, während Z erregt bleibt (über — im LW, $G750$, u , $V. 9$ usw.). $B900$ ist über s , z kurzgeschlossen, SL_2 glüht auf.

i) Auslösung. Wenn die A -Beamtin nach Eingang beider Schlußzeichen VS zieht, so fällt in der Übertragung B ab und trennt die c -Leitung zum GW auf. Infolgedessen werden dieser und darauf die folgenden Wähler ausgelöst. Auch Z in der Übertragung fällt ab, da im GW die b -Leitung (über p , $B1000$) jetzt geerdet ist.

(1865) Drängelampe. Wenn nach Belegung eines ZG (U erregt) auch auf den 2. ZG ein Anruf aufläuft (N und R erregt), so leuchtet die Drängelampe DL auf (—, DL , u im 1. ZG, r , n , v_3 im 2. ZG, +). Die T -Beamtin wird dadurch zur Beschleunigung ihrer Arbeit veranlaßt.

(1866) Warteeinrichtung. Es kann vorkommen, daß ein prüfender DW sich nicht auf einen ZG einstellen kann, weil alle ihm zugänglichen ZG bereits mit Anrufen belegt sind oder an zugehörigen Arbeitsplätzen keine Beamtin eingeschaltet ist. Um nutzloses Drehen des DW zu vermeiden, ist der 25. Drehschritt als Warteschritt geschaltet. Auf ihn prüft T_1 , wenn keiner der zugänglichen ZG anrufbereit und ein dem DW-Rahmen zugeordnetes Abschalterelais Spannung an den c -Kontakt des 25. Drehschrittes legt (+, an , $T_1500 + 15$, t_2 , c -Arm, Drehschritt 25, T_1w420 , Kontakt ab des Abschalterelais, WL , —; Abb. 1165). WL ist eine Wartelampe, die aufleuchtet, nachdem T_1500 über t_1 , T_24 kurzgeschlossen ist. Die Wartelampen der einzelnen DW sind, zu einem Lampenfeld vereinigt, im Abfrageamt untergebracht; sie geben ein Bild, wieviele Anrufe keinen arbeitsbereiten ZG finden und veranlassen den Aufsichtsbeamten, gegebenenfalls das Abfragepersonal zu verstärken.

Wenn ein dem DW zugänglicher ZG frei wird, trennt das Abschalterelais die Spannung von der *c*-Leitung ab; T_1 fällt ab und der Drehmagnet kommt erneut unter Strom. Damit nicht zahlreiche auf dem Warteschritt stehende DW gleichzeitig anlaufen, werden die Abschalterelais der Rahmen, denen der freigewordene ZG zugänglich ist, nicht gleichzeitig beeinflußt, sondern eine Relaiskette sorgt für zweckdienliche Zeitunterschiede.

(1867) Zahlengeber für 4 oder 6 Stromstoßreihen. Der beschriebene ZG für 5 Stromstoßreihen eignet sich auch für OFN mit vierstelligen Anschlußziffern. Im ZG sind die Wicklungen von *Z T* zu isolieren. Der Tastensatz erhält nur 4 Tastenstreifen; die Zuführung von *A 600* und *LZ 1000* ist an *Tt11* (statt *Tzt11*) zu legen.

Für OFN mit sechsstelligen Anschlußnummern ist, entsprechend dem im Tastensatz hinzukommenden 100000-(HT-)Streifen, im ZG an einer dafür freigelassenen Stelle ein Ziffernrelais *HT* hinzuzufügen. Für *Z T* kommen die Wicklungen *Z T w 1500* und *Z T 1000* (entsprechend *T w 1500* und *T 1000*) hinzu. Die Zuführung von *A 600* und *LZ 1000* ist an *Th11* zu legen.

(1868) Unterdrückung von Stromstoßreihen. Unter Umständen hat die *T*-Beamtin Verbindungen nach mehreren SA-Ämtern zu vermitteln, deren Anschlußnummern in der Stellenzahl nicht übereinstimmen¹⁾. Angenommen sei, daß neben fünfstelligen Anschlußnummern auch dreistellige Nummern einzustellen seien. Die unter (1864) beschriebene ZG-Schaltung eignet sich ohne Abänderungen auch für diese Aufgabe. Die dreistelligen Nummern werden auf den drei ersten Tastenstreifen eingestellt, während die beiden letzten Streifen unbenutzt bleiben. Zum Anlassen des ZG wird an Stelle einer *E*-Taste die 11. Taste des letzten benutzten Streifens gedrückt, in dem angenommenen Beispiel also *Th11*. Über diese werden *Z T*, *T*, *H* und *A* erregt (—, *Z T 1000*, *Tzt11*, *Tt11*, *Th11*, *u* des 2. ZG, *r*, *n*, *v*₃, +; —, *T 1000*, *Tt11*, *Th11* usw.). Der ZG läuft nun in der gewöhnlichen Weise ab; er kommt nach der 3. Stromstoßreihe zum Stillstand, da *Z* und *E* nicht erregt sind.

(1869) Unterbringung der Zahlengeber im SA-Amt. In Abb. 1160 verläuft die Verbindungsleitung zwischen den Ausgängen der I. GW und den II. GW; mithin können mehrere SA-Ämter (über verschiedene Höhenschritte der I. GW) angeschlossen werden. Die Verbindungsleitung kann aber auch zwischen *Ü* und DW gelegt werden, d. h. DW und ZG können auch beim SA-Amt untergebracht werden. An den *A*-Plätzen sind dann für jedes SA-Amt besondere Verbindungsklinken *Kv* vorzusehen. Mit dem Stecken einer solchen Klinke wird also eine feste Verbindung mit einem Wähler des verlangten SA-Amtes hergestellt. Damit entfällt aber die Notwendigkeit der ersten Wahlstufe, die Verbindungsleitung kann also beim SA-Amt gleich an einen II. GW herangeführt werden. Die *T*-Beamtin muß dann beim Einstellen des Tastensatzes die erste Ziffer der Anschlußnummer unterdrücken.

Die letztere Ausführungsform ist meist nur wirtschaftlich, wenn ein einziges SA-Amt vorhanden ist und während der Lebensdauer des Handamts weitere SA-Ämter nicht einzurichten sind.

F. Verkehr nach Dienststellen.

(1870) Gebührenfreier Verkehr nach Dienststellen. Bestimmungsmäßig sind für den Anruf gewisser Dienststellen, wie Meldeamt, Auskunft, Störungsstelle, Schnellverkehrsamt, keine Gesprächsgebühren anzurechnen. Zur Unterdrückung der Zählung führt man diesen Dienststellen, da die selbsttätige Gesprächszählung vom LW eingeleitet wird, die Anrufe von einem GW statt vom LW aus zu, und zwar in der Regel vom I. GW, so daß für den Anruf nur eine Ziffer mit der *NS* einzustellen ist. Man nutzt also ebenso wie im Verkehr nach Handämtern

¹⁾ Dieser Fall tritt insbesondere bei der Vermittlung von Verbindungen für Fern- und Schnellverkehrsplätze ein (1881, 1884).

(1859) diejenigen Höhengritte der I. GW, welche für Verbindungen zu Tln. nicht benötigt werden, aus. Die 10 Ausgänge jedes dieser Höhengritte führen nicht zu II. GW, sondern zum Meldeamt usw.

Abb. 1166 gibt ein Beispiel einer Schaltung zum Anruf des Meldeamts, der Auskunft oder der Störungsstelle. Die dargestellte Verbindungsleitung kann nur belegt werden, wenn an dem Platze, an dem sie auf Anrufzeichen liegt, das Sprechzeug eingeschaltet (kli geschlossen) und dadurch M erregt ist (—, $M 800$, $M w 800$,

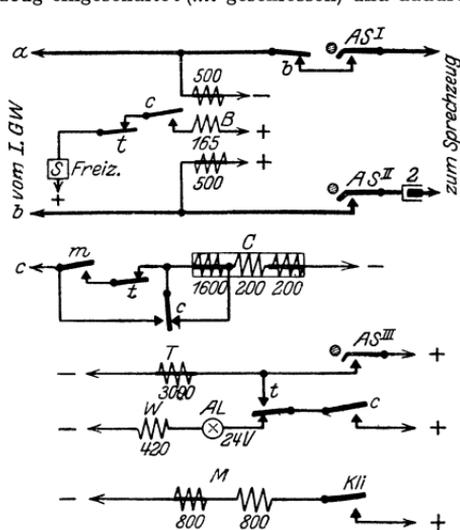


Abb. 1166. Meldeamt. Schaltbild.

kli , +). Stellt sich ein I. GW auf eine freie Leitung ein, so sprechen P im I. GW und C am Platze an (— am Platz, $C 200$, $C w 200$, c , t , m , c -Leitung zum I. GW, $P 60$, v_1 , $P 1000$, +). Im I. GW schließt p in gewöhnlicher Weise $P 1000$ kurz, am Platze wird auch die dritte Wicklung von C eingeschaltet (—, $C 200$, $C w 200$, $C 1600$, $\frac{t, m}{c}$, c -Leitung zum

I. GW, $P 60$, p , k , +); der Stromweg bleibt auch geschlossen, wenn später T erregt wird. Weitere Kontakte c betätigen AL (—, $w 420$, AL , t , c , +) und schließen einen Stromweg für das Freizeichen (+, S , t , c , $B i 165$, +); über die Wicklungen $B 500$ wird das Freizeichen auf die a - und b -Leitung zum I. GW usw. übertragen. Schaltet sich die Beamtin durch Umlegen von

AS ein, so spricht T an (—, $T 3000$, AS , +) und unterbricht den Stromweg für $A L$ und für das Freizeichen; die Beamtin ist mit dem Tln. verbunden. Das Relais B hat die Aufgabe, die Beamtin vor unangenehmen Knackgeräuschen zu schützen, falls der Tln. in dem Augenblick des Eintretens der Beamtin — etwa aus Ungeduld — nochmals die NS ablaufen läßt. Beim ersten Stromstoß fällt im I. GW A ab, während V_2 erregt wird; B (am Platz) wird dadurch über beide wirksame Wicklungen erregt (— am Platz, $B 500$, a -Leitung zum I. GW, p , c , a , + und — im I. GW, $A w 40$, c , $w 500$, v_2 , p , b -Leitung zum Platz, $B 500$, +) und unterbricht die a -Leitung zur Beamtin. B wird für die Dauer der Stromstoßreihe (über v_2) gehalten.

Wenn nach Gesprächsschluß der Tln. früher anhängt, als die Beamtin sich ausschaltet, so wird der I. GW in gewöhnlicher Weise ausgelöst; am Platz wird C stromlos, T bleibt jedoch erregt. Die c -Leitung ist bei c und t aufgetrennt und erscheint für prüfende I. GW besetzt, bis AS zurückgelegt wird. Schaltet sich die Beamtin aus, ehe der Tln. anhängt, fällt C nicht ab, ferner bleibt T gebunden (—, $T 3000$, t , c , +). Hängt der Tln. dann an, so wird C und dadurch auch T stromlos. Eine Gesprächszählung kann nicht erfolgen, da am Platze an der b -Leitung Erde liegt, Z im I. GW also nicht erregt werden kann.

Man kann jede Leitung an einem besonderen Platze enden lassen (wie es in Abb. 1166 dargestellt ist), oder man kann die AL in Parallelschaltung an allen Plätzen oder an Gruppen von Plätzen wiederholen. In kleinen Meldeämtern wendet man beide Verfahren nebeneinander an. Sind z. B. 4 Plätze vorhanden, so führt man die Leitungen der Drehschritte 1 bis 4 nur zu je einem Platze, während man die Leitungen der Drehschritte 5 bis 10 durch alle Plätze¹⁾ führt.

¹⁾ In der c -Leitung fällt dann der Kontakt m fort.

Der I. GW prüft also auf den Schritten 1 bis 4 zunächst, ob eine Beamtin gerade unbeschäftigt ist und führt ihr gegebenenfalls den Anruf zu. Nur wenn alle Beamtinnen beschäftigt sind, wird über die Schritte 5 bis 10 eine über alle Plätze geführte Leitung (sogenannte Aushilfsleitung) belegt; der Anruf wird dann von der zuerst freierwerdenden Beamtin abgefragt.

Bei größeren Ämtern mit zahlreichen Meldeplätzen läßt man jede Verbindungsleitung an einem Mischwähler [MW (1898)] endigen. Stellt sich ein I. GW auf die Verbindungsleitung ein, so läuft der MW an und sucht einen freien Arbeitsplatz. Bei größten Ämtern werden zwei MW (I. und II. MW) hintereinander geschaltet. Die MW dienen also dazu, jedem I. GW jeden Platz zugänglich zu machen; außerdem gestatten sie, mit einer Mindestzahl von Verbindungsleitungen auszukommen.

Sind alle einem MW zugänglichen Beamtinnen beschäftigt, so halt ein Abschalterrelais den MW zunächst auf dem letzten Drehschritt (Warteschritt) fest; die Zahl der auf Warteschritt stehenden MW wird im Meldeamt an einem Wartelampenfeld (1866) angezeigt. Werden erreichbare Beamtinnen frei, so beginnen die MW erneut umzulaufen.

Die Zuleitungen zum Schnellverkehrsamt läßt man an Einschnurstöpseln nebst Anruflampe endigen, bei größeren Ämtern wieder unter Zwischenschaltung von MW.

G. Verkehr vom Fernamt und vom Schnellverkehrsamt nach SA-Teilnehmern.

(1871) Verkehr des Fernamts. Grundsätzliches. Durch die Einführung des SA-Betriebs und durch die Einrichtung von Überweisungsfernämtern ist die Art, in der das Fernamt die Tln. erreicht, mannigfacher geworden. Die benötigten Anschlußleitungen werden entweder über Fernvermittlungsplätze (FVPl) ¹⁾ oder über Wähler ²⁾ bereitgestellt. FVPl werden aus wirtschaftlichen Gründen nur bei Ämtern verwendet, bei denen die Zahl der Anschlüsse 3000 übersteigt oder in absehbarer Zeit übersteigen wird. Der Anruf der Tln. über Wähler geschieht im allgemeinen unmittelbar unter Benutzung einer NS; nur bei den größten Fernämtern bedient sich die Beamtin des Fernamts (F-Beamtin) der Vermittlung einer T-Beamtin (1861).

(1872) Betriebsbedingungen. Zu fordern ist, daß die Bedienungsweise für Verbindungen über FVPl und über Wähler in der Hauptsache dieselbe ist. Ferner ist zur besseren Ausnutzung der Fernleitungen die Bedingung zu stellen, daß die Verbindung zum Tln. vorbereitet werden kann, ehe das Ferngespräch zur Ausführung an der Reihe ist, ohne jedoch den Tln. in der Benutzung seines Anschlusses zu behindern (Fernvorbereitung). Zum gleichen Zweck muß eine bestehende Ortsverbindung des Tln. zugunsten eines Ferngesprächs getrennt werden können (Fernamts-trennung). Auf die beiden letzten Forderungen kann jedoch unbedenklich verzichtet werden beim Verkehr nach kleinen SA-Ämtern (1824), weil danach gestrebt werden muß, die technischen Einrichtungen dieser Ämter möglichst einfach zu gestalten, und weil die Rückwirkung auf den Betrieb des Fernamts nur unwesentlich ist. Ferner kann während der Nacht ohne Fernvorbereitung und Fernamts-trennung gearbeitet werden, wenn dadurch Ersparnisse an anderen Stellen (z. B. an Personal für die Besetzung der FVPl) erzielt werden.

(1873) Schaltungsgrundsätze. Abb. 1167 zeigt auszugsweise die Schaltung derjenigen Teile des Fernschranks 25 (1754), welche für den Verkehr mit SA-Tln. gebraucht werden. Es sei darauf hingewiesen, daß im Gegensatz zu älteren Fernschränken der einzelnen Schnur verhältnismaßig wenige Schaltteile zugeordnet

¹⁾ = Vorschalteplätze.

²⁾ Eine dritte Betriebsart, Durchführung der Anschlußleitungen über das Vielfachfeld der Fernplatte, ist als unwirtschaftlich aufgegeben worden.

sind (Abfragestöpsel $A S$, Verbindungsstöpsel $V S$, ein Schalter mit zwei Stellungen — $A =$ Abfragen, $M =$ Mithören —, zwei Schlußzeichenrelais $S A$ und $S V$, zwei Schlußlampen $S L a$ und $S L v$, zwei Relais $C A$ und $C V$ und vier Kondensatoren). Alle übrigen Teile (zwei Schalter mit je zwei Stellungen — $R A$ und $R V =$ Rufen über $A S$ bzw. $V S$, $T A$ und $T V =$ Abtrennen von $A S$ bzw. $V S$ —, ein Schlußzeichenrelais H für den abgetrennten Stöpsel mit zugehöriger Schlußlampe $H L$, eine NS mit dem Stromstoßkontakt $n s i^1$) und dem Kurzschlußkontakt $n s a$, eine Prüftaste $P T$, ferner ein Relais E , Widerstände und Kondensatoren) sind nur einmal für den Platz vorhanden; sie wirken auf diejenige Schnur, deren Abfageschalter A in Arbeitsstellung ist. Zur Erzielung besserer Übersichtlich-

Relais	Wicklung	Viereck	Kontakt	Viereck	Schalter	Kontakt	Viereck	
$C A$	150	$E F 1, 2$	r	$F 1$	A	u	$A 2, 3$	
	800	$F G 1, 2$	u	$A 3$		u	u	$K 2, 3$
	$w 400$	$L 7$	u	$L 6, 7$		u	u	$A 16$ $K 16$
$C V$	150	$E F 17$	r	$F 18$	M	a	$A 7$	
	800	$F G 17$	u	$L 12, 13$		a	a	$J K 7$
	$w 400$	$L 12$	u	$A 16$		a	a	$E 12$
$S A$	400	$L 7$	a	$L 8$	$R A$	a	$C 2$	
	2000	$E F 5$				u	u	$B 3$
	$w 13 000$	$D E 5$				u	u	$J 3$
$S V$	400	$L 12$	a	$L 11$	$R V$	a	$C 17$	
	2000	$E F 14$				u	u	$B 16$
	$w 13 000$	$D E 14$				u	u	$J 16$
E	100	$H 11$	a	$E 11$	$T A$	a	$E 10$	
	1000	$F 12$	$d r$	$D 8$		u	u	$G H 3$
	1500	$F 10$	u	$G 8$		u	u	$C 3$
H	2000	$D E 6$	a	$E 9$	$T V$	a	$H 8$	
	$w 13 000$	$E F 6$				a	a	$C 8$
						a	a	$E 10, 11$ $G H 16$

Zu Abb. 1167. Fernschrank 25. Relaisübersicht.

keit sind in Abb. 1167 eine Anzahl Stromlinien nicht durchgezogen; die in derselben Wagerechten liegenden, in Pfeile auslaufenden Stromlinien sind verbunden zu denken. Die Wirkungsweise wird in den folgenden Abschnitten besprochen; die Betriebsvorgänge sind bei Abb. 1169 und 1170 mit dargestellt. Der Fernschrank 25 wird mit einer Batteriespannung von 60 V betrieben.

Abb. 1168 zeigt in schematischer Übersicht die Möglichkeiten für das Zusammenarbeiten des Fernamts mit den zu bedienenden Ortsämtern. Die über das OFN hinaus verlaufenden Verbindungsleitungen werden neuerdings grund-

¹⁾ Der Stromstoßkontakt ist ein Arbeitskontakt, während er bei der für Fernsprechgehäuse gebrauchten NS ein Ruhekontakt ist (1823). Der Kurzschlußkontakt besteht aus vier Federn (Ruhekontakt und Doppelarbeitskontakt).

sätzlich — zum Schutz gegen Starkstromgefährdung — mit Ringübertragern abgeschlossen; Gleichstromvorgänge (z. B. Stromstöße, Schlußzeichen) werden durch Relaisübertragungen von einer Seite auf die andere Seite der Ringübertrager übersetzt.

(1874) Fernvermittlungsplatz für SA-Ämter. Allgemeines. Der dreiplätzigige Fernvermittlungsschrank kann bis zu 10800 Vielfachklinken aufnehmen. Der

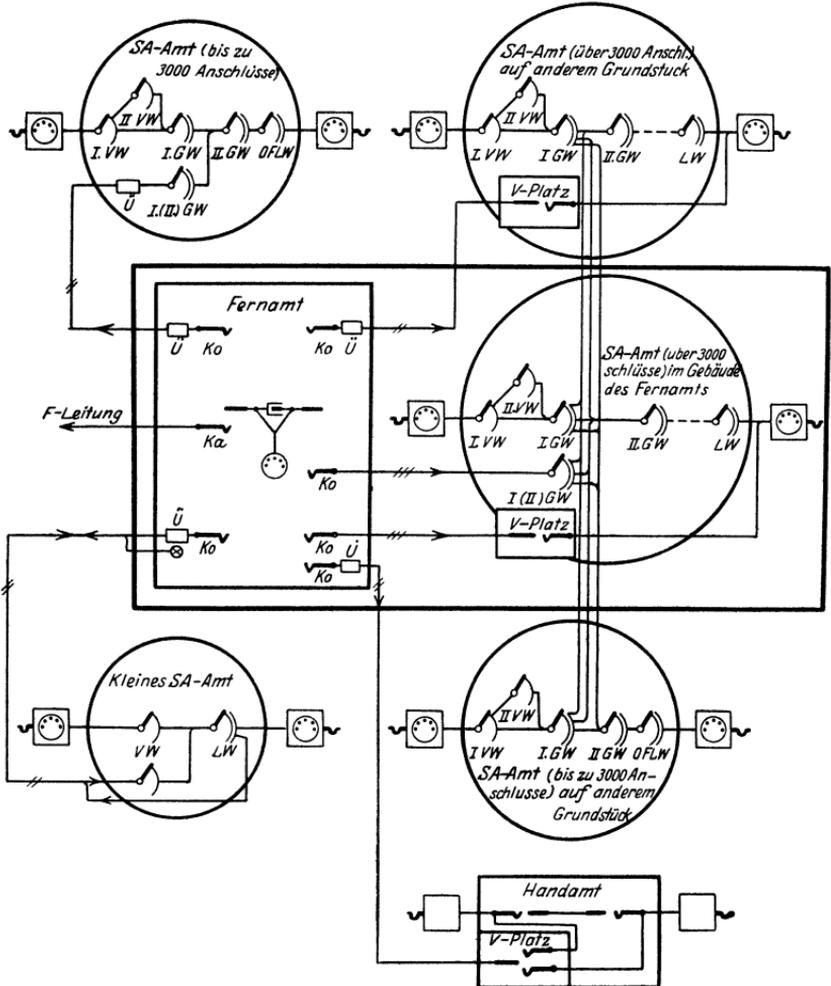


Abb. 1168. Übersichtsplan für den Verkehr Fernamt-Ortsamt.

Fernvermittlungsplatz (Abb. 1169) enthält 40 Einschnurstöpsel $V S$, an denen die Verbindungsleitungen vom Fernamt (Ko -Leitungen) enden; jedem Stöpsel ist ein Stöpselsitzumschalter SU , ein Prüfschalter PS und eine Schlußlampe SL zugeordnet. Außer der Dienstanruflampe (in Abb. 1169 nicht dargestellt) ist am Platz noch eine Prüflampe PL vorhanden, die nur bei Mehrfachanschlüssen (zur Ermittlung einer nicht ortsbesetzten Leitung) von Bedeutung ist (1875, a).

Die *F*-Beamtin erreicht den FVPI in der üblichen Weise im Dienstleitungsverkehr. Die *Ko*-Leitungen sind drei- oder zweiadrig; bei zweiadriger Ausführung ist im Fernamt in jede *Ko*-Leitung eine Übertragung einzufügen. Abb. 1169 zeigt die Schaltung eines Platzes für dreiadrigen Verkehr.

(1875) Schaltungsbeispiel. a) Besetzprüfung. Die Beamtin des FVPI (*V*-Beamtin) bestimmt nach Anforderung einer Anschlußleitung in üblicher Weise die zu benutzende *Ko*-Leitung und prüft, indem sie bei umgelegtem Prüfschalter *PS* die Klinkenhülse der verlangten Anschlußleitung mit der Spitze des zu der *Ko*-Leitung gehörigen Einschnurstöpsels *VS* berührt, ob die Anschlußleitung fernbesetzt ist, d. h. ob an einem anderen FVPI in der zugehörigen Verbindungsklinke bereits ein Stöpsel steckt. Im letzteren Falle hört sie hohen dauernden Summertönen als Fernbesetzzeichen (+, Kondensator $0,25 \mu\text{F}$, *J*, *PS*, Stöpselspitze, Klinkenhülse, *c*-Vielfachleitung, *c*-Teil des steckenden Stöpsels, Kondensator $0,1 \mu\text{F}$, *S*, +); sie steckt dann *VS* in eine Fernbesetztklinke, über die der Beamtin des Fernplatzes das Besetzzeichen (tiefer dauernder Summertönen) übermittelt wird. Ist dagegen die Anschlußleitung nicht fernbesetzt, so setzt die *V*-Beamtin in der Regel ohne weiteres den Stöpsel in die Vielfachklinke ein und legt *PS* in die Ruhelage zurück. Nur wenn der verlangte Tln. mehrere Anschlußleitungen hat, was die Beamtin an der farbigen Umrahmung der zusammengehörigen Klinken erkennt, wählt sie eine ortsfreie Leitung aus, indem sie in der beschriebenen Weise nacheinander die einzelnen Klinken berührt. Trifft sie auf eine ortsfreie Anschlußleitung, so spricht das Prüfrelais *Pr* an (— im I. VW, *d*-Arm in Ruhestellung, $T600 + 12$, *c*-Arm in Ruhestellung, $Tw 400$, *c*-I eitung, Klinkenhülse, Stöpselspitze, *PS*, *Pr* 20000, +) und läßt die Prüflampe *PL* aufleuchten¹⁾. Bei ortsbesetzten Leitungen spricht *Pr* dagegen nicht an, weil die *c*-Leitung entweder unterbrochen (wenn der I. VW nicht in Ruhestellung ist, abgehende Ortsverbindung) oder geerdet ist (über *P40*, *p*, im LW, ankommende Ortsverbindung). Die Beamtin verbindet mit einer ortsfreien Anschlußleitung oder, wenn keine ortsfrei ist, mit einer ortsbesetzten.

Das Stecken des Stöpsels beeinflußt die Anschlußleitung zunächst nicht, da über keine der drei Schnuradern ein Gleichstromweg sich bietet (dagegen besteht zwischen den beiden Sprechleitungen folgende Brücke für Wechselströme: *a*-Leitung, $\dot{U} 21$, *q*, Kondensator $2 \mu\text{F}$, $\dot{U} 21$, *b*-Leitung); der Tln. kann also anrufen, angerufen werden oder ein begonnenes Ortsgespräch fortsetzen. Dagegen erscheint die Anschlußleitung als fernbesetzt, wenn sie von einer anderen *F*-Beamtin angefordert wird²⁾.

b) Fernvorbereitung. Wenn die *F*-Beamtin einen Verbindungsstöpsel *VS* in die Klinke *Ko* der ihr genannten *Ko*-Leitung einsetzt, werden *CV* am Fernplatz (Abb. 1167) und *C* am FVPI erregt (— im FVPI, *C100*, *Cw 300*, *c*-Leitung zum Fernplatz, *CV150*, *cv*, +; später *CV150 + 800*, +). Am FVPI erlischt die Schlußlampe *SL*, die beim Anheben des Stöpsels (Stöpselsitzumschalter *SU* in Arbeitslage) betätigt wurde. Die *F*-Beamtin kann nach Umlegen des Mithörschalters *M* hören, ob in der Anschlußleitung gesprochen wird (*F*, Kondensator $2 \mu\text{F}$, $w 5000$, *M*, Kondensator $2 \mu\text{F}$, *A*, *a*-I eitung zum FVPI, $\dot{U} 21$, Kondensator $2 \mu\text{F}$, $\dot{U} 21$, *b*-Leitung zum Fernplatz, *A*, Kondensator $2 \mu\text{F}$, *M*, *F*; an der Zweitwicklung von \dot{U} liegt die Anschlußleitung). Der Parallelweg zu *F* über *e*, $w 700$, *J 57* ist unterbrochen, da über *M* auch *E* erregt ist (—, $E100 + 1000$, *M*, +). Die Beamtin kann auch — zur Ankündigung des Ferngesprächs — nach Umlegen von *A* in die Verbindung hineinsprechen (Brücke: *a*-Leitung, *A*, *cv*, *TV*, *PT*, *e*, $w 700$, *J 57 + 57*, Kondensator $2 \mu\text{F}$, *e*, *TV*, *RV*, *A*, *b*-Leitung).

¹⁾ Wenn der verlangte Tln. nur eine Anschlußleitung hat, ist *PL* für die *V*-Beamtin ohne Bedeutung.

²⁾ Wegen der gegenteiligen Regelung beim Verkehr über Leitungswähler für Orts- und Fernverkehr (vgl. Fußnote 2 auf S. 783).

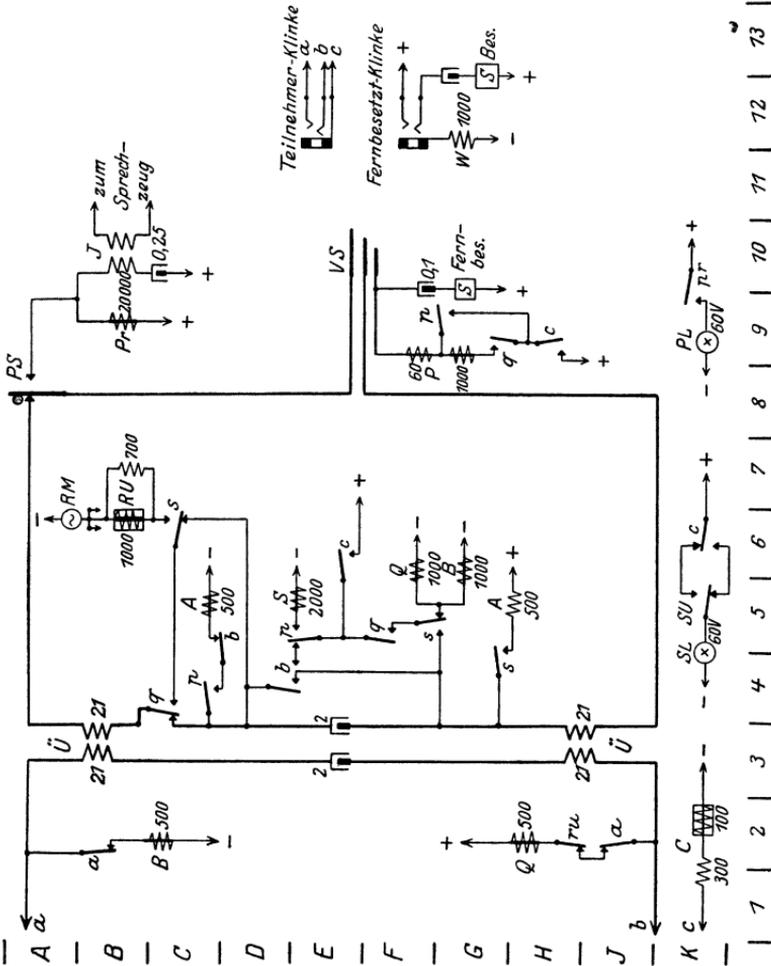


Abb. 1169. Fernvermittlungsplatz. Schaltbild.

Relais	Wicklung	Viereck	Kontakt	Viereck	Relais	Wicklung	Viereck	Kontakt	Viereck
A	500 w 500	C 5 GH 5	r	B 2 J 2	Q	500 1000	H 2 F 6	a a u	F 5 GH 9 C 4
B	500 1000	C 2 G 6	da r	D, E 4 CD 4, 5		S	2000	DE 5	a u u
C	100 w 300	K 2 K 1, 2	a a u	E 6 H 9 K 6	RU		1000 w 700	B 6 B 7	r
P	60 1000	F 9 G 9	a a u	C 4 FG 9 E 5		Pr	20000	B 9	a

Zu Abb. 1169. Fernvermittlungsplatz. Relaisübersicht.

	F-Platz													Fernvermittlungs-Platz						I. VW	
	A	M	TA	TV	RA	RV	PT	E	SLA	SLW	CV	A	B	C	P	S	Q	RU	SL	T	
Relais, Schalter oder Lampe																					
1 F-Beamtin steckt VS in Ko nach Ver- ständigung mit V-Beamtin	■						■														
2 V-Beamtin prüft mit Stöpselspitze an Tln- Klinke auf „fernbesezt“ und steckt Stöpsel												■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3 Fernvorbereitet																					
4 Tln. ist frei Rufen	■																				
5 Tln. meldet sich	■		■																		
6 Gespräch																					
7 Überwachung																					
8 Gesprächsschluß																					
9 F-Beamtin trennt	■																				
10 V-Beamtin trennt																					
4a Tln. meldet sich während des Rufs																					
4b Tln. ist ortsbesetzt Trennen nach Gesprächsankündigung																					

Zu Abb. 1169. Fernvermittlungsplatz. Betriebsvorgänge.
Verbindung über VS. Bei Verbindung über AS übernehmen TV, RA, SLA die Vorgänge von TA, RV und S Lu.)

Die Anschlußleitung ist also während der Fernvorbereitung in Abzweigung zum Fernplatz geschaltet, jedoch ohne daß der Tln. in der Benutzung des Anschlusses gestört wird.

c) Fernamtstrennung, Durchschaltung, Anruf. Wenn das Ferngespräch zur Ausführung an der Reihe ist, muß eine etwa bestehende Ortsverbindung ausgelöst, die Anschlußleitung gegen andere Anrufe gesperrt und der Tln. angerufen werden. Alle drei Vorgänge leitet die *F*-Beamtin, nachdem sie gegebenenfalls zuvor die Trennung des Ortsgesprächs angekündigt hat, durch Umlegen der Schalter *A* und *RV* ein. Dadurch wird über die *b*-Leitung *Q* im FVPI betätigt (— im Fernplatz, *w* 500, *RV*, *A*, *b*-Leitung zum FVPI, *a*, *r*, *u*, *Q* 500, +); dieses bindet sich über die zweite Wicklung¹⁾ und erregt zugleich *B* (—, $\frac{Q 1000}{B 1000}$, *s*, *q*, *c*, +). Es sind nun folgende Fälle möglich:

a) Ist die Anschlußleitung frei, so sprechen *P* im FVPI und *T* im I. VW an (+ im FVPI, *c*, *q*, *P* 1000 + 60, *c*-Leitung zum I. VW usw.); *p* schließt dann *P* 1000 kurz und macht die Erdverbindung für *P* 60 unabhängig von *q*. Die Anschlußleitung ist nun in bekannter Weise gesperrt. Über *p* ist auch *S* erregt worden (—, *S* 2000, *p*, *c*, +), welches die Rufspannung an die Anschlußleitung legt (—, $\frac{R U 1000}{R U w 700}$, *s*, *q*, $\dot{U} 21^2$), *PS*, *a*-Leitung, Sprechstelle, *b*-Leitung, $\dot{U} 21$, *s*, *q*, *c*, +) und *B* 1000 und *Q* 1000 stromlos macht. Ersteres fällt ab, letzteres bleibt über *Q* 500 erregt. *RU* hat dieselbe Aufgabe wie *U* im LW; es ist durch seinen Kupfermantel und den parallel geschalteten Widerstand stark gedämpft und spricht auf den Rufstrom nicht an. Nimmt der Tln. während des Rufens den Hörer ab, so erregt der nun dem Rufstrom überlagerte Gleichstrom *RU* und dieses unterbricht den Stromweg für *Q* 500. Beim Abfallen von *Q* wird die Rufspannung abgeschaltet; die Sprechleitungen werden wieder über $\dot{U} 21$, *q*, Kondensator $2 \mu\text{F}$, $\dot{U} 21$ verbunden. Die Abzweigungen *p*, *b*, *A* 500, — und *s*, *A* 500, + führen der Sprechstelle den Speisestrom zu. *A* spricht an und trennt *B* 500 und *Q* 500 von den Sprechleitungen zum Fernplatz ab.

Wenn der Tln. nicht sogleich antwortet, kann die *F*-Beamtin den Anruf beliebig oft wiederholen.

β) Ist die Anschlußleitung ortsbesetzt, so kann *P* nicht ansprechen, da die *c*-Leitung im I. VW unterbrochen (abgehende Ortsverbindung) oder im LW über *P* 40 geerdet ist (ankommende Ortsverbindung). Beide Sprechleitungen sind nach Ansprechen von *B* geerdet (*a*-Leitung, *PS*, $\dot{U} 21$, *q*, *s*, *b*, *p*, *c*, +; *b*-Leitung, $\dot{U} 21$, *b*, *p*, *c*, +). Infolgedessen fällt das in der Brücke für den Speisestrom liegende Relais *B* (im I. GW oder im LW) ab und trennt das Ortsgespräch in folgender Weise:

Besteht eine Ortsverbindung abgehender Richtung, so wird im I. GW (Abb. 1136) *V*₁ 800 über *J* 4, *b*, *v*₂ kurzgeschlossen und fällt ab. Durch *v*₁ wird *P* 60 überbrückt; wenn es abgefallen ist, wird *M* erregt (—, $\frac{M 150}{M w 500}$, *v*₁, *v*₂, *p*, *k*³⁾, +) und löst den Wähler aus. Gleichzeitig wird die *c*-Leitung vom I. VW

¹⁾ Die Stromwege über *Q* 1000 und *B* 1000 sind nur für den unter β besprochenen Fall von Bedeutung.

²⁾ Der Rufstrom wird auch auf die Erstwicklung von \dot{U} übertragen und gelangt (durch Schaltmaßnahmen genügend gedämpft) zum Sprechzeug der *F*-Beamtin (— im Fernplatz, $\frac{\text{Kondensator } 0,1 \mu\text{F}}{w 20 000}$, Induktionsspule *J* 450, Kondensator $0,5 \mu\text{F}$ [Viereck *D* 13], *RV*, *c*, *v*, *A*, *a*-Leitung zum FVPI, $\dot{U} 21$, Kondensator $2 \mu\text{F}$, $\dot{U} 21$, *b*-Leitung zum Fernplatz, *A*, *RV*, *w* 500, —; der Teil des Stromweges von *J* 450 bis *w* 500 ist noch durch einen Kondensator $0,5 \mu\text{F}$ überbrückt); die *F*-Beamtin empfängt auf diese Weise ein Zeichen dafür, daß Rufstrom fließt.

³⁾ Voraussetzung ist, daß der 1. Tln. bereits gewählt hat und *k* infolgedessen in der Arbeitslage ist. Andernfalls wird, da *J* über *J* 4 erregt ist, die Schaltwelle — ähnlich wie bei der vorzeitigen Auslösung (1838, a) — um einen Schritt gehoben und dadurch *k* umgelegt.

bei m unterbrochen, so daß dort T abfällt. Der I. VW laut in die Ruhestellung¹⁾. Nunmehr werden P im FVPl und T im I. VW in der oben beschriebenen Weise erregt; ferner wird an die Leitung Rufspannung gelegt, die allerdings in der Regel sogleich durch RU wieder abgeschaltet wird, da der Tln. meist den Hörer noch nicht angehängt hat. Die aufgetrennte Ortsverbindung wird nicht gezählt, da Z im I. GW nicht unter Strom kommt. Außer dem I. GW werden auch die übrigen GW ausgelöst, während der LW erst in die Ruhelage zurückgeht, wenn der 2. Tln. den Hörer anhängt (1837, a).

Besteht eine Ortsverbindung ankommender Richtung, so geht der Steuerschalter des LW (Abb. 1138) von Stellung 8²⁾ weiter bis Stellung 11 (Erde für F nacheinander über $Qw250$, II. 8, a, b; $Qw250$, I. 9, a; $Qw250$, II. 10, a, b). Jetzt wird $P40$ kurzgeschlossen; nach seinem Abfallen sind die a -, b - und c -Leitung des Anschlusses im LW isoliert. Dieser wird erst ausgelöst, wenn der 1. Tln. den Hörer anhängt (1837, b). Beim Abfallen von P werden P im FVPl und T im I. VW erregt usw. Im LW spricht beim Abfallen von B auch das Relais U an (—, $WK2$, $Fw250$, $U500$, a, b, +), welches nach Abfallen von A — in Steuerschalterstellung 11 — gebunden bleibt (über I. 11, u, a). Ein Kontakt u schaltet die Spannung (bei $G750$) von der b -Leitung zum I. GW ab und verhindert so das Ansprechen von Z im I. GW; auch in diesem Falle wird also die getrennte Ortsverbindung nicht gezählt.

Damit der Vorgang der Fernamtstrennung, der offenbar einige Zeit erfordert, nicht gestört wird, wenn die F -Beamtin vorzeitig RV in die Ruhelage zurücklegt, werden $Q1000$ und $B1000$ zunächst selbsttätig gehalten (über s , q , c , +). Beim Ansprechen von P wird S erregt und unterbricht den genannten Stromweg.

d) Ferngespräch. Wenn der Tln. den Anruf des Fernamts beantwortet, erhält sein Mikrophon Speisestrom vom FVPl aus (—, $A500$, b , p , q , $Ü21$, PS , a -Leitung, Sprechstelle, b -Leitung, $Ü21$, s , $Aw500$, +). Er kann mit der F -Beamtin und nach Durchschaltung der Fernverbindung über die Fernleitung sprechen. Die F -Beamtin legt nach Beginn des Gesprächs den Abfrageschalter A in die Ruhelage zurück und schaltet damit das Schlußzeichenrelais SV als Brücke zwischen die Sprechleitungen. Sie kann durch Umlegen von M mithören und den Tln. nach Anhängen des Hörers durch Umlegen von RV gegebenenfalls erneut anrufen.

Für die Steuerung von SV dient A im FVPl, welches erregt ist, solange der Tln. den Hörer abgenommen hat. Wird A beim Anhängen des Hörers stromlos, so spricht SV an (— im FVPl, $B500$, a, a -Leitung zum Fernplatz, A , $SVw13000$, $SV2000$, A , b -Leitung zum FVPl, a , ru , $Q500$, +; B und Q werden durch den schwachen Strom nicht beeinflußt) und betätigt SLv (—, SLv , cv , $CVw400$, sv , A , +). Es ist ersichtlich, daß auf diesem Wege der Tln. auch das Flackerzeichen geben kann. Wenn die F -Beamtin über AS spricht und den Tln. durch Umlegen von TV abgetrennt hat, wirkt das Abnehmen und Anhängen des Hörers statt auf SV auf H (a -Leitung vom FVPl, A , cv , TV , $H2000$, $Hw13000$, TV , RV , A , b -Leitung zum FVPl); H steuert die Schlußlampe HL (—, $w420$, HL , h , TV , +).

e) Trennung. Wenn die F -Beamtin nach Gesprächsschluß VS zieht, fällt C im FVPl ab, setzt SL unter Strom (—, SL , Stöpselsitzschalter SU in

¹⁾ Bei Anschlußleitungen mit Nebenstellen (Abb. 1128) werden jetzt — die Erdung der beiden Zweige der Anschlußleitung dauert noch an — im I. VW beide Wicklungen von R vom Strom durchflossen. Die Wicklungen sind jedoch gegeneinander geschaltet, so daß R nicht anspricht. Die zweite, am b -Zweig liegende Wicklung von R hat überhaupt nur den Zweck, das erneute Anlaufen des I. VW nach der Fernamtstrennung zu verhüten. Bei kleinen SA-Ämtern, bei denen die Fernamtstrennung nicht angewendet wird (1880, c), kann sie ohne Schaden ausgeschaltet bleiben.

²⁾ Wenn der Steuerschalter noch in Stellung 7 (Ruf) steht, wird er, da U anspricht (—, $Lw50$, l , $U450$, III. 7, a -Leitung, +), nach Stellung 8 weitergeschaltet (Erde für F über $Qw250$, II. 7, u, a). A ist zu diesem Zeitpunkt nicht erregt, da es erst in Stellung 8 des Steuerschalters (über III. 8) an die Anschlußleitung angeschaltet wird.

Arbeitslage, c , $+$) und trennt die Stromwege für S und P sowie für T im I. VW auf. Nach dem Abfallen von S und P sind die a -, b - und c -Leitung im FVPI für Gleichstrom isoliert; der Anschluß ist sogleich wieder (wie bei dem Zustand der Fernvorbereitung) für den Ortsverkehr benutzbar. Die V -Beamtin zieht nach dem Aufglühen von SL den Stöpsel; wenn dieser den Stöpselsitzumschalter in die Ruhstellung gebracht hat, erlischt SL .

(1876) Verkehr über Wähler. Allgemeines. Die Ko -Leitungen werden an den Fernplätzen über Ko -Klinken vielfach geschaltet, während sie in den SA-Ämtern an I. GW endigen. Da die besonderen Aufgaben des I. GW (Mikrophon-speisung für den anrufenden Fernplatz, Gesprächszählung) wegfallen, genügen bei großen SA-Ämtern Wähler in der einfacheren Schaltung der II. GW (1855). Die F -Beamtin ermittelt durch Klinkenprüfung eine freie Ko -Leitung und stellt die NS^1) ein. Die Verbindung ist dann fernvorbereitet. Soll das Ferngespräch ausgeführt werden, legt die Beamtin RV um; dadurch wird eine etwa bestehende Ortsverbindung des Tln. aufgetrennt und Rufstrom entsandt. Hängt der Tln. nach Gesprächsschluß den Hörer an, so wird am Fernplatz die Schlußlampe betätigt.

Es ist ersichtlich, daß diese Betriebsweise an den LW besondere Anforderungen stellt. Mit handbedienten Plätzen verglichen, muß der LW bei Belegung von einem Tln. aus wie eine B -Beamtin, bei Belegung vom Fernamt aus wie eine V -Beamtin arbeiten. Diese Aufgabe vermag der LW der in Abb. 1138 dargestellten Schaltung nicht zu erfüllen; es müssen deshalb bei den großen, nicht mit FVPI ausgerüsteten SA-Ämtern abweichend geschaltete LW für den Orts- und Fernverkehr (Ortsfernleitungswähler, OFLW) verwendet werden (1877). Bei einem Ortsanruf arbeiten diese wie die LW, bei Belegung vom Fernamt wird ein Umsteuerungsrelais erregt, welches die Arbeitsweise des OFLW so umändert, daß sie der einer V -Beamtin entspricht.

Im Verkehr mit kleinen SA-Ämtern kann unbedenklich auf Fernvorbereitung und Fernamtstrennung verzichtet werden, so daß dort die gewöhnlichen LW genügen. Für die Schlußzeichengabe ist in den Relaissätzen der LW eine geringfügige Änderung vorzunehmen (1880, c).

Die Ko -Leitungen nach großen SA-Ämtern werden nur in einer Richtung betrieben, während die Leitungen nach kleinen SA-Ämtern auch in der anderen Richtung (für die Anmeldung von Ferngesprächen und für Gespräche vom kleinen SA-Amt nach Tln. am Orte des Überweisungsfernamts) benutzt werden. Bei Verwendung zweiadriger Leitungen sowie bei Abschließung der Leitungen durch Ringübertrager (1873) sind im Fernamt und im SA-Amt Übertragungen einzubauen. Die Leitungen nach großen, nicht im ON des Überweisungsfernamts gelegenen SA-Ämtern sowie nach kleinen SA-Ämtern sind stets zweiadrig.

(1877) LW für den Orts- und Fernverkehr (Abb. 1170). **Bauart.** Der Wähler selbst gleicht dem LW. Der Relaissatz enthält 11 Relais, als Steuerschalter dient ein 15 teiliger (statt 10 teiliger) Drehwähler mit den Stellungen 1 bis 16. Die Weiterschaltung des Steuerschalters geschieht wie beim LW durch das Fortschalterrelais F und den Drehmagnet S . Wie dem LW kann dem OFLW ein Mehrfachkontakt mk angefügt werden, um bei der Wahl einer Sammelnummer die Schaltwelle zwecks Auswahl eines freien Einzelanschlusses selbsttätig weiterzuschalten.

(1878) Schaltungsbeispiel für eine Ortsverbindung. a) Aufbau der Verbindung. Wenn ein GW letzter Ordnung (Abb. 1136 oder 1137) sich auf einen OFLW einstellt, sprechen C im OFLW und P im GW an ($—$, $w40$, II. 1, $C150$, $Cw400$, c -Leitung zum GW usw.; in späteren Stellungen des Steuerschalters: $—$, $w40$, c , $C1200 + 150$ usw.). Gegen Belegung durch einen weiteren GW ist der OFLW in bekannter Weise gesperrt. Während der vorletzten Stromstoßreihe

¹⁾ Wegen der Verwendung von T -Plätzen für die Stromstoßgabe bei größten Fernämtern (1881).

wird im I. GW die *b*-Leitung an Spannung gelegt, die *a*-Leitung der eingestellten Zahl entsprechend oft geerdet. Dadurch wird im OFLW über die *b*-Leitung *B* für die Dauer der Stromstoßreihe erregt (— im I. GW, *A w*40, *c*, *w*500, *v*₂, *p*, *b*-Leitung zum OFLW, *IV*. 1, *B*500 + 500, +), um den Steuerschalter in Stellung 1 festzuhalten. Über die *a*-Leitung spricht *A* — gegebenenfalls wiederholt — an (— im OFLW, *w*40, *A*500 + 500, *III*. 1, *a*-Leitung zum I. GW, *p*, *c*, *a*, +) und erregt ebensooft *H* (—, *H*60, *V*. 1, *V*0,5, *a*, +); die Schaltwelle des Wählers wird gehoben. Beim ersten Stromstoß wird auch *V*0,5 erregt und hält sich über *V*1000 (—, *V*1000, *u*, *c*, *v*, +); Kontakte von *V* (Vierecke *AB*9 und *DE*9) unterbrechen zur Vermeidung von Stromstoßverzerrungen die Abzweigungen zu den im *a*- und *b*-Zweige liegenden Kondensatoren. Nach Beendigung der Stromstoßreihe fällt *B* ab und der Steuerschalter schreitet nach Stellung 2 (Stromweg für *F*: —, *WK*2, *F w*500, *F*60, *k*, *I*. 1, *a*, *b*, +).

In der letzten Stromstoßreihe erhält auf entsprechende Weise *D* Stromstöße (—, *D*60, *V*. 2, *V*0,5, *a*, +), so daß die Schaltwelle auf die Kontakte der gewünschten Anschlußleitung aufdreht. Beim Abfallen von *B* geht der Steuerschalter nach Stellung 3 und dann sogleich weiter nach Stellung 4 und 5 (Erde für *F* nacheinander über *w*, *I*. 2, *a*, *b*; *I*. 3; *I*. 4). In Steuerschalterstellung 3 und 4 steht *U* unter Strom (—, *D*60¹), *U*10 + 500, *II*. 3 bzw. *II*. 4, +) und trennt den Haltekreis für *V*1000 auf. Nach dem Abfallen von *V* erhält *F* Strom (über *I*. 5, *v*, +); der Steuerschalter wird nach Stellung 6 und dann sogleich nach Stellung 7 und 8 (Erde für *F* über *I*. 6 bzw. über *I*. 7, *u*, *a*) weitergeschaltet. Beim Durchlaufen der Stellung 7 wird geprüft, ob die Anschlußleitung frei ist. Zutreffendenfalls spricht *P* an (+ im OFLW, *II*. 7, *P*1000 + 60, *c*-Leitung zum I. VW, dort Spannung über *T*), andernfalls wird es (wie beim LW des kleinen SA-Amtes, S. 707) nicht erregt. *P* bleibt auch stromlos, wenn der Tln. in einem Ferngespräch begriffen (fernbesetzt) ist. In diesem Falle ist bereits ein anderer OFLW auf die Anschlußleitung eingestellt, dessen Steuerschalter sich in Stellung 11 befindet (1879, c); die *c*-Leitung ist dann in diesem OFLW unmittelbar geerdet (über *V*. 11, *v*), so daß *P* des prüfenden OFLW kurzgeschlossen ist. Das Nichtansprechen von *P* hat zur Folge, daß der Steuerschalter in Stellung 8 stehen bleibt und dem Anrufenden das Besetztsymbol übermittelt wird (Erstkreis: +, *S*, *III*. 8, *A i*100, *E i*100, *B i*100, +; Zweitkreis: —, *w*40, *A*500, *v*, Kondensator $2\mu\text{F}$, *b*-Leitung zum I. GW, Übertrager, *a*-Leitung zum OFLW, Kondensator $2\mu\text{F}$, *v*, *B*500, +). Wenn die Anschlußleitung dagegen frei ist und demgemäß *P* anspricht, schreitet der Steuerschalter über die für Fernverbindungen dienenden Stellungen 9 bis 12 hinweg nach Stellung 13 (Erde für *F* nacheinander über *I*. 8, *p*; *I*. 9, *e*, *p*; *I*. 10, *p*; *I*. 11, *v*; *I*. 12, *p*).

Hat der 2. Tln. einen Mehrfachanschluß, so wird beim Eindrehen des OFLW auf die Sammelnummer *mk* geschlossen. Ist der erste Einzelanschluß frei, so ist *mk* ohne Bedeutung; ist er dagegen besetzt, so werden [ähnlich wie beim LW (1849, a)] *A*, *D* und *U* erregt (—, *w*40, *A*500, *III*. 7, *T w*1500, *mk*, *t*, *p*, +; —, *D*60, *U*10, *f*, *IV*. 7, *a*, +). *u* unterbricht die Erdverbindung für *F*, so daß der Steuerschalter in Stellung 7 stehen bleibt. *D* dreht die Schaltwelle auf die zweite Anschlußleitung und schließt *A*500 kurz, wodurch der Stromweg für *D* unterbrochen wird; *U* bleibt als Verzögerungsrelais zunächst noch in der Arbeitslage. Ist die zweite Anschlußleitung frei, so wird jetzt *P* erregt und der Steuerschalter geht, nachdem *U* abgefallen ist, weiter; ist sie besetzt, so wird *A*, ehe *U* abgefallen ist, erneut erregt usw. Beim letzten Einzelanschluß ist *mk* geöffnet; ist auch diese Anschlußleitung besetzt, so kommt *A* nicht wieder unter Strom, der Steuerschalter geht nach dem Abfallen von *U* nach Stellung 8 und das Besetztsymbol wird rückwärts entsandt.

In den Steuerschalterstellungen 13 und 14 erfolgen Vorruf und Ruf nach denselben Grundsätzen wie beim LW (—, *RM*, *RK*400, *R*300, *III*. 13, An-

¹) *D* spricht der geringen Stromstärke wegen nicht an.

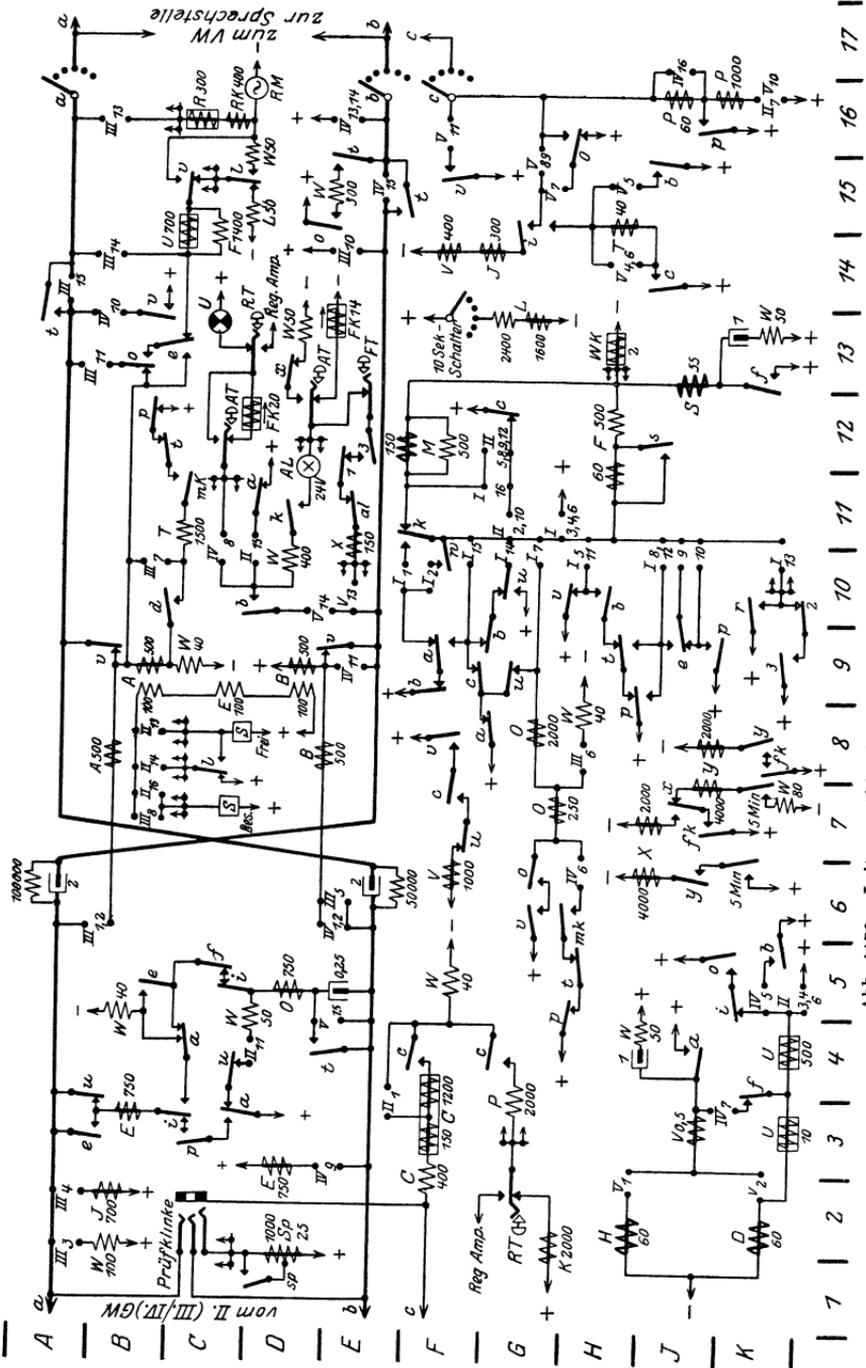


Abb. 1170. Leitungswähler für den Orts- und Fernverkehr. Schaltbild.

Relais oder Magnet	Wick- lung	Viereck	Kont- takt	Viereck	Relais oder Magnet	Wick- lung	Viereck	Kont- takt	Viereck
A	500	B 8	a	J 4	P	1000	JK 16	a	C 3
	500	B 9	dr	C 4		60	J 16	a	J 9
	i 100	B 9	r	CD 11	w 2000	G 3, 4	r	JK 16	
			r	FG 8			r	GH 4, 5	
			u	CD 3			r	B 12	
			u	F 9			u	HJ 8, 9	
B	500	D 8	a	K 5, 6	J	700	B 2	da	G 14, 15
	500	D 9	a	CD 10		300	FG 14	r	CD 5
	i 100	D 9	a	H 10			r	K 5	
			a	J 15			u	BC 3	
			r	F 9	O	2000	G 8	a	JK 5
			r	FG 9, 10		750	D 5	a	G 6
C	1200	F 3, 4	a	F 4	250	G 7	a	D 15	
	150	F 3	a	G 4			a	B 13	
	w 400	F 2, 3	a	F 7, 8			u	GH 16	
			a	J 14	V	1000	F 6	a	G 6
			r	F 9		400	F 14	a	F 8
			r	FG 12	0,5	J 3	r	B 13	
			r				r	F 15	
U	700	BC 14, 15	r	AB 3, 4			r	AB 9	
	500	K 4	r	C 4			r	DE 9	
	10	K 3	r	F 7			u	GH 10	
			u	G 9				C 15	
			u	G 10	F	60	H 11, 12	a	K 13
T	40	H 15	a	DE 4	w 1400	C 14, 15	r	K 4	
	w 1500	C 11	a	A 13, 14	w 500	H 12	r	C 5	
			a	E 15	S	55	J 13	a	J 12
			a	E 15, 16	H	60	H 2	—	—
			r	H 5	D	60	K 2	a	B 9, 10
			r	B 12	M	150	E 12	—	—
			u	H 9	w 500	F 12	—	—	
E	750	B 3	a	AB 3	Wellenkontakt w			a	F 10, 11
	750	D 3	a	B 5	Kopfkontakt k			a	D 11
	i 100	C 9	u	J 9, 10	Mehrfachkontakt mk			u	F 11
			u	BC 13				a	C 11
			u					a	GH 5, 6
R	300	C 16	a	K 10	AL	—	—	r	E 11
RK	400	C 16	—	—	Sp	1000	D 1, 2	a	D 1
FK	20	C 12	a	JK 7	25	D 1, 2	—	—	
	14	DE 13	a	K 8	K	2000	G 2	—	—
X	4000	HJ 6	r	D 13	WK	2	H 13	—	—
	2000	HJ 7	u	J 7	I	—	—	r	E 11, 12
	150	E 10, 11	u		II	—	—	r	K 10
Y	4000	J 7	a	J 6	III	—	—	a	K 9
	2000	J 8	a	K 8				a	E 12
L	1600	G 13	u	C 7, 8	5-Minuten-Kontakt 1			a	K 7
	w 2400	G 13	u	C 15	5-Minuten-Kontakt 2			a	K 6
	w 50	C 15	u						

Zu Abb. 1170. Leitungswähler für den Orts- und Fernverkehr. Relaisübersicht.

schlußleitung, *IV. 13*, + und —, *RM*, *w 50*, *l*, *v*, $\frac{U 700}{F w 1400}$, *III. 14*, Anschlußleitung, *IV. 14*, +; Freizeichen: +, *S*, *II. 13* — bzw. *l*, *II. 14* —, *A i 100*, *E i 100*, *B i 100*, +; Erde für *F* über *I. 13*, Kontakte 2 und 3 des Langsamunterbrechers¹⁾ bzw. über *I. 13*, *r*). Der bei abgenommenem Hörer fließende Gleichstrom erregt *U* und dieses *F* (über *I. 14*, *u*, +); der Steuerschalter geht nach Stellung 15, in der das Gespräch abgewickelt wird. Stromweg des Speisestroms für das Mikrophon des 2. Tln.: —, *w 40*, *A 500*, *v*, *III. 15*, Anschlußleitung, *IV. 15*, *v*, *B 500*, +).

b) Zählung und Auslösung. a) Der 1. Tln. hängt zuerst den Hörer an. Im I. GW wird nach dem Abfallen von *C* zunächst *V₁850* gehalten (— im I. GW, *FK 50*, *V₁850*, *c*, *p*, *a*-Leitung zum OFLW, *u*, *E 750*, *i*, *p*, *a*, +). *E* spricht an und erregt *Z* im I. GW (— im OFLW, *w 40*, *e*, *f*, *i*, *O 750*, *V. 15*, *b*-Leitung zum I. GW, *p*, *c*, *Z 500*, +). *Z* bewirkt Zählung, schließt *V₁850* kurz und leitet damit die Auslösung des I. und der folgenden GW ein. Der OFLW wird erst ausgelöst, wenn auch der 2. Tln. den Hörer anhängt. Beim Abfallen von *A* wird *F* erregt (über *I. 15*, *c*, *a*, +); in Stellung 16 des Steuerschalters spricht dann *M* an (—, *WK 2*, $\frac{M 150}{M w 500}$, *I. 16*, *c*, +) und löst den OFLW aus, worauf der Steuerschalter nach Stellung 1 weiterschaltet wird (Erde für *F* über *k*, *I. 16*, *c*).

β) Der 2. Tln. hängt zuerst den Hörer an. Abweichend vom LW hat der 2. Tln. nicht die Möglichkeit, sich durch mehrmaliges Anhängen des Hörers freizuschalten (vgl. Fußnote 3 auf S. 725). Jedesmal, wenn er den Hörer abnimmt, wird die Sprechverbindung mit dem 1. Tln. wiederhergestellt. Die Auslösung erfolgt erst, wenn auch der 1. Tln. den Hörer anhängt. Im I. GW wird *Z* nach dem Abfallen von *C* sogleich (unabhängig von *E* im OFLW) erregt (— im OFLW, *w 40*, *a*, *f*, *i* usw.); der Haltekreis für *V₁850* wird nicht geschlossen (bei *a* unterbrochen). Wegen des Signals „Blockierung“ vgl. unter *dγ*.

c) Vorzeitige Auslösung. Hängt der 1. Tln. den Hörer vor der Meldung des 2. Tln. an, wird der OFLW stets ausgelöst, ehe sein Steuerschalter die Stellung 15 erreicht hat. Nur in dieser Stellung aber liegt Spannung am *b*-Zweige (Relais *T* kommt bei Ortsverbindungen nicht unter Strom); mithin tritt in keinem Falle vorzeitiger Auslösung Gesprächszählung ein, da *Z* im I. GW nicht erregt wird.

a) Der 1. Tln. hängt vor der vorletzten Stromstoßreihe den Hörer an. Im OFLW ist *C* erregt, der Steuerschalter steht in Stellung 1. Während der Auslösung des I. GW werden im OFLW in derselben Weise wie beim LW (1838, c) *A* und *B* erregt, so daß die Schaltwelle um einen Schritt gehoben wird. Nachdem *A* und *B* wieder abgefallen sind, geht der Steuerschalter weiter nach Stellung 2 (Erde für *F* über *k*, *I. 1*, *a*, *b*) und, wenn nach der Auslösung des I. GW auch *C* abgefallen ist, bis zur Stellung 5 (Erde für *F* nacheinander über *II. 2*, *c*; *I. 3*; *I. 4*). Jetzt erhält *M* Strom (—, *WK 2*, $\frac{M 150}{M w 500}$, *II. 5*, *c*, +) und löst den OFLW aus. Der Steuerschalter durchläuft dann die folgenden Stellungen bis zur Stellung 1 (Erde für *F* nacheinander über *I. 5*, *v*; *I. 6*; *I. 7*, *u*, *a*; *k*, *II. 8*, *c*; *k*, *II. 9*, *c*; *II. 10*, *c*; *I. 11*, *v*; *k*, *II. 12*, *c*; *I. 13*, Kontakte 2, 3 des Langsamunterbrechers; *I. 14*, *u*, *b*, *c*, *a*; *I. 15*, *c*, *a*; *k*, *I. 16*, *c*).

β) Der 1. Tln. hängt vor der letzten Stromstoßreihe den Hörer an. Im OFLW ist *C* erregt, der Steuerschalter steht in Stellung 2. In ähnlicher Weise, wie im vorigen Fall *H*, wird jetzt *D* erregt und dreht die Schaltwelle um einen Schritt. Wenn *A* und *B* abgefallen sind, geht der Steuerschalter nach Stellung 3 (Erde für *F* über *w*, *I. 2*, *a*, *b*). Nach dem Abfallen von *C* Weiterschreiten des Steuerschalters und Auslösung des OFLW wie unter *a*.

¹⁾ Vgl. (1848, b).

γ) Der 1. Tln. hängt nach Empfang des Besetztzeichens den Hörer an. Im OFLW ist C erregt, der Steuerschalter steht in Stellung 8. Nachdem C abgefallen ist, erhält M Strom (über II. 8, c) und löst den OFLW aus. Der Steuerschalter läuft weiter bis zur Stellung 1 (wie unter a).

d) Signallampen. Die Signalisierung von Störungen geschieht in derselben Weise wie beim LW, nur fallen der jedem OFLW zugeordneten Lampe AL drei (statt zwei) Aufgaben zu.

α) OFLW in Steuerschalterstellung 8 [besetzt; vgl. (1848, d 10)]. AL flackert (—, FK14, AT, AL, k, w400, IV. 8, AT, FK20, U, +); die beiden Wicklungen von FK sind gegeneinander geschaltet, so daß das Relais nicht anspricht.

β) Unterbrechung der Anschlußleitung des 2. Tln. [vgl. (1848, d 11 α)]. Während des Vorrufs (Steuerschalterstellung 13) bleibt wie beim LW ein dem Rahmen zugeordnetes Relais AL (in Abb. 1170 ist nur der Kontakt des Relais dargestellt) stromlos, so daß B und die Rahmenrelais FK und X erregt werden (—, FK14, AT, FT, Kontakte 3, 1 des Langsamunterbrechers, al, X150, V. 13, v, B500, +). Die 3 Relais bleiben auch in Steuerschalterstellung 14 gebunden (—, FK14, AT, AL, k, w400, b, V. 14, v, B500, +; —, X2000, x, fk, +). Durch b wird die Erdverbindung für F unterbrochen gehalten, auch wenn der 1. Tln. den Hörer anhängt und C abfällt; der Steuerschalter bleibt also in Stellung 14, bis der überwachende Beamte B durch Drücken von AT abwirft. Ein Arbeitskontakt von X betätigt die Signallampen des Gestells und des Wiederholungsrahmens sowie den Alarmwecker. AL leuchtet wegen des hohen Vorschaltwiderstandes (914 Ω) nur schwach.

γ) Blockierung einer Anschlußleitung. Wenn der 1. Tln. nach Gesprächsschluß den Hörer nicht anhängt, bleibt der Anschluß des 2. Tln. blockiert. Dieser Fall wird ebenfalls durch AL angezeigt (—, FK14, AT, AL, k, w400, II. 15, a, +); AL leuchtet bei dem normalen Vorschaltwiderstand (414 Ω) hell. Die Signallampen des Gestells und des Wiederholungsrahmens sowie der Alarmwecker werden wieder über x betätigt. X spricht — mit erheblicher Verzögerung — auf folgende Weise an: fk erregt Y, wenn an der Signalmaschine ein 5-Minuten-Kontakt geschlossen wird (—, w80, 5'-Kontakt, Y4000, x, fk, +); Y bleibt auch nach Öffnen des 5'-Kontakts gebunden (—, Y2000, y, fk, +). Bei der Schließung des zweiten 5'-Kontakts spricht X an und hält sich dann (—, X4000, y, 5'-Kontakt, +; —, X2000, x, fk, +). Nach Vornahme der nötigen Feststellungen löst der überwachende Beamte den OFLW von Hand aus. Beim Öffnen von k werden FK und dann Y und X stromlos.

e) Von Handamtsteilnehmern ausgehende Anrufe. Die Wirkungsweise des OFLW ist die gleiche, wenn die Stromstoßreihen von einem ZG anstatt vom anrufenden SA-Tln. ausgehen. Für die Schlußzeichengabe werden die Änderungen benutzt, die im a- und b-Zweige zum I. GW eintreten, wenn der 2. Tln. den Hörer anhängt. Der a-Zweig ist während des Gesprächs geerdet (über u, E750, i, p, a), nach Gesprächsschluß isoliert (Erdverbindung bei a unterbrochen); der b-Zweig ist während des Gesprächs isoliert (der nachstehende Stromweg bei a unterbrochen), nach Gesprächsschluß mit Spannung verbunden (über V. 15, O750, i, f, a, w40).

(1879) Schaltungsbeispiel für eine Fernamtsverbindung. a) Aufbau der Verbindung. Es sei angenommen, daß das Fernamt und das SA-Amt durch dreidrigte Leitungen verbunden sind; diese verlaufen unmittelbar (ohne Übertragungen) von vielfachgeschalteten Ko-Klinken im Fernamt zu I. GW nach Schaltung der II. GW (künftig als GW bezeichnet) im SA-Amt. Die Fernbeamtin ermittelt eine freie Leitung durch Knackkontrolle, indem sie mit der Spitze eines Verbindungsstöpsels VS¹⁾ die Hülsen der Ko-Klinken berührt, wobei der VS

1) AS kann in gleicher Weise benutzt werden. Dies wird nötig, wenn die Fernbeamtin Tln. zweier SA-Ämter ohne FVPl miteinander zu verbinden hat.

zugeordnete Abfrageschalter A und der Trennschalter TA umgelegt sowie die Prüftaste PT gedrückt werden. An der Stöpselspitze liegt dann Spannung (A , cv , RV , TV , PT , $J450$, $\frac{\text{Kondensator } 0,1 \mu F}{w 20000}$, —); Stromänderungen werden

über $J450$ auf den Stromkreis des Fernhörers F (F , e , $w700$, $J57$, F) übertragen. An der Klinkenhülse besteht bei freier Leitung ein Potential von 60 V (über die c -Leitung zum GW — Abb. 1137 —, k , $Cw400$, $C150$, $Aw50$), bei besetzter Leitung dagegen ein geringeres Potential, weil die c -Leitung über den c -Teil des bereits gestreckten VS , $CV150+800$ geerdet ist. Mithin werden besetzte Leitungen durch Knacken im Fernhörer beim Berühren der Klinkenhülse gekennzeichnet. Nachdem VS in eine freie Ko -Klinke eingesetzt ist, betätigt die F -Beamtin die NS . Bei jeder Stromstoßreihe wird über den Kurzschlußkontakt nsa das Hilfsrelais E und über e das Relais B des GW oder der folgenden Wähler erregt (—, $E100$, nsa , $\frac{E1500, TA}{w400, e, TV, RV, A, b\text{-Leitung zum GW, } p, B1000}$, +).

Über nsi und e werden dem Relais A des GW usw. die Stromstöße zur Betätigung des Hebemagnets übermitteln (+, nsi , PT , TV , cv , A , a -Leitung zum GW, p , $A1000$, —). Die vorletzte und letzte Stromstoßreihe wirken auf den OFLW, dessen Schaltwelle in der unter (1878, a) beschriebenen Weise gehoben und gedreht wird; der Steuerschalter gelangt — ebenfalls wie bei Ortsverbindungen — nach Stellung 5. Beim Durchlaufen der Stellung 4 wird der OFLW durch Erregung von J so umgesteuert, daß er nun fernamtsmäßig, der Tätigkeit der V -Beamtin vergleichbar, arbeitet. Zu diesem Zweck wird im Fernplatz nach Ablauf der letzten Stromstoßreihe — das Verzögerungsrelais E ist zu diesem Zeitpunkt noch nicht abgefallen — Spannung an die a -Leitung gelegt (—, $E100$, nsa , $w400$, e , PT , TV , cv , A , a -Leitung zum OFLW, $III. 3$), $w100$, + bzw. $III. 4$, $J700$, +). J sowie ferner auch V halten sich nun, unabhängig von der Stellung des Steuerschalters, während der Dauer der Verbindung (—, $V400$, $J300$, i , $T40$, c , +; $T40$ kann in einigen Stellungen des Steuerschalters kurzgeschlossen werden). Der Steuerschalter bleibt in Stellung 5, weil die Erdverbindung für F über $I. 5$ bei v unterbrochen ist. Die Verbindung ist jetzt fernvorbereitet²⁾. Hat die F -Beamtin eine Sammelnummer gewählt, bleibt der OFLW immer auf dem ersten Einzelanschluß stehen, da ein Weiterdrehen der Schaltwelle über mk erst in einer späteren Steuerschalterstellung (über $III. 7$) in Frage kommt.

In dem erwähnten Stromweg für V und J ist in Steuerschalterstellung 5 auch T erregt worden. Über Kontakte von T werden der a - und b -Zweig der Anschlußleitung (über Kondensatoren) zum Fernplatz durchgeschaltet, so daß die F -Beamtin nach Umlegen von M hören kann, ob in der Anschlußleitung gesprochen wird (F im Fernplatz, Kondensator $2 \mu F$, $w 5000$, M , Kondensator $2 \mu F$, A , a -Leitung zum OFLW, Kondensator $2 \mu F$, t , b -Zweig, Sprechstelle, a -Zweig, t , Kondensator $2 \mu F$, b -Leitung zum Fernplatz, A , Kondensator $2 \mu F$, M , F ; im Fernplatz ist E über $E100+1000$, M erregt und trennt den Stromweg für $J57$ auf). Zur Ankündigung des Ferngesprächs kann die Be-

¹⁾ Die Steuerschalterstellung 3 ist eingefügt worden, um bei Ortsverbindungen die Erregung von J infolge Überlappung der Steuerschalterschnitte mit Sicherheit zu verhüten. Angenommen, J würde bereits über $III. 3$ an die a -Leitung geschaltet und der Schaltarm III des Steuerschalters beruhte beim Übergange von Stellung 2 nach 3 für kurze Zeit die Drehschritte 2 und 3, würde J ansprechen (—, $w 40$, $A 500+500$, $III. 2$, $III. 3$, $J700$, +) und den OFLW auch bei Ortsverbindungen für fernamtsmäßiges Arbeiten umsteuern.

²⁾ Der OFLW prüft also im Gegensatz zur V -Beamtin bei der Fernvorbereitung nicht, ob die Anschlußleitung fernbesetzt ist. V o r t e i l: Die über OFLW fernvorbereitete, von einem anderen F -Platz aus fernbesetzte Anschlußleitung kann in der Zeit bis zur Ausführung des Gesprächs frei werden; beim Verkehr über FVPI muß die fernbesetzt gemeldete Anschlußleitung später erneut angefordert werden. N a c h t e i l: Bei Verbindungen über FVPI steht die fernvorbereitete Anschlußleitung der F -Beamtin unbedingt zur Verfügung. Über OFLW kann dieselbe Anschlußleitung für mehrere Fernplätze fernvorbereitet werden; nachdem eine Fernverbindung durchgeschaltet ist, erhalten die übrigen F -Beamtinnen das Fernbesetzzeichen, wenn sie ihre Fernverbindung durchschalten wollen.

amtin auch nach Umlegen von *A* in die Verbindung hineinsprechen (Brücke: *a*-Leitung, *A*, *cv*, *TV*, *PT*, *e*, *w* 700, *J* 57 + 57, Kondensator $2\ \mu\text{F}$, *e*, *TV*, *RV*, *A*, *b*-Leitung). Für Gleichstrom sind der *a*-, *b*- und *c*-Zweig der Anschlußleitung im OFLW isoliert, so daß der Tln. den Anschluß weiter benutzen kann. Im OFLW ist ferner in Steuerschalterstellung 3 und 4 *U* erregt (—, *D* 60, *U* 10 + 500, *II*. 3 bzw. 4, +); es verhindert, daß in Stellung 4 nach dem Ansprechen von *J* auch *E* unter Strom kommt (Stromweg —, *w* 40, *a*, *i*, *E* 750, *u*, *III*. 4, *J* 700, + bei *u* unterbrochen).

b) Prüfeinleitung, Fernamtstrennung. Wenn das Ferngespräch zur Ausführung an der Reihe ist, muß der OFLW der *F*-Beamtin zurückmelden, ob die Anschlußleitung etwa fernbesetzt ist; er muß ferner — gegebenenfalls nach Auslösung einer bestehenden Ortsverbindung — die Anschlußleitung gegen andere Anrufe sperren. Der Anruf des Tln. geschieht nicht wie beim LW selbsttätig, sondern geht von der *F*-Beamtin aus.

Die *F*-Beamtin leitet diese Vorgänge — wie beim Arbeiten über den FVPI — durch Umlegen von *A* und *RV* ein. Dadurch wird Spannung an die *b*-Leitung

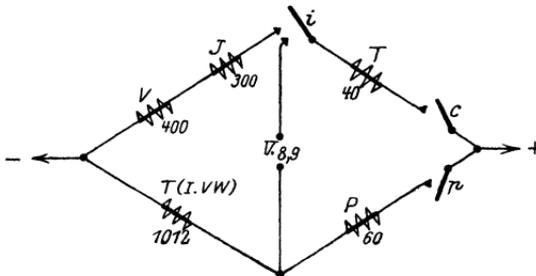


Abb. 1171. Stromlaufzug für die Relais *V*, *J*, *T* und *P* des OFLW in Steuerschalterstellung 8 und 9.

gelegt und *B* im OFLW erregt (— im Fernplatz, *w* 500, *RV*, *A*, *b*-Leitung zum OFLW, *III*. 5, *B* 500 + 500, +). Über *V*. 5, *b* wird *T* kurzgeschlossen; nach dessen Abfallen geht der Steuerschalter nach Stellung 6 und dann weiter nach Stellung 7 und 8 (Erde für *F* nacheinander über *I*. 5, *b*, *t*, *p*; *I*. 6; *I*. 7, *u*, *a*). Beim Durchlaufen der Steuerschalterstellung 7 wird die Anschlußleitung auf Freisein geprüft¹⁾. Für *T* besteht zu dieser Zeit ein Kurzschluß über *i*, *V*. 7, *o*, +. Folgende Fälle sind zu unterscheiden:

a) Ist die Anschlußleitung frei, so sprechen *P* im OFLW und *T* im I. VW an (+ im OFLW, *II*. 7, *P* 1000 + 60, *c*-Leitung zum I. VW usw.); *P* hält sich über *P* 60, *p*, +. Die Anschlußleitung ist nun in der bei Ortsverbindungen üblichen Weise gesperrt. Der Steuerschalter geht aus Stellung 8 weiter bis Stellung 11 (Erde für *F* nacheinander über *I*. 8, *p*; *I*. 9, *e*, *p*; *I*. 10, *p*). *P* wird jetzt über *V*. 11, *v*, + kurzgeschlossen und fällt ab; dieser Kurzschluß sperrt für die Folge an Stelle von *P* 60 die Anschlußleitung gegen weitere Belegungen. Das Wiederansprechen von *T* (von Steuerschalterstellung 8 ab; Stromweg für Steuerschalterstellung 8 und 9 s. Abb. 1171²⁾, für Steuerschalterstellung 10: —, *V* 400, *J* 300, *i*, *T* 40, *c*, +) ist zunächst ohne Bedeutung.

β) Wenn die Anschlußleitung in abgehender Richtung ortsbesetzt ist, kann *P* nicht ansprechen, da die *c*-Leitung im I. VW unterbrochen ist. Da

¹⁾ Wegen der abweichenden Vorgänge bei Mehrfachanschlüssen vgl. nachstehend unter *ξ*.

²⁾ Die Abbildung läßt erkennen, daß die Bedingungen der Wheatstoneschen Brücke gegeben sind. Die beiden Stromwege (*V*, *J*, *T* und *T*, *P*) werden durch die Querverbindung (über *V*. 8, 9) nicht beeinflusst, da die Widerstandsprodukte je zweier gegenüberliegenden Seiten einander annähernd gleich sind.

T in Steuerschalterstellung 8 anspricht (—, $V400$, $J30C$, t , $T40$, c , +; die Abzweigung über t , $V. 8$ ist im I. VW isoliert), geht der Steuerschalter nach Stellung 9 und dann weiter nach Stellung 10 (Erde für F über $I. 8$, t , p ; $I. 9$, e , t , p). E ist in Steuerschalterstellung 9 erregt: +, $E750$, $IV. 9$, b -Leitung zum Fernplatz, A , RV^1), $w500$, —). Jetzt erfolgt durch Erdung beider Zweige der Anschlußleitung (a -Leitung, t , $IV. 10$, v , +; b -Leitung, $III. 10$, +) die Auslösung der Ortsverbindung in der unter (1875, $c\beta$) beschriebenen Weise. Nachdem der I. VW die Ruhestellung erreicht hat, spricht P an (+ im OFLW, $V. 10$, $P1000+60$, c -Leitung zum I. VW usw.) und befördert den Steuerschalter weiter nach Stellung 11 (Erde für F über $I. 10$, p).

γ) Wenn die Anschlußleitung in ankommender Richtung ortsbesetzt ist, kann $P1000+60$ in Steuerschalterstellung 7 nicht ansprechen, da ihm $P60$ des die Ortsverbindung vermittelnden OFLW parallel geschaltet ist. In Steuerschalterstellung 8 und 9 besteht wieder die in Abb. 1171 dargestellte Stromverzweigung, nur liegt diesmal die Bruckenseite $P60$, p in dem für die Ortsverbindung benutzten OFLW. Wie oben erörtert, beeinflussen sich die beiden, über $V. 8, 9$ verketteten Stromwege einander nicht, so daß T anspricht. In der unter β beschriebenen Weise wird nun der Steuerschalter weiterbefördert und die Ortsverbindung beim Durchlaufen der Stellung 10 ausgelöst.

δ) Ist die Anschlußleitung für einen anderen Fernplatz fernvorbereitet, spricht das Prüferelais P des OFLW in gleicher Weise wie bei freier Leitung an, da in dem anderen OFLW (Steuerschalterstellung 5) die c -Leitung isoliert ist (vgl. unter α).

ϵ) Wenn die Anschlußleitung fernbesetzt ist, so ist die c -Leitung in dem für die bestehende Fernverbindung benutzten OFLW über $V. 11$, v widerstandslos geerdet. Über diese Erdverbindung ist P in Steuerschalterstellung 7 und T in Steuerschalterstellung 8 kurzgeschlossen. Der Steuerschalter kann deshalb die Stellung 8 nicht verlassen. Die F -Beamtin erhält das Besetzzeichen; sie zieht VS und wählt die Anschlußleitung nach einiger Zeit erneut.

ζ) Hat der verlangte Tln. eine Sammelnummer, so wird der erste nicht fernbesetzte Einzelanschluß für die Fernverbindung benutzt²⁾. In Steuerschalterstellung 6 wird über den Mehrfachkontakt mk das Relais O erregt (—, $w40$, $III. 6$, $O250$, $IV. 6$, mk , t , p , +; T ist abgefallen, da es über $V. 6$ kurzgeschlossen ist) und hält sich in Steuerschalterstellung 7 (—, $WK2$, $Fw500$, $F60$, $I. 7$, $O2000+250$, o , v , +; F wird durch den schwachen Strom nicht betätigt). Ferner steht U in den Steuerschalterstellungen 5 (nach Ansprechen von B) und 6 unter Strom (—, $D60$, $U10+500$, $IV. 5$, b , + bzw. $II. 6$, +; die geringe Stromstärke bringt D nicht zum Ansprechen); als Verzögerungsrelais hält es seinen Anker auch in Steuerschalterstellung 7 noch einige Zeit.

Ist der erste Einzelanschluß, auf dessen Kontakte der OFLW beim Wählen der Sammelnummer eingestellt worden ist, frei oder fernvorbereitet, so spricht P an (wie unter a). Dadurch wird verhindert, daß A unter Strom kommen (Stromweg —, $w40$, $A500$, $III. 7$, $Tw1500$, mk , t , p , + bei p unterbrochen) und im Wechselspiel mit D [wie bei Ortsverbindungen (1878, a)] die Schaltwelle weiterdrehen kann. Der Steuerschalter, der zunächst durch den geöffneten Ruhekontakt u in Stellung 7 festgehalten wurde, geht nach Abfallen von U in gewöhnlicher Weise weiter und die Fernverbindung wird über den ersten Einzelanschluß abgewickelt. Der Haltestromkreis für O wird bei $I. 7$ unterbrochen.

¹⁾ Es ist ersichtlich, daß die F -Beamtin KV einige Zeit umgelegt lassen muß. Andernfalls würde der Steuerschalter erst beim wiederholten Umlegen von KV die Stellung 9 verlassen.

²⁾ Durch Vornahme einiger, bei der Herstellung bereits vorbereiteter Schaltungsänderungen im Relaisatz des OFLW kann dieser Grundsatz dahin geändert werden, daß der OFLW sich, wenn ein ortsfreier Einzelanschluß vorhanden ist, auf diesen, andernfalls auf einen ortsbesetzten Einzelanschluß einstellt. Diese Regelung, die noch ein Zusatzrelais für die Einzelanschlüsse erfordert, kommt nur für größte Orte in Betracht.

Wenn der erste Einzelanschluß ortsbesetzt ist, spricht T an (bei abgehender Ortsverbindung: —, $V400, J300, i, \frac{T40, c}{V. 7, o, P60 + 1000, II. 7}, +$; bei ankommender Ortsverbindung besteht die Stromverzweigung der Abb. 1171, die Verkettung der Stromwege erfolgt jedoch über $V. 7, o$, statt über $V. 8, 9$ und der Brückenseite $P60, p$ ist $P60 + 1000, II. 7$ des prüfenden OFLW parallelgeschaltet. Der obengenannte Stromkreis für A wird in diesem Falle bei t unterbrochen, so daß die Schaltwelle nicht weitergedreht wird. Der Steuerschalter schreitet nach Abfallen von U weiter; in Stellung 10 wird die Ortsverbindung ausgelöst.

Ist der erste Einzelanschluß fernbesetzt, so sind P und T über die c -Leitung, $V. 11, v$ im eingestellten OFLW kurzgeschlossen. Über ihre Ruhekontakte wird der erwähnte Stromweg für A geschlossen und die Schaltwelle wird [wie bei Ortsverbindungen (1878, a)] weitergedreht. Das Weiterschreiten des Steuerschalters wird dadurch verhindert, daß U im Stromwege des Drehmagnets Stromstöße erhält (—, $D60, U10, f, IV. 7, a, +$), seinen Anker festhält und den Stromweg für F unterbricht. Unter Umständen gelangt der OFLW bis zum letzten Einzelanschluß. Jetzt ist mk geöffnet, so daß A nicht wieder erregt werden kann. Ist auch dieser Anschluß fernbesetzt, erhält die F -Beamtin das Besetzzeichen. Sie muß dann das Ferngespräch zunächst zurückstellen.

c) Durchschaltung, Anruf, Ferngespräch. In Steuerschalterstellung 11 ist die Anschlußleitung, da T erregt ist, zum Fernplatz durchgeschaltet (a -Leitung vom Fernplatz, Kondensator $2\mu F, t$, Sprechstelle, t , Kondensator $2\mu F, b$ -Leitung zum Fernplatz). Hat die F -Beamtin beim Übergang des Steuerschalters nach Stellung 11 RV noch umgelegt, so wird sogleich, andernfalls beim wiederholten Umlegen von RV, O erregt (— im Fernplatz, $w500, RV, A, b$ -Leitung zum OFLW, $t, O750, w50, II. 11, u, a, +$) und Rufstrom zur Sprechstelle¹⁾ entsandt (—, $RM, v, \frac{U700}{Fw1400}, e, o, III. 11, t, Sprechstelle, t, w300, o, +$).

Nimmt der Tln. während des Rufs den Hörer ab, so wird U , welches auf den Rufstrom infolge der Kupfermanteldämpfung nicht anspricht, erregt, macht O stromlos und unterbricht so den Ruf. U fällt dann wieder ab, da seine Verbindung zur a -Leitung bei o aufgetrennt ist. Die Mikrophonspewung verläuft über die Speiserelais A und B (a -Leitung, $t, III. 11, o, A500, w40, —$; b -Leitung, $t, IV. 11, B500, +$), die bei abgenommenem Hörer erregt sind und mithin für die Schlußzeichengabe benutzt werden können. Bei abgenommenem Hörer sind beide Sprechleitungen zum Fernplatz für Gleichstrom isoliert (nachstehender Stromweg durch zwei geöffnete Ruhekontakte a unterbrochen), bei angehängtem Hörer liegt Spannung an der a -Leitung, Erde an der b -Leitung, so daß im Fernplatz das Schlußzeichenrelais SV erregt wird (— im OFLW, $w40, a, i, E750, \frac{u}{e}, a$ -Leitung zum Fernplatz, $A, SVw13000, SV2000, A, b$ -Leitung zum OFLW, $t, O750, w50, II. 11, u, a, +$) und SLv betätigt. Hat die F -Beamtin VS abgetrennt (A und TV umgelegt), so kommt das Hilfsschlußzeichenrelais H unter Strom und läßt HL aufleuchten. Es ist ersichtlich, daß der Tln. durch Bewegen des Hörerhakens Flackerzeichen zum Fernplatz geben kann.

d) Trennung. Wenn die F -Beamtin nach Gesprächsschluß VS zieht, hat im Regelfalle der Tln. den Hörer angehängt, so daß A und B stromlos sind. Im Fernplatz fällt CV , im GW C ab. Der GW und die folgenden GW werden in gewöhnlicher Weise ausgelöst, im OFLW wird C stromlos. Dadurch wird auch der Stromkreis für V, J und T aufgetrennt. Der Steuerschalter geht nach Stellung 12 (Erde für F über $I. 11, v$), M wird erregt (—, $WK2, \frac{M150}{Mw500}, II. 12,$

¹⁾ In ähnlicher Weise, wie beim Verkehr über FVPL (vgl. Fußnote 2 auf S. 774), gelangt ein stark gedämpfter Zweigrufstrom zum Fernplatz.

c, +) und lost den OFLW aus. Der Steuerschalter geht in der unter (1878, c a) beschriebenen Weise weiter bis zur Stellung 1.

Hat ausnahmsweise der Tln. zur Zeit der Gesprächstrennung den Hörer abgenommen, wird der OFLW gleichwohl in derselben Weise ausgelost, da das Weitergehen des Steuerschalters aus Stellung 11 nicht von *A* abhängig ist. Der I. VW, der nach der Auslösung des OFLW in die Ruhelage läuft, wird sogleich erneut angereizt und belegt einen I. GW, so daß der Tln. das Amtszeichen erhält.

(1880) Verkehr des Fernamts mit kleinen SA-Ämtern. a) Verbindungsleitungen. Wegen des geringen Fernverkehrs der kleinen SA-Ämter wäre es unwirtschaftlich, für beide Verkehrsrichtungen besondere Verbindungsleitungen zu benutzen. Die gleichen Leitungen werden deshalb in der Richtung vom SA-Amt für die Anmeldung von Ferngesprächen und für Verbindungen mit Tln. im Orte des Überweisungsfernammtes, in der anderen Richtung für Fernverbindungen und für Verbindungen, die von Tln. im Orte des Überweisungsfernammtes angemeldet sind, benutzt. Die Verbindungsleitungen sind zweidrig. Im Fernamt endigen sie an Übertragungen, von denen sie dreidrig zu den Fernschranken weitergeführt sind. Ähnlich, wie Anschlußleitungen in Handämtern, liegen sie an einem Fernplatz auf Anrufzeichen nebst Abfrageklinke und laufen ferner in Vielschaltung durch das *Ko*-Klinkenfeld aller Fernplätze. Im SA-Amt sind die Verbindungsleitungen wie Anschlußleitungen an einen VW und die zugehörigen Kontakte im LW-Vielfachfeld geführt.

b) Richtung SA-Amt—Fernamt. Wählt ein Tln. die für das Überweisungsfernamt festgesetzte Anrufnummer — eine Sammelnummer, da stets mindestens zwei Verbindungsleitungen vorhanden sind —, so stellt sich der LW in gewöhnlicher Weise auf eine freie Verbindungsleitung ein. Der Rufstrom wirkt beim Fernamt auf ein Relais der Übertragung, welches die der Leitung zugeordnete Anruflampe betätigt und an die Hülsen der zugehörigen *Ko*-Klinken das Besetztpotential legt. Beim Einsetzen von *AS* in die Abfrageklinke wird in der Übertragung die *a*-Leitung geerdet; dadurch werden *Y*, *V*₃ und *Z* im LW (Abb. 1124) erregt; letzteres verhindert die weitere Entsendung von Rufstrom. Am Fernplatz ist die Bedienung der Schalter usw. dieselbe, wie beim Abfragen von Anrufen aus Fernleitungen. Die *F*-Beamtin fertigt in jedem Falle ein Anmeldeblatt aus. Verbindungen nach Tln. am Orte des Fernamts führt sie sogleich aus, während bei weitergehenden Fernverbindungen der Tln. vom Fernamt angerufen wird (vgl. unter c), wenn das Ferngespräch zur Ausführung an der Reihe ist.

Die Schaltung der LW bietet bei dieser Verkehrsrichtung keine Möglichkeit, die Schlußlampe *S L a* zu betätigen, wenn der Tln. des SA-Amtes den Hörer anhängt. Soweit die *F*-Beamtin lediglich eine Ferngesprächsanmeldung entgegennimmt, ist sie über den Gesprächsschluß ohnehin unterrichtet; bei Verbindungen nach Tln. am Orte des Fernamts überzeugt sie sich nach Aufleuchten der Schlußlampe *S L v* durch Hineinhören, ob das Gespräch beendet ist.

c) Richtung Fernamt—SA-Amt. Auf die Möglichkeit der Fernvorbereitung und der Fernamtstrennung wird verzichtet, da sonst bei den kleinen SA-Ämtern verwickeltere Wählerschaltungen angewendet werden müßten und da bei dem geringen Anteil am Fernverkehr kaum Betriebsnachteile entstehen.

Die *F*-Beamtin, die einen Tln. des SA-Amtes anzurufen hat, ermittelt in derselben Weise wie beim Verkehr über OFLW durch Knackkontrolle eine freie Verbindungsleitung. Beim Einsetzen von *VS* wird Besetztpotential an die Vielfachklinken der Leitung gelegt; ferner spricht in der Übertragung ein Relais an, welches den *a*-Zweig der Verbindungsleitung erdet und den VW durch Erregung von *R* anreizt. Der belegte LW übermittelt der *F*-Beamtin das Amtszeichen, die nunmehr die *NS* ablaufen läßt. Die entsandten Stromstöße (1879, a) werden in der Übertragung in Stromunterbrechungen übersetzt, die in gewöhnlicher Weise den LW steuern. Der Anruf des Tln. erfolgt, der Schaltung des LW entsprechend, selbsttätig, ohne daß die *F*-Beamtin *RV* umlegt. Sie hört während des Anrufs das Freizeichen.

Für die Schlußzeichengabe ist in dem LW (Abb. 1124) eine geringfügige Änderung vorzunehmen, die in den Gestellen bereits vorbereitet ist. Zwischen *b*-Leitung und Relais *B* wird ein Kondensator $0,25 \mu\text{F}$ eingefügt, der durch einen Arbeitskontakt *y* oder durch einen Ruhekontakt *z* überbrückt werden kann (Abb. 1172).

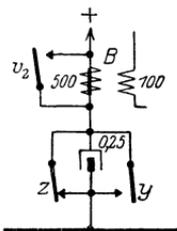


Abb. 1172. Änderung der LW für kleine SA-Ämter für die Schlußzeichengabe im Fernverkehr.

Bei der Belegung des LW wird die Brücke durch *z*, nach Beantwortung des Anrufs (*Y* und *Z* erregt) durch *y* gebildet. Beim Anhängen des Hörers fällt das Speiserelais *Y* ab, während *Z* gebunden bleibt (—, *Z*1340, *z*, *v*₁, *k*, +); die *b*-Leitung vom Fernamt ist jetzt für Gleichstrom isoliert. Diese Änderung des Zustandes der *b*-Leitung wird für die Steuerung eines Relais in der Übertragung benutzt, welches *SV* und damit *SLv* beeinflusst. Im LW ist das vorzeitige Abfallen von *B* ohne Bedeutung, weil sein Kontakt nur zu einem früheren Zeitpunkt (Auswahl eines freien Einzelanschlusses beim Anruf einer Sammelnummer) wirksam ist.

(1881) Verkehr über Tastenplätze. Bei den größten Fernämtern wird die Stromstoßgabe den *F*-Beamtinnen abgenommen und *T*-Beamtinnen (1861) übertragen. Erstrebt wird damit einheitlichere Arbeitsweise und Zeitgewinn für die *F*-Beamtinnen.

Die *F*-Beamtin erreicht den *T*-Platz über Dienstleitung. Nach dem Einsetzen von *VS* in die ihr von der *T*-Beamtin bestimmte *Ko*-Klinke, ist sie, wenn mit Fernvorbereitung gearbeitet wird, sogleich — unabhängig vom Ablauf des *ZG* — frei für andere Arbeiten.

Der *T*-Platz gleicht im allgemeinen dem für den Ortsverkehr benutzten (1863). Für jede *Ko*-Leitung ist jedoch eine Besetztanzeigelampe und eine Kupplungstaste eingebaut. Die Lampen ermöglichen der *T*-Beamtin, bei Anforderung einer Verbindung sogleich eine freie *Ko*-Leitung zu bestimmen; durch kurzes Niederdrücken der Kupplungstaste verbindet sie den *ZG* mit der *Ko*-Leitung. Als *ZG* werden die gewöhnlichen (1863) nach Vornahme geringfügiger, bei der Herstellung bereits vorbereiteter Schaltungsänderungen benutzt. So wird *z. B.* nach der letzten Stromstoßreihe Spannung an die *a*-Leitung gelegt, um *J* im OFLW zu erregen und diesen dadurch für fernamtsmäßiges Arbeiten umzusteuern. Der *ZG* wird nicht beim Einstellen der *E*-Taste, sondern erst beim Drücken der Kupplungstaste angelassen. *DW* sind nicht erforderlich, da der *T*-Platz über Dienstleitung erreicht wird.

Sind bei Verbindungen nach einzelnen SA-Ämtern weniger Stromstoßreihen nötig, als der *T*-Platz Tastenstreifen enthält, so bleiben die letzten Tastenstreifen unbenutzt; im letzten benutzten Tastenstreifen ist dann noch die 11. Taste (*z. B.* *Th*11) zu drücken (1863). Bei Verbindungen nach kleinen SA-Ämtern werden die vom *ZG* entsandten Stromstöße in der Übertragung in Stromunterbrechungen übersetzt (1880, c).

(1882) Verkehr der Fernämter älterer Bauart nach SA-Teilnehmern. Sind bestehende Fernämter *ZB* nachträglich für den Verkehr nach SA-Tln. einzurichten, so ist die Platzbeschaltung in einigen Punkten (*z. B.* Einbau der *NS*, Führung der Verbindungsleitungen durch das Vielfachfeld) zu ändern; in die Leitungen sind ferner Übertragungen zur Anpassung der Arbeitsbedingungen einzubauen. Bei Fernämtern *OB* sieht man von einer Änderung der *F*-Plätze ab; man läßt die Verbindungsleitungen an besonderen *F*-Plätzen (Hilfsplätzen) endigen, welche den Verkehr vermitteln.

(1883) Verkehr zur Nachtzeit. Während der Nacht, gegebenenfalls auch am Tage während der Stunden schwachen Verkehrs, kann aus wirtschaftlichen Gründen auf die Inbetriebhaltung der *FVPI* und *T*-Plätze verzichtet und der gesamte Verkehr von den Nacht- oder Sammelplätzen des Fernamts aus über Wähler abgewickelt werden. Befindet sich auf dem Grundstück des Fernamts ein SA-Amt und stehen dem Fernamt ohnehin I. *GW* nach Schaltung der II. *GW* (für

den Verkehr nach Unterämtern ohne FVPl) zur Verfügung, so können letztere nutzbar gemacht werden, indem ihre Ausgänge denen von I. GW für den Ortsverkehr parallelgeschaltet werden. Andernfalls erhält das Fernamt einige Anschlüsse an das Ortsamt, die vielfach über Klinken der Fernplätze geführt werden. Eine Übertragung sorgt für das Anreizen des I. VW, wenn VS eingesetzt wird, und für die Übermittlung der Stromstöße in der für den Ortsverkehr nötigen Form (Stromunterbrechungen), wenn die Beamtin die NS ablaufen läßt. Auf Schlußzeichengabe, Fernvorbereitung und Fernamtstrennung kann unbedenklich verzichtet werden, da nachts auf die Ausnutzung der Fernleitungen nicht in dem Maße Wert gelegt zu werden braucht, wie während der Hauptverkehrszeit.

(1884) Verkehr des Schnellverkehrsamtes. a) Grundsätzliches. Schnellverkehrsverbindungen nach SA-Tln.¹⁾ werden immer über Wähler (nicht über FVPl) abgewickelt. Die Verbindung wird ortsamtsmäßig hergestellt; bestehende Ortsverbindungen des gewünschten Tln. können also nicht aufgetrennt werden. Die Verbindungsleitungen nach Seitenämtern außerhalb des ON des Schnellverkehrsamtes sind immer zweiadrig; sie enden bei beiden Ämtern in Übertragungen, die Ringübertrager zum Schutz gegen Starkstrombeeinflussung enthalten. Jeder Verbindungsleitung ist beim Seitenamt ein I. GW fest zugeordnet; da Gesprächszählung fortfällt und über die Grenzen des ON hinausführende Verbindungsleitungen in den Übertragungen ohnehin mit Ringübertragungen abgeschlossen sind, genügen I. GW nach der einfacheren Schaltung der II. GW (1855). Kleine SA-Ämter werden am Schnellverkehr nicht beteiligt.

b) Verkehr nach Seitenämtern des eigenen Schnellverkehrsbezirks. In Schnellverkehrsnetzen geringeren Verkehrsumfanges werden die Knotenamts-*A*-Plätze mit NS ausgerüstet. Die *A*-Beamtin ermittelt nach Ausfertigung des Gesprächsblattes unter den über alle Plätze vielfachgeschalteten Verbindungsleitungen mit Knack- oder Summerkontrolle eine freie; beim Einsetzen des Verbindungsstöpsels wird Besetzipotential an alle Klinkenhülsen derselben Leitung gelegt. Der Ablauf der NS wirkt in der üblichen Weise auf die Wähler (*B* wird für die Dauer der Stromstoßreihe erregt, *A* erhält eine der eingestellten Ziffer entsprechende Zahl von Stromstößen). Für die Schlußzeichengabe werden, wie im Verkehr Handamt-SA-Tln., die Änderungen, die im LW oder OFLW beim Anhängen des Hörers eintreten, benutzt (1864, h, 1878, e).

In Schnellverkehrsnetzen stärkeren Verkehrsumfanges erhalten die *A*-Plätze keine NS, dagegen wird jeder Verbindungsleitung nach den Seitenämtern im Schnellverkehrsamt ein DW zugeordnet. Dieser wird angereizt, wenn an einem *A*-Platz ein Stöpsel in die Verbindungsklinke der Leitung eingesetzt wird, stellt sich auf einen freien Tastensatz ein und läßt dort die Anruflampe leuchten. Der Tln. sagt der *T*-Beamtin die Nummer des gewünschten Anschlusses an. Die weiteren Vorgänge sind dieselben wie im Verkehr Handamt-SA-Tln. (1861, 1878, e). Hat die Anschlußnummer weniger Stellen, als am *T*-Platz Tastenstreifen vorhanden sind, so gilt das unter (1881) Gesagte.

Abweichend von dieser Regelung kann auch darauf verzichtet werden, die Verbindungsleitungen in Vielschaltung über die *A*-Plätze zu führen. Dafür erhält der *A*-Platz eine Anzahl Verbindungsklinken, die je zu einem im Schnellverkehrsamt untergebrachten Zusatzwähler (in Schaltung der II. GW) nebst DW führen. Für den Verkehr nach den SA-Ämtern des eigenen ON kann der Zusatzwähler zugleich als I. GW dienen; die Ausgänge der betreffenden Höhenschritte sind dann den Ausgängen der I. GW für den Ortsverkehr parallelzuschalten. An die nicht benötigten Höhenschritte werden die Verbindungsleitungen nach den übrigen Seitenämtern herangeführt. Es ist ersichtlich, daß die *T*-Beamtin der Anschlußnummer gegebenenfalls eine Ziffer voransetzen muß, welche das Seitenamt kennzeichnet (Kennziffer). Sind mehr Seitenämter vorhanden, als Höhen-

1) Wegen des Verkehrs in der umgekehrten Richtung vgl. (1870).

schritte zur Verfügung stehen, so werden I. und II. Zusatzwähler nötig; die Kennziffern sind dann alle oder zum Teil zweistellig.

c) Verkehr nach Seitenämtern fremder Schnellverkehrsbezirke. Die zwischen den beiden Schnellverkehrsämtern verlaufenden Verbindungsleitungen liegen beim 1. Amt an vielfach geschalteten Verbindungsklinken der A-Plätze und endigen beim 2. Amt an Zusatzwählern (in Schaltung der II. GW) nebst DW. Im übrigen finden die im vorigen Absatz aufgeführten Grundsätze Anwendung.

(1885) Fernsprechnetzengruppen¹⁾. Allgemeines. In Bayern werden gegenwärtig Versuche angestellt, den Verkehr mehrerer, zu einer Fernsprechnetzengruppe (FNG) zusammengefaßter SA-Ämter untereinander selbsttätig statt durch Vermittlung des Fernamts abzuwickeln. Sämtliche Ämter der FNG bilden gewissermaßen ein einziges SA-Amt.

Ein — möglichst in der Mittel liegendes — Amt (in der Regel das größte) ist das Vollamt, die übrigen Ämter sind Hilfsämter. Zur Ersparung von Leitungen sind die entferntesten Ämter als Hilfsämter II., unter Umständen auch III. Ordnung eingerichtet, d. h. sie bilden Gruppen eines Hilfsamts I. oder II. Ordnung²⁾. Zu demselben Zweck ist allgemein die Überbrückungsschaltung (1857) verwendet. Der Radius einer FNG soll 25 km nicht übersteigen. Abb. 1173 zeigt den Aufbau einer FNG³⁾. Beim Vergleich der Anschlußnummern ist ersichtlich, daß die beiden ersten Stellen, zuweilen auch nur die erste Stelle, das Amt kennzeichnen (Amtscharakteristik oder Kennziffer).

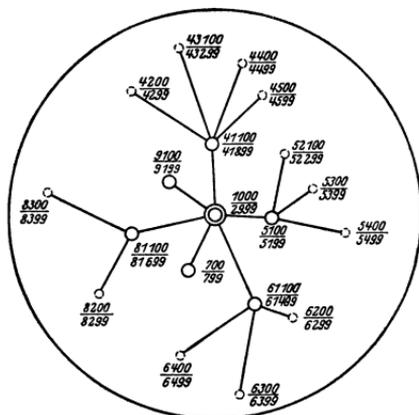


Abb. 1173. Aufbau einer Fernsprechnetzengruppe.

So sind Kennziffern des Vollamts: 1 und 2; der Hilfsämter I: 41, 51, 61, 7, 81 und 9; der Hilfsämter II: 42, 43, 44, 45, 52, 53 usw.

Die Anrechnung der bestimmungsmäßigen Ferngesprächsgebühr erfolgt durch mehrmalige⁴⁾ Betätigung des Gesprächszählers des 1. Tln. Zu diesem Zweck sind in die Schaltung besondere Zeitzonenzähler (ZZZ) eingefügt, die aus drei Drehwählern nebst den erforderlichen Relais bestehen. Die drei Drehwähler treten nacheinander in Tätigkeit. Der erste (Zonenfeststellung) liegt (in dem gewählten Beispiel) während der zwei ersten Stromstoßreihen und während einer von ihnen an der Leitung oder er ist in gewissen Fällen überhaupt entbehrlich. Im ersteren Fall wird er durch jeden Stromstoß beider Reihen um einen Schritt fortgeschaltet. Er bleibt also auf dem Schritt stehen, der der Summe der beiden zuerst gewählten Ziffern entspricht. Die Summe allein ist jedoch nicht eindeutig (z. B. ist beim Wählen von 4 + 5, von 5 + 4, von 6 + 3 usw. die Summe jedesmal = 9); deshalb wird wäh-

¹⁾ Vgl. Langer, Max: Das selbsttätige Fernsprechamt Weilheim (Siemens-Zeitschr. 1923, Heft 7), und Hebel, Martin: Das Modell der Netzengruppe Schafflach auf der deutschen Verkehrsausstellung München als Zukunftsbild des bayerischen Fernsprechwesens (Z. f. Fernmeldetechn. 1926, Heft 1, 2 u. 3).

²⁾ Künftig bezeichnet als Hilfsamt I, Hilfsamt II.

³⁾ Da nur die grundlegenden Gedanken erläutert werden sollen, ist das Beispiel möglichst einfach gewählt. In Wirklichkeit wird man z. B. kaum 6 Hohenschritte der I. GW für den Verkehr nach den Hilfsämtern verwenden, sondern eine weitere Wahlstufe einschleichen; die Kennziffern der Ämter werden dann ein- bis dreistellig.

⁴⁾ Voraussetzung ist also, daß die Ferngesprächsgebühren ein Vielfaches der Ortsgesprächsgebühr sind.

rend der Rast nach der ersten Stromstoßreihe noch ein die Raststellung kennzeichnendes Relais erregt. Da die so festgelegten zwei ersten Ziffern die Kennziffer des angerufenen Amtes darstellen, ist damit die Entfernung der beiden Ämter voneinander (Zone) bestimmt. In entsprechender Weise wird die Zone festgelegt, wenn der erste Drehwähler nur von einer Stromstoßreihe beeinflusst wird; die Erregung eines die Raststellung kennzeichnenden Relais kann in diesem Falle fortfallen. Daß auf den ersten Drehwähler unter Umständen verzichtet werden kann, ist in den folgenden Beispielen unter f erläutert. Der erste Drehwähler dient gegebenenfalls gleichzeitig als Mitlaufwerk für Überbrückung. Hinsichtlich dieser Aufgabe wird er künftig als Überbrückungseinrichtung bezeichnet.

Der zweite Drehwähler (Zeitfeststellung) tritt in Tätigkeit, wenn der 2. Tln. den Anruf beantwortet, und zwar wird er immer nach Ablauf einer Zeiteinheit (3 Minuten) selbsttätig weitergeschaltet¹⁾. Er wird angehalten, wenn der 1. Tln. den Hörer anhängt. Zu diesem Zeitpunkt beginnt auch der dritte Drehwähler (Mehrfachzählung) selbsttätig umzulaufen. Bei jedem Drehschritt erhält Z im I. GW kurze Zeit Strom und schaltet in der bekannten Weise den Gesprächszähler des 1. Tln. weiter. Der dritte Drehwähler kommt zum Stillstand, wenn er den Drehschritt erreicht hat, der dem Produkt Zone \times Zeiteinheit entspricht; die Einstellung der beiden ersten Drehwähler (sowie des Relais für die Raststellung) gibt das Mittel, den dritten Drehwähler auf dem richtigen Drehschritt anzuhalten. Nach Beendigung der Mehrfachzählung wird die Verbindung ausgelöst.

(1886) Wirkungsweise. Die Schaltungsgrundzüge sind in Abb. 1174 angedeutet. Es sind dreiadrige Verbindungsleitungen angenommen; bei zweiadriger Ausführung sind an den Übergangsstellen Übertragungen einzufügen. Zur Erläuterung mögen folgende Beispiele dienen:

a) Tln. 2802 (Vollamt) wählt 1240 (Ortsverbindung). Die Verbindung und die Gesprächszählung verlaufen in gewöhnlicher Weise; es liegt kein ZZZ im Verbindungswege.

b) Tln. 2802 (Vollamt) wählt 41473 (Hilfsamt I). Die Ausgänge des Hörschritts 4 des belegten I. GW des Vollamts führen über ZZZ zu II. GW im Hilfsamt I. Bei der zweiten Stromstoßreihe wird der erste Drehwähler des ZZZ auf Schritt 1 fortgeschaltet und damit die der Entfernung Vollamt—Hilfsamt I entsprechende Zone festgelegt. Die Wähler im Hilfsamt arbeiten in bekannter Weise. Nach Gesprächschluß gibt ZZZ die erforderlichen Zahlstromstöße.

c) Tln. 2802 (Vollamt) wählt 4258 (Hilfsamt II). Bei der ersten Stromstoßreihe wird (wie unter b) ein II. GW beim Hilfsamt I belegt. Bei der zweiten Stromstoßreihe wird der erste Drehwähler des ZZZ auf Schritt 2 fortgeschaltet und damit die Zone Vollamt—Hilfsamt II festgelegt; der auf den 2. Hörschritt gehobene II. GW belegt eine freie Leitung zum Hilfsamt II und ist damit zu einem OFLW dieses Amtes durchgeschaltet.

d) Tln. 41218 (Hilfsamt I) wählt 1240 (Vollamt). Beim Abnehmen des Hörers wird ein I. GW²⁾ im Vollamt belegt; in der Verbindungsleitung liegt eine Stromstoßübertragung mit Überbrückungseinrichtung und ZZZ. Der erste Drehwähler des ZZZ gelangt bei der ersten Stromstoßreihe auf Schritt 1 und erregt das diese Raststellung kennzeichnende Relais, welches verhindert, daß die Stromstöße auch der zweiten Reihe den Drehwähler weiterschalten (weil die Kennziffern des Vollamts — 1 und 2 — einstellig sind). Damit ist die Zone Hilfsamt I—Vollamt festgelegt. Die Überbrückungseinrichtung ist ohne Bedeutung, da sie nur wirkt, wenn an erster Stelle die Ziffer 4 gewählt wird. Die weiteren Stromstoßreihen wirken auf die Wähler des Vollamts.

¹⁾ Aus besonderen Gründen, von deren Erörterung hier abgesehen werden kann, erfolgt die Weiterschaltung in Wirklichkeit in kürzeren Zeiträumen.

²⁾ Die Schaltung der I. GW weicht von der gewöhnlichen Schaltung ab.

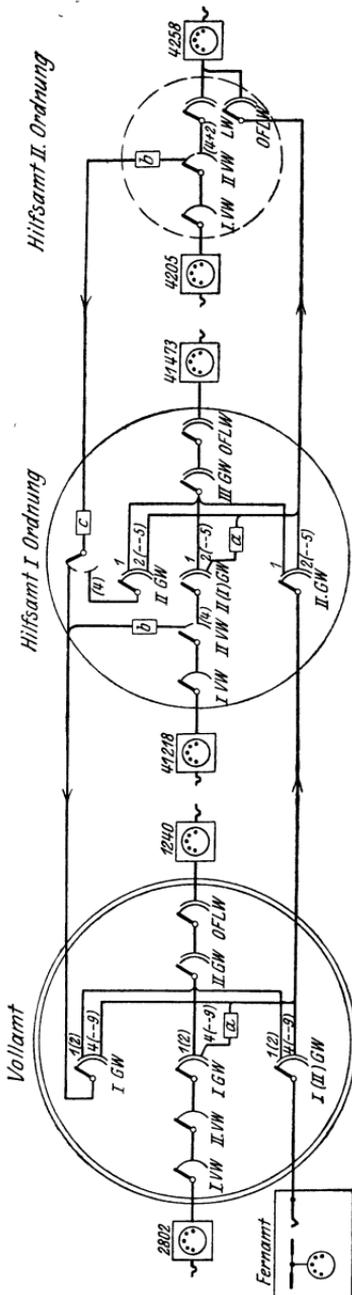


Abb. 1174. Schaltungsübersicht für eine Fernsprechnetzgruppe. *a* = Zeitzonenzähler. *b* = Stromstoßübertragung mit Überbrückungseinrichtung und Zeitzonenzähler. *c* = Übertragung mit Mitlaufwerk für Überbrückung.

e) Tln. 41218 (Hilfsamt I) wählt 41473 (Ortsverbindung). Beim Abnehmen des Hörers wird wieder ein I. GW im Vollamt belegt. Bei der ersten Stromstoßreihe wird der I. GW auf den 4. Höhenschritt gehoben. Gleichzeitig trennt aber die Überbrückungseinrichtung die *c*-Leitung vom II. VW auf, so daß dieser erneut anläuft und sich auf einen II. GW des eigenen Amtes einstellt; die vorher belegte Verbindungsleitung zum Vollamt wird wieder frei. Die weiteren Stromstoßreihen wirken auf die Wähler des eigenen Amtes. In der Verbindung liegt kein ZZZ, der Gesprächszähler wird nur einmal betätigt.

f) Tln. 41218 (Hilfsamt I) wählt 4258 (Hilfsamt II). Bis zum Ablauf der ersten Stromstoßreihe wie unter e. Bei der nun folgenden Wahl der Ziffer 2 wird der II. GW über einen ZZZ zu einem OFLW des Hilfsamts II verbunden, auf den die folgenden Stromstoßreihen wirken. Im ZZZ fällt in diesem Fall der erste Drehwähler fort, da über den benutzten Weg nur Verbindungen Hilfsamt I—Hilfsamt II laufen können, also nur eine bestimmte Zone in Frage kommt. Nach Gesprächsschluß entsendet der ZZZ die nötige Zahl von Zählstromstößen.

g) Tln. 41218 (Hilfsamt I) wählt 5173 (anderes Hilfsamt I mit zweistelliger Kennziffer). In der Verbindungsleitung zum Vollamt liegt eine Stromstoßübertragung mit Überbrückungseinrichtung und ZZZ. Durch die beiden ersten Stromstoßreihen wird im ZZZ der erste Drehwähler auf Schritt 6 geschaltet und das Relais der Raststellung 5 erregt. Damit ist die Zone festgelegt. Die Überbrückungseinrichtung ist ohne Bedeutung, da sie den II. VW nur dann erneut anlaufen läßt, wenn an erster Stelle die Ziffer 4 gewählt ist.

h) Tln. 41218 (Hilfsamt I) wählt 730 (anderes Hilfsamt I mit einstelliger Kennziffer). Wie unter g. Nach der ersten Stromstoßreihe wird das Relais der Raststellung 7 erregt; es verhindert, daß der erste Drehwähler des ZZZ auch den Stromstößen der zweiten Reihe folgt.

i) Tln. 41218 (Hilfsamt I) wählt

6403 (Hilfsamt II. eines anderen Hilfsamts I). Wie zu g. Der erste Drehwähler des ZZZ wird auf Schritt 10 geschaltet und das Relais der Raststellung 6 erregt.

k) Tln. 4205 (Hilfsamt II) wählt 1240 (Vollamt). Im Stromwege zu dem belegten I. GW des Vollamts liegt eine Stromstoßübertragung mit Überbrückungseinrichtung und ZZZ (beim Hilfsamt II) und eine Übertragung mit Mitlaufwerk für Überbrückung (beim Hilfsamt I). Beide Überbrückungswerke bleiben ohne Bedeutung, da sie nur beim Wählen von 4 + 2 bzw. 4 wirken. Zonenfestlegung wie unter d.

l) Tln. 4205 (Hilfsamt II) wählt 41473 (Hilfsamt I). Beim Wählen der ersten Ziffer (4) führt das Mitlaufwerk im Hilfsamt I die Überbrückung des Verbindungsweges Hilfsamt I—Vollamt herbei. Die Überbrückungseinrichtung im Hilfsamt II bleibt ohne Bedeutung, da an den ersten Stellen nicht 4 + 2 gewählt wird. Zonenfeststellung durch Einstellung des ersten Drehwählers des ZZZ auf Schritt 5 und Erregung des Relais der Raststellung 4.

m) Tln. 4205 (Hilfsamt II) wählt 4258 (Ortsverbindung). Beim Wählen der ersten Ziffer (4) überbrückt das Mitlaufwerk beim Hilfsamt I die Leitung zum Vollamt. Die Stromstöße der ersten und zweiten Reihe (4 + 2) schalten die Überbrückungseinrichtung beim Hilfsamt II auf Schritt 6¹⁾, so daß der II. VW erneut anläuft und sich unmittelbar auf einen LW des eigenen Amtes einstellt. Die Gesprächszählung erfolgt ortsamtsmäßig, da kein ZZZ im Verbindungsweg liegt.

n) Anrufe vom Hilfsamt II nach anderen Hilfsämtern I und deren Hilfsämtern II. Die Vorgänge entsprechen denen der Beispiele g bis i.

(1887) Unmittelbarer Verkehr zwischen benachbarten FNG kann eingerichtet werden, indem die Ausgänge eines Höhenschritts der I. GW des Vollamts der einen FNG zu II. GW des Vollamts der anderen FNG geführt werden. Beim Wählen muß die diesem Höhenschritt entsprechende Ziffer der Anschlußziffer vorangestellt werden.

Es kann auch nur ein Randamt zum Verkehr mit der anderen FNG oder mit einem Randamt der anderen FNG zugelassen werden. Die Verbindungsleitungen zum Vollamt oder zum Randamt der anderen FNG sind dann an die Ausgänge der II. (unter Umständen der III.) GW des Abgangsamts zu legen. Der Anschlußnummer ist dann die Kennziffer des Abgangsamts (z. B. 43) und die dem benutzten Höhenschritt entsprechende Ziffer voranzusetzen; beim unmittelbaren Verkehr nach einem Randamt ist die sonst für dieses Amt geltende Kennziffer fortzulassen.

(1888) Fernverkehr. Mit dem Vollamt wird in der Regel ein Fernamt verbunden, welches den über die Grenzen der FNG oder der zum unmittelbaren Verkehr zugelassenen benachbarten FNG hinausgehenden Verkehr abwickelt. Das Fernamt benutzt die Einrichtungen für den Innenverkehr mit (vgl. Abb. 1174). Für mehrere, zum unmittelbaren Verkehr zugelassene FNG kann auch ein gemeinsames Fernamt eingerichtet werden. Für die Nachtzeit ist eine weitgehende Zusammenfassung des Fernverkehrs vorgesehen, um die Kosten für den Nachtdienst bei den kleineren Fernämtern zu ersparen. Zu diesem Zweck sollen die Fernleitungen nachts auf I. GW der Vollämter ohne Nachtdienst umgeschaltet werden.

(1889) Vorteile und Nachteile. Vorteile für die Tln.: Unmittelbarer Anruf der Anschlüsse an anderen Orten der FNG wie im Ortsverkehr; Nachteile: Wegfall der Gesprächszettel, Gefahr der Schädigung durch Dritte, denen die Benutzung des Anschlusses gestattet wird, Unsicherheiten über die vorzusetzende Kennziffer beim Verkehr nach benachbarten FNG. Vorteile für die Verwaltung: Verkleinerung der Fernämter, Verringerung der Bedienungs- und Unterhaltungs-

¹⁾ Ähnlich wie beim ZZZ muß auch hier ein die Raststellung 4 kennzeichnendes Relais erregt werden, da die Überbrückungseinrichtung auch durch andere Ziffernzusammenstellungen (z. B. 1 + 5) auf Schritt 6 geschaltet wird.

kosten; Nachteile: Bindung hinsichtlich der Gebührensätze für Ferngespräche (Vielfaches des Gebührensatzes für Ortsgespräche), erhöhter Bedarf an Leitungen und Wählereinrichtungen, verwickeltere Schaltungen, insbesondere auch bei den kleineren Ämtern ohne eigenes technisches Personal, infolgedessen erhöhte Unterhaltungskosten¹⁾. Zur Erzielung größtmöglicher Wirtschaftlichkeit sind folgende Maßnahmen geplant oder bereits eingeführt: Benutzung der Verbindungsleitungen in beiden Richtungen und in Viererschaltung, Verwendung von AS an Stelle von VW bei den kleinsten Ämtern, weitgehende Verminderung der Fernämter, Indiensthaltung nur der größten Fernämter während der Nacht (1888).

H. Betrieb²⁾.

(1890) Betriebsüberleitung. Die Überleitung muß so vorbereitet werden, daß der Betrieb vom ersten Tage ab sich glatt abwickelt. Andernfalls tritt — neben etwaigen Fehlererscheinungen — durch zwecklose oder zu lange Belegung der Wähler die Abschaltung der I. VW ein, die anrufenden Tln. erhalten das Besetzzeichen und fassen ein Vorurteil gegen die neuen Einrichtungen, das schwer zu beheben ist. Folgende Punkte sind hauptsächlich von Wichtigkeit:

a) Zustand der Leitungen und Sprechstellen. Der SA-Betrieb stellt höhere Anforderungen an das Leitungsnetz als der ZB- und OB-Betrieb. Insbesondere ist bester Isolationszustand der Leitungen und der Sprechstelleneinrichtungen nötig. In oberirdischen Linien verringert man gegebenenfalls die Stützpunktabstände, gruppiert die Leitungen entfernter oder ersetzt die blanken Drähte durch isolierte (insbesondere bei den Sprechstellenzuführungen) oder durch Luftkabel (in stärker belasteten Linienzügen).

An Stelle genagelter Zimmerleitungen werden neue an Isolierrollen gezogen. Die Sprechstellenapparate werden vor der Einschaltung genau geprüft, insbesondere auch die NS. Neu hergerichtete Anschlüsse werden mehrfach, möglichst bei feuchtem Wetter, gemessen. Nebenstellenanlagen müssen besonders sorgfältig durchgeprüft werden.

b) Umschaltungen im Leitungsnetz. Die Umschaltungen müssen derart vorbereitet sein, daß bei der Betriebsüberleitung Lotarbeiten vermieden, die Umschaltungen vielmehr durch Einsetzen und Entfernen von Sicherungen, Isolierzwischenlagen usw. vorgenommen werden.

c) Durchprüfung der SA-Einrichtungen. Jeder einzelne Wähler und jeder Weg zwischen zwei Wählern muß genau durchgeprüft werden (Unterbrechungen, Nebenschließungen, Verschaltungen, richtige Einstellung der Wähler, Steuerschalter, Relais usw.).

d) Belehrung der Teilnehmer. Der SA-Betrieb stellt höhere Anforderungen an die Tln. (Einstellen der NS, Signale, Beachtung der Nummernänderungen) als der Handbetrieb. Die Neuerungen müssen den Tln. möglichst oft und in einer Form, die ihr Interesse erweckt, bekanntgegeben werden (Presse, Vorträge, Vorführungen im Amt, Störungssucher, Übermittlung der Summerzeichen).

e) Vorbildung des Amtspersonals. Das Personal muß bei der Überleitung vollständig ausgebildet sein, damit Amtspflege und Störungsdienst sogleich gehörig einsetzen. Andernfalls würden die Wähler unnötig lange belegt (bei Außenstörungen) oder außer Betrieb (bei Innenstörungen) bleiben.

f) Zeitpunkt der Überleitung. Erfahrungsmäßig wollen die Tln. am Tage nach der Überleitung sich mit der neuen Betriebsweise bekannt machen. Um eine Überlastung des Amtes aus diesem Anlaß zu vermeiden, nimmt man die Überleitung zweckmäßig in der Nacht zum Sonntag vor.

¹⁾ Bei der in Abb. 1174 dargestellten Regelung ferner Ersetzung der FVPI durch die unwirtschaftlicheren OFLW bei größeren Ämtern. Es ist jedoch auch möglich, die FVPI beizubehalten.

²⁾ Vgl. Schmidt: Praktische Winke zur Einrichtung von Fernsprech-Selbstanschlußämtern. Lübeck: Franz Westphal.

g) Verstärkte Überwachung bestimmter Wähler. Um die unnötig lange Belegung der Wähler abzukürzen, ist in der ersten Zeit nach der Betriebsüberleitung eine verstärkte Überwachung der I. GW und LW von Vorteil. Am I. GW ist meistens erkennbar, wenn der Tln. alte Anschlußnummern wählt (z. B.: an erster Stelle wird eine Zahl gewählt, mit der neue Anschlußnummern nicht beginnen; es werden weniger Stromstoßreihen entsandt, als der Stellenzahl der neuen Anschlußnummern entspricht) oder nach dem Abnehmen des Hörers die NS nicht einstellt. Am LW zeigt *AL*, wenn der Tln. beim Empfang des Besetzzeichens den Hörer nicht anhängt oder wenn er eine alte, im SA-Amt unbenutzte Anschlußnummer gewählt hat und infolgedessen kein Rufstrom fließt. Die sofortige Belehrung durch das Amtspersonal, welches sich über die jedem Heb-Drehwähler zugeordnete Prüfklinke einschalten kann, trägt sehr dazu bei, daß die Tln. sich an die neue Betriebsweise gewöhnen.

h) Erhöhte Leistungsfähigkeit der Störungsstelle. In den ersten Betriebstagen wird die Störungsmeldestelle in weit stärkerem Maße angerufen als später, da viele Tln. bei regelmäßigen Betriebserscheinungen (z. B. bei Besetzzeichen) Störungen vermuten. Die Zahl der Anrufzeichen für die Störungsmeldestelle muß deshalb behelfsmäßig vermehrt werden, damit nicht die Tln. beim Anruf das Besetzzeichen erhalten.

Störungssucher müssen in der ersten Zeit reichlich vorhanden sein, um ein Anhäufen der Außenstörungen zu vermeiden. Insbesondere ist mit einem größeren Bedarf zu rechnen, wenn die Tln. bei der Betriebsüberleitung mitzuwirken haben (Durchschneiden von Drähten, Umstellen von Umschaltern); erfahrungsmäßig versäumt eine Anzahl der Tln. die Schaltungsänderungen oder führt sie unrichtig aus.

(1891) Amtspflege. In größeren SA-Ämtern kann bei der Meldung von Innenstörungen der fehlerhafte Teil selten festgestellt werden, da nach Auslösung der Wähler der benutzte Verbindungsweg nicht ermittelt werden kann. Deshalb muß die Amtspflege im wesentlichen vorbeugend sein; die Einrichtungen werden in allen Teilen in regelmäßigen Fristen durchgeprüft und gegebenenfalls instandgesetzt. Für die Durchprüfung werden Prüfapparate und Prüfsätze benutzt, welche entweder über die Verteiler oder über die Prüfklinken mit den Wählern in Verbindung gebracht oder an Stelle der Relaisätze eingehängt werden.

Die Wählerräume müssen möglichst staubfrei gehalten werden. Ferner sind größere Temperaturschwankungen zu vermeiden, um Beschädigungen der Teile durch Kondenswasser zu vermeiden.

Von Vorteil ist es, laufend Prüfanrufe in größerem Umfange zu machen; der Prozentsatz an nicht zustandegekommenen Verbindungen gibt einen Maßstab für die Güte der Einrichtungen und läßt erkennen, ob die Amtspflege ausreicht oder zu verbessern ist.

(1892) Störungsdienst. Es ist von Vorteil, dem Beamten der Störungsmeldestelle die Möglichkeit zu geben, gestört gemeldete Anschlußleitungen sogleich vereinfacht¹⁾ zu prüfen (Vorprüfung); zu diesem Zwecke werden einige Prüfleitungen und eine Dienstleitung zum FVPI vorgesehen. Da die Prüfung nur kurze Zeit erfordert, läßt der Beamte den anrufenden Tln. zunächst warten und verständigt ihn dann, ob eine Störung besteht oder nicht. Der letztere Fall liegt bei zahlreichen Meldungen²⁾ vor, die somit sogleich endgültig erledigt werden. Aber auch im andern Falle ist es zweckmäßig, den anrufenden Tln. zu bescheiden, daß eine Störung vorliegt und ihre Beseitigung veranlaßt wird. Bei der Störungsmeldestelle müssen auch Unterlagen (Kartei) über Aufhebung, Sperrung usw. von Anschlußleitungen vorhanden sein.

¹⁾ Ein Meßinstrument ist entbehrlich; es genügt, die hauptsächlichsten Fehler durch Prüflampen erkennbar zu machen.

²⁾ Häufigster Fall: Auf die Meldung, daß beim Anruf der gewünschten Stelle stets das Besetzzeichen ertönt, wird festgestellt, daß diese Stelle tatsächlich im Gespräch begriffen ist.

Die Vorprüfung läßt nicht immer zweifelsfrei erkennen, ob ein festgestellter Fehler innerhalb oder außerhalb des Amtes liegt, da die Prüfverbindung am FVPI nur eine Abzweigung der Anschlußleitung darstellt. Die genauere Feststellung findet am Prüfschrank statt. Dieser hat Zuleitungen zu Prüfstöpseln, mit denen im Hauptverteiler an den Sicherungsleisten die Innen- und Außenleitungen getrennt und je für sich zum Prüfschrank geschaltet werden können. Außenstörungen werden von dem Beamten des Prüfschranks gemeinsam mit dem abgeschickten Störungssucher bearbeitet. Der Prüfschrank ist zur Ausführung von Messungen eingerichtet, ferner gestattet er, die NS der Sprechstellen über die Anschlußleitungen zu prüfen. Innenstörungen werden vom Personal des Wähler-saals beseitigt.

Es ist vorteilhaft, für die einzelnen Anschlußleitungen und Wähler Störungsvermerke (Störungskarteien) zu führen. Sie geben ein Mittel, beim wiederholten Auftreten gleichartiger Störungen durchgreifende Maßnahmen zu treffen. Ferner ist die Führung einer zweckmäßig unterteilten Störungsstatistik zu empfehlen, die gegebenenfalls Veranlassung zu einer gründlichen Überholung einzelner Teile der Inneneinrichtung oder des Außennetzes gibt.

J. Wähler für besondere Zwecke.

(1893) **Zwangläufig gesteuerte Wähler.** Ohne Zusammenhang mit den SA-Amtseinrichtungen können Wähler angewendet werden, um einzelne Dienststellen u. dgl. unmittelbar untereinander verkehren zu lassen. Die beteiligten Stellen usw.

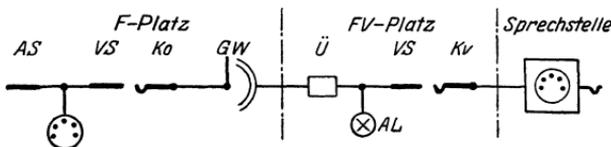


Abb. 1175. SA-Verkehr Fernamt — Fernvermittlungsplatz.

erhalten Anrufnummern, unter denen sie von den übrigen durch Einstellen der NS erreicht werden. Da im Vergleich zum SA-Amt meistens eine Anzahl von Aufgaben wegfällt (z. B. Gesprächszählung, oft auch Mikrophonspeisung, Wechselstromanruf, Besetzprüfung, Signale), können einfachere Schaltungen angewendet werden, auch die Einfügung von VW ist meistens entbehrlich. Die Abschnitte (1894) bis (1897) geben einige Beispiele für eine solche Anwendung von Wählern.

(1894) **Wähler im Fernamt.** In Fernämtern kann der Dienstverkehr der F-Plätze untereinander über Wähler abgewickelt werden, wenn das Vielfachfeld nicht ausreicht und der Wegfall der *Kd*-Klinken deshalb erwünscht ist. Stößt ferner in Orten mit mehreren Unterämtern die Unterbringung der zahlreichen *Ko*-Klinken auf Schwierigkeiten, so kann auch — unter Wegfall des Dienstleitungsverkehrs — der *Ko*-Verkehr über Wähler geleitet werden (Abb. 1175). Die F-Beamtin setzt VS in eine freie *Ko*-Klinke, der ein Heb-Drehwähler (GW) zugeordnet ist, und wählt eine das Unteramt kennzeichnende Ziffer. Der GW wird auf den entsprechenden Höhenschritt gehoben und sucht unter 10 nach dem verlangten Unteramt führenden *Ko*-Leitungen eine freie aus. Am FVPI des Unteramts wird die zur belegten *Ko*-Leitung gehörige Anruflampe AL betätigt. Die Beamtin des FVPI fragt ab und stellt die Verbindung in gewöhnlicher Weise her.

(1895) **Wähler für Überwachungszwecke.** Die in Abb. 1176 dargestellte Schaltung erlaubt einer Überwachungsstelle, sich einen beliebigen F-Platz und eine (auf diesem Platz betriebene) Fernleitung zuzuschalten. An die Kontakte eines Heb-Drehwählers sind die Zuleitungen zu den Mithörspulen der Fernplätze, an die Kontakte eines zweiten Wählers die Abzweigungen der Fernleitungen heran-

geführt. Die Wähler sind mit der Überwachungsstelle durch je drei Leitungen verbunden, die an Arbeitskontakten der Schalter PW_1 bzw. FW_1 enden. Sind mehr als 100 Plätze oder Leitungen vorhanden, so können weitere Heb-Drehwähler hinzutreten, die dann an weitere Schalter (PW_2, FW_2) geführt werden. Am Platz sind noch zwei Schalter — P und L — vorhanden. P wird umgelegt,

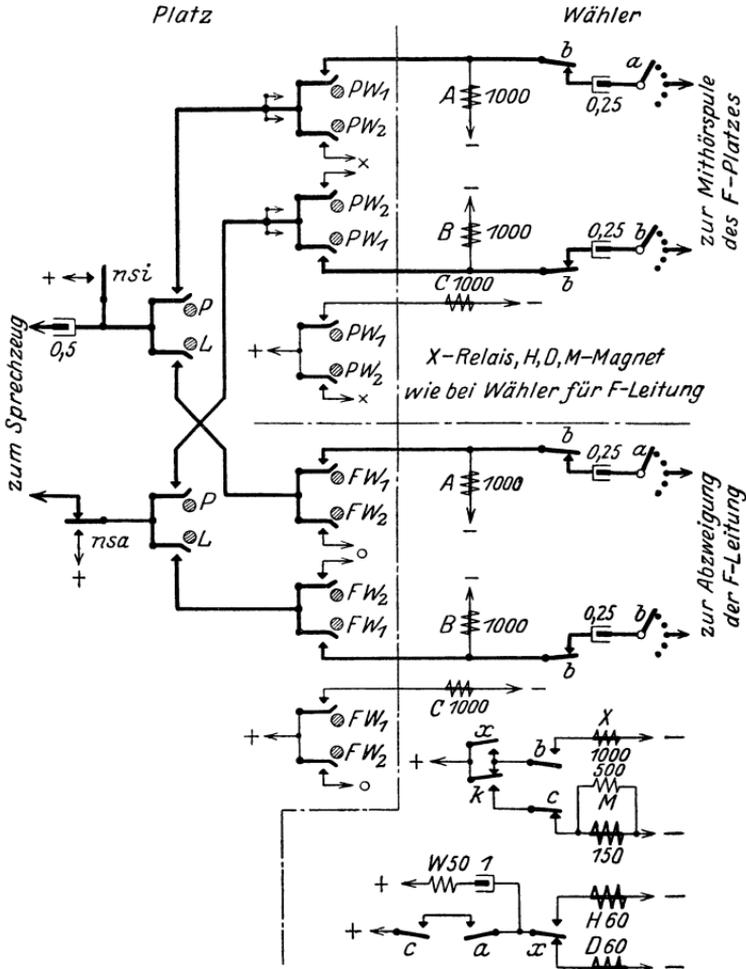


Abb. 1176. Überwachungsschaltung mit Wählern.

wenn der Beamte sich mit dem Platz beschäftigen (wählen, mithören) will; L dient für die Beschäftigung mit der Fernleitung.

Wirkungsweise: Es soll eine Fernleitung mit der Rufnummer 35 zur Überwachungsstelle geschaltet werden. Der Beamte legt F und FW_1 um, wodurch C erregt wird. Er stellt nun die Ziffer 3 an der NS ein. Solange die NS außerhalb der Ruhelage (nsa in Arbeitslage) ist, wird B erregt (—, B 1000, b -Leitung, $FW_1, L, nsa, +$). B betätigt X (—, X 1000, b , Kopfkontakt $k, +$). Beim Ablauf der NS spricht A dreimal an (—, A 1000, a -Leitung, $FW_1, L, nsi, +$) und gibt H

ebensoviele Stromstöße ($-$, $H60$, x , a , c , $+$), so daß die Schaltwelle auf den 3. Höhengriff gelangt. X hält sich nach dem ersten Stromstoß (k geöffnet) über den eigenen Arbeitskontakt. Nach Ablauf der NS fällt B und damit X ab. Die nächste Stromstoßreihe, bei der X nicht wieder erregt wird (k geöffnet), wirkt nun in ähnlicher Weise auf D ($-$, $D60$, x , a , c , $+$); die Schaltwelle kommt auf Kontakt 35, an welchem eine Abzweigung der gewünschten Fernleitung liegt. Der Beamte kann bei umgelegten Schaltern L und FW_1 den Verkehr in der Fernleitung überwachen. Will er die Beobachtung vorübergehend unterbrechen, so legt er L in die Ruhelage. Dagegen muß FW_1 dauernd umgelegt bleiben, da sonst C abfallen und die Auslösung des Wählers bewirken würde.

Die Einstellung auf den F -Platz geht in gleicher Weise vor sich, nachdem die Schalter P und PW_1 umgelegt sind. Liegt die Fernleitung oder der Platz im zweiten Hundert, so sind statt der Schalter FW_1 oder PW_1 die Schalter FW_2 oder PW_2 umzulegen. Nach Einstellung der Wähler kann der Beamte durch Umlegen von L oder P sich beliebig in die Fernleitung oder in den Hörstromkreis des Platzes einschalten. Ist die Überwachung beendet, werden FW_1 und PW_1 in die Ruhelage gebracht; dadurch wird C stromlos und erregt M ($-$,

$M150$
 $Mw500$), c , k , $+$), so daß die Wähler ausgelöst werden.

(1896) Wähler zur Herstellung von Meßverbindungen. In geeigneten Fällen baut man in abgelegenen Untersuchungsstellen für oberirdische Leitungen Wähler ein, um die beiden Zweige einer Leitung zu trennen und über Meßleitungen zum Amte durchzuschalten. In der Untersuchungsstelle ist jede Leitung über Ruhekontakte eines der Leitung zugeordneten Relais geführt; die Wicklungen der Relais liegen an den Schritten eines Drehwählers. Wenn der Drehwähler vom Amte aus¹⁾ mit der NS auf den der gewünschten Leitung entsprechenden Schritt gesteuert wird, spricht das Relais dieser Leitung an; Arbeitskontakte schalten dann die Leitungszweige zum Amte durch. Während des Einstellvorgangs werden die Meßleitungen als Spannungszuführung benutzt.

In ähnlicher Weise wird der Beamte des Klinkenumschalters für Fernleitungen in den Stand gesetzt, sich die Außenzweige der mit Ringübertragern abgeschlossenen Fernleitungen zu Untersuchungszwecken auf den Arbeitsplatz zu schalten. Dadurch wird die Führung der Außenzweige über Trennklinken des Klinkenumschalters erspart.

(1897) Wähler in Nebenstellenanlagen. Wegen der Verwendung von Wählern in reichseigenen Nebenstellenanlagen vgl. (1959). Teilnehmereigene Anlagen werden in verschiedenen Schaltungsanordnungen gebaut; in Abb. 1177 ist der Schaltungsaufbau für einige Ausführungsformen dargestellt. Die unter den Wählern stehenden Ziffern geben die Zahl der Schritte an. Die NS sind zehnteilig.

a) Deutsche Telephonwerke und Kabelindustrie A.-G. 50teilige Drehwähler als AS und LW. Letzteren ist ein Steuerschalter SS zugeordnet, welcher u. a. von den Stromstößen der ersten Reihe fortgeschaltet wird. Gleichzeitig beginnt der LW selbsttätig zu laufen. Er wird von SS am Beginn der gewählten 10-Reihe festgehalten²⁾. Die Stromstöße der zweiten Reihe wirken unmittelbar auf den LW.

b) Gesellschaft für automatische Telefonie G. m. b. H. (Fuld). 25teilige Drehwähler als AS, 10teilige Drehwähler als Zehnerwähler (ZW) und Einerwähler (EW). Einstellung von ZW und EW durch die erste bzw. zweite Stromstoßreihe.

¹⁾ Es ist dies der einzige Fall, in dem der Drehmagnet über eine Außenleitung erregt wird, während er sonst immer im Ortsstromkreis arbeitet. Die Ausnahme, welche die Aufstellung einer Batterie in der Untersuchungsstelle entbehrlich macht, ist unbedenklich, weil es sich nicht um eine Schaltung für den allgemeinen Verkehr handelt.

²⁾ Auf SS , ebenso auf ZW und EW zu c 2, treffen die Merkmale des Senders (1900, d) zu. Eine Umrechnung ist in den vorliegenden Fällen nicht nötig.

c) C. Lorenz A.-G. 1. 15 teilige Drehwähler als AS (wenn der der 15-Gruppe zugeordnete AS belegt ist, 30teilige Drehwähler als Aushilfs-AS), 30teilige Drehwähler als LW. Verwendbar für 27 Stellen mit den Anrufnummern 1 bis 9, 01 bis 09 und 001 bis 009. Bei der Wahl einer einstelligen Nummer (z. B. 5) gelangt der LW auf Schritt 5, prüft, ruft usw. Bei der Wahl einer zweistelligen Nummer (z. B. 05) gelangt der LW bei der ersten Stromstoßreihe auf Schritt 10.

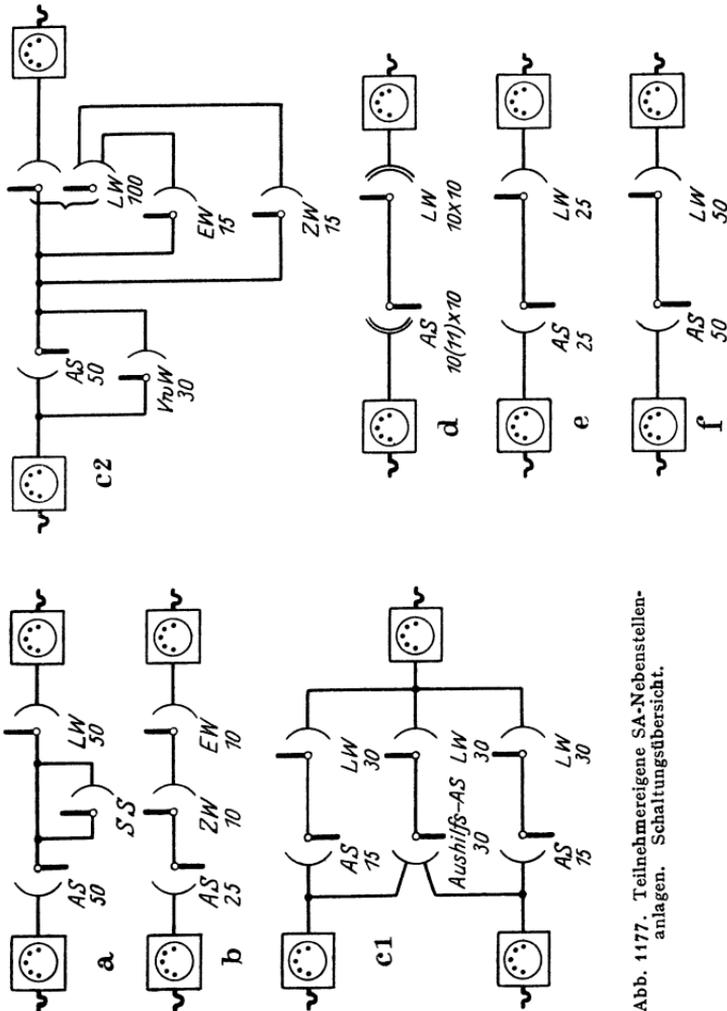


Abb. 1177. Teilnehmereigene SA-Nebenteilanlagen. Schaltungsübersicht.

In dieser Raststellung bleibt der Drehmagnet arbeitsbereit; bei der zweiten Stromstoßreihe gelangt der LW auf Schritt 15. Bei der Wahl dreistelliger Nummern dienen die Schritte 10 und 20 als Raststellungen.

2. 50teilige Drehwähler als AS, 100teilige Drehwähler als LW. Es kann schon vor der Einstellung des AS auf die anrufende Leitung mit der Wahl begonnen werden. Beim Abnehmen des Hörers läuft ein (einer Gruppe von An-

schlüssen gemeinsamer) Verbindungswegwähler VwW (30 teiliger Drehwähler), wenn er nicht bereits auf einen freien Verbindungsweg AS—LW eingestellt ist, selbsttätig an und belegt einen Verbindungsweg, dessen AS nun die anrufende Leitung zu suchen beginnt. Vor beendeter Einstellung des AS entsandte Stromstöße fließen über VwW; nach der Einstellung des AS wird der VwW für anderweitige Verwendung frei und die weiteren Stromstöße fließen über AS. Die erste Stromstoßreihe wirkt auf einen dem Verbindungsweg zugeordneten Zehnerwähler (ZW, 15 teiliger Drehwähler). Gleichzeitig beginnt der LW selbsttätig (als Sucher) zu drehen. War der ZW auf Schritt 3 gesteuert, wird die Drehbewegung des LW bei Schritt 31 unterbrochen. Der LW stellt sich also auf den ersten Kontakt der gewählten 10-Reihe ein. In ähnlicher Weise wird bei der zweiten Stromstoßreihe ein Einerwähler (EW, 15 teiliger Drehwähler) eingestellt; der LW beginnt erneut zu suchen und kommt zum Stillstand, wenn er einen Schritt weniger gemacht hat, als vorher der EW. Über weitere Arme des LW wird der Verbindungsweg zur gewünschten Stelle durchgeschaltet usw.

d) Mix & Genest A.-G. 100teilige Heb-Drehwähler als AS und LW. Zu jeder 10-Reihe gehört ein Verbindungsweg (AS—LW) in erster Linie; nur wenn der der anrufenden Stelle zugeordnete AS (Weg) belegt ist, treten aushilfsweise die AS der anderen 10-Reihen in Tätigkeit. Am AS ist ein 11. Kontaktsegment angeordnet, welches bei Ruhstellung des Wählers mit dem Schaltarm in einer wagerechten Ebene liegt. Die Kontakte des Zusatzsegments sind den Kontakten der 10-Reihe parallelgeschaltet, zu der der AS gehört. Geht der Anruf von einer Stelle der eigenen 10-Reihe aus, so dreht die Schaltwelle sogleich — ohne vorherige Hebebewegung — ein. Arbeitet dagegen der AS aushilfsweise für eine Stelle einer fremden 10-Reihe, so macht die Schaltwelle zuvor eine entsprechende Zahl von Hebeschritten. Auf diese Weise wird für den Regelfall die Einstellzeit des AS wesentlich verkürzt. Die Stromstoßreihen steuern in gewöhnlicher Weise die Heb- und Drehbewegung des LW.

e) Siemens & Halske A.-G. 25teilige Drehwähler als AS und LW. Verwendbar für 23 Stellen, Anrufnummern 1 bis 8, 91 bis 99 und 901 bis 905. Ähnlich wie unter c 1 beschrieben, dienen der 9. und der 19. Drehschritt als Raststellungen.

f) Telephon-Fabrik A.-G. vorm. J. Berliner. 50teilige Drehwähler als AS und LW. Letztere haben zwei Drehmagnete; der erste bewirkt Weiterschaltung um 10 Schritte, der zweite um einen Schritt. Während der zweite unmittelbar die Schaltwelle dreht, legt der erste eine Uhrhemmung um, so daß eine gespannte Antriebsfeder die Welle um 10 Schritte drehen kann [vgl. (1900, b)]. Die Stromstöße der ersten Reihe wirken auf den ersten, die der zweiten Reihe auf den zweiten Drehmagnet. Während der ersten Reihe macht der Wähler also Zehnerschritte, während der zweiten Reihe Einerschritte. Nach Gesprächsschluß wird beim Weiterlauf der Schaltwelle in die Ruhelage die Antriebsfeder erneut gespannt.

(1898) Mischwähler (MW) haben den Zweck, unter mehreren zur Verfügung stehenden Verbindungswegen selbsttätig, also ohne Steuerung von einer NS aus, einen freien auszusuchen¹⁾. Sie erlauben also u. a., die Verbindungswege zu größeren Bündeln zusammenzufassen und so die Zahl der Wege zu beschränken. Sie sind, wenn nicht noch andere Gesichtspunkte mitsprechen, dann wirtschaftlich, wenn die Ersparnisse an Leitungen und diesen zugeordneten Schaltmitteln größer sind als die Kosten für die MW, und wenn ihre Einführung die Betriebssicherheit nicht unzulässig beeinträchtigt. Nach vorstehenden Merkmalen sind VW und DW sowie die GW hinsichtlich ihrer Drehbewegung eigentlich MW. Man könnte auch die Ausgänge der GW noch über MW verlaufen

¹⁾ Die MW können auch als AS geschaltet, also den weiterführenden Verbindungswegen zugeordnet werden. Sie werden dann angereizt, wenn ein Anruf eingeht, und stellen sich auf die anrufende Leitung ein.

lassen, um die herausgeführten Leitungen so zu größeren Bündeln zu vereinigen und somit an Wählern nächster Ordnung zu sparen.

MW werden in größeren Orten für den Verkehr zum Meldeamt und zum Schnellverkehrsamt (1870) sowie in Netzen mit gemischtem Betrieb (1859, 1861) verwendet. Man kann ferner im Anrufverkehr arbeitenden Handamtsplätzen für starke Verkehrsbeziehungen MW zuteilen, um der Beamten das zeitraubende Ausschauen einer freien Verbindungsleitung zu ersparen. Endlich werden 25teilige MW in geeigneten Fällen in der in Abb. 1178 dargestellten Anordnung für den Verkehr nach Mehrfachanschlüssen mit mehr als 10 Einzelanschlüssen benutzt. Ein weiteres Anwendungsbeispiel für MW ist nachstehend beschrieben.

(1899) Mischwähler werden im Dienstleitungsverkehr in verschiedenen Schaltungsanordnungen benutzt, um — zur Beschleunigung des Verkehrs und zur Vermeidung des Durcheinandersprechens — unter mehreren B-Plätzen einen freien auszusuchen.

Abb. 1179 zeigt eine Schaltung, in der derselbe MW den Dienstleitungsverkehr für mehrere Richtungen (nach den Ämtern B und C) vermittelt. Am A-Platze ist nur eine Diensttaste für jede Verkehrsrichtung ($D T b$, $D T c$) vorhanden. Jedem A-Platze ist ferner ein MW (je nach Bedarf 10-, 15- oder 25teilig) zugeordnet. Die Ausgänge für die a -, b - und c -Schaltarme aller MW sind vielfach geschaltet und nach den B-Plätzen geführt; dagegen sind die Ausgänge für den d -Arm jedes MW besonders beschaltet, und zwar sind die zu einer Verkehrsrichtung gehörenden Kontakte untereinander und mit der entsprechenden Diensttaste des A-Platzes verbunden. Ferner besteht eine unmittelbare Verbindung zwischen dem c - und dem d -Arm. Es ist ersichtlich, daß, wenn die Diensttaste $D T b$ gedrückt ist, das Prüfrelais T nur ansprechen kann, wenn die Schaltarme auf einem der zum Amte B geführten Schritte stehen.

Wirkungsweise. Beim Drücken von $D T b$ spricht A an (—, A 1800, $D T b$, +) und der Drehmagnet D erhält Stromstöße (—, Unterbrecher, $\frac{D 58}{D w 200}$, $a, t, D T b, g b, +$; $g b$ gehört zu einem Abschalterrelais $G b$, welches, wie unten erörtert ist, unter Strom steht, wenn beim Amt B ein freier, mit einer Beamtin besetzter B-Platz vorhanden ist). Wenn der mit dem Drehschritt 1 verbundene B-Platz 1 des Amtes B frei ist, wird beim Aufdrehen T erregt (— im Amt B, $w 400, m, c$ -Leitung zum Amt A, c -Arm und d -Arm des MW, $D T b, T 12 + 600, +$. M ist erregt, wenn am Platz eine Beamtin eingeschaltet, $k l i$ also geschlossen ist. Dem Relais T parallel liegt beim Amt B das Relais C; vgl. unten). Nach dem Ansprechen von T wird T 600 kurzgeschlossen; dadurch wird die Leitung zum Platz 1 des Amtes B in bekannter Weise für andere MW gesperrt ($T 600 + 12$ des prüfenden MW ist T 12 des eingestellten MW parallelgeschaltet). Weitere Kontakte von T schalten die Sprechleitungen durch. Ein simultan über die Sprechleitungen fließender schwacher Gleichstrom

$$\left(-, w 50000, \frac{D 500, a\text{-Leitung}, t, D 500}{D 500, b\text{-Leitung}, t, D 500}, + \right)$$

verhütet Aussetzen der Sprechverständigung (1814). Nach Loslassen von $D T b$ fallen A und T ab; der MW, dessen Schaltarme jetzt isoliert sind, bleibt auf dem benutzten Drehschritt stehen.

Das für jede Verkehrsrichtung einmal vorhandene Abschalterrelais (z. B. $G b$ für die Verkehrsrichtung zum Amt B) ist erregt, solange noch ein B-Platz anrufbereit ist. Seine Erdverbindung verläuft über parallelgeschaltete Arbeitskontakte c aller Plätze des Amtes B. C kommt unter Strom, wenn eine Beamtin sich am Platz einschaltet (m in Arbeitslage); es wird durch T 12 überbrückt und fällt ab, wenn ein Anruf auf den Platz aufläuft. Beim Abfallen unterbricht $G b$ die Erd-

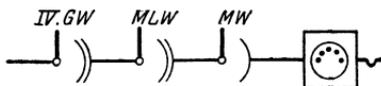


Abb. 1178. Mischwähler für große Mehrfachanschlüsse.

verbindung für die Diensttasten *D T b* aller *A*-Plätze und verhindert so das Anlaufen des MW, wenn *D T b* gedrückt wird. Die *A*-Beamtin erhält in diesem Falle ein Wartezeichen (hoher dauernder Summertone) über Arbeitskontakte *a* und Ruhkontakte *t*.

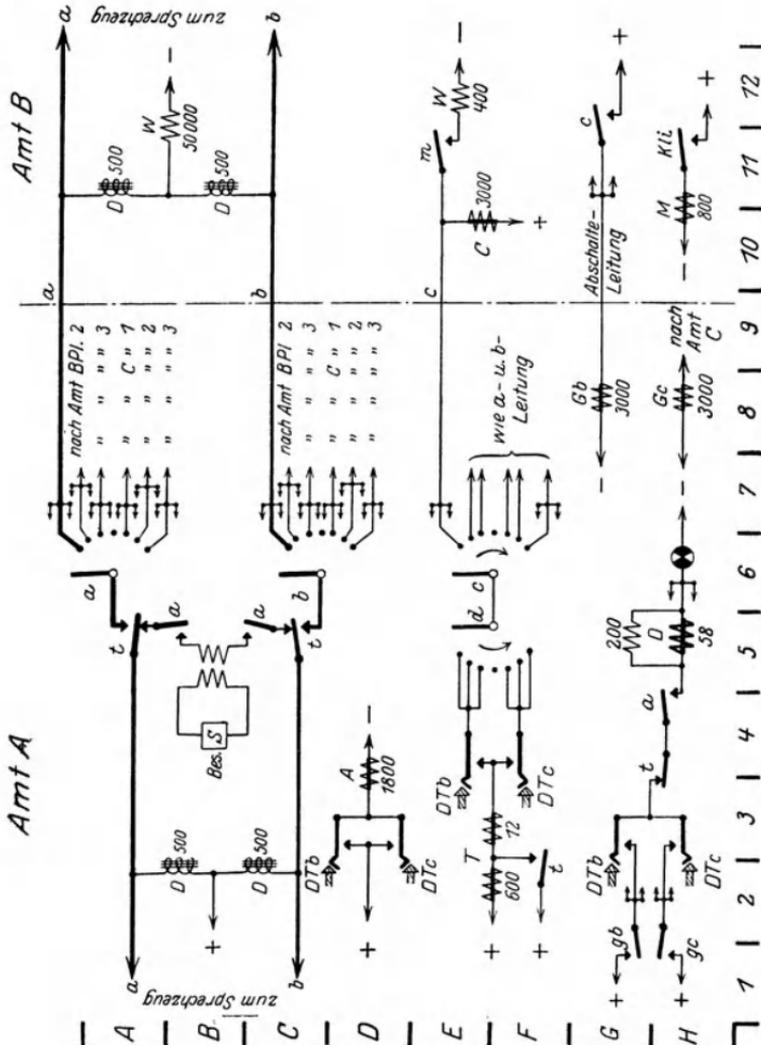


Abb. 1179. Mischwähler im Dienstleitungsverkehr. Schaltbild.

III. SA-Einrichtungen des Auslandes¹⁾.

(1900) Allgemeines. Das Strowger-System, welches den Einrichtungen der DRP zugrunde liegt, ist auch im Ausland vielfach eingeführt. Daneben werden

¹⁾ Lubberger, F.: Fernsprechanlagen mit Wähler-Betrieb. München: R. Oldenbourg, 1926. — Kruckow, A.: Die Selbstanschluß- und Wählereinrichtungen im Fernsprechbetriebe. Braunschweig: F. Vieweg & Sohn, 1911. — Smith, A. B. und

zahlreiche andere Losungen angewendet. Über die hauptsächlichsten Gesichtspunkte wird nachstehend ein Überblick gegeben [vgl. auch (1604) u. f.]:

a) Vorwahl. An Stelle von VW werden vielfach AS verwendet.

b) Zum Antrieb der Wähler benutzt man außer Kraftmagneten vereinzelt Federkraft, häufig Maschinenantrieb. Bei der Anwendung von Federkraft (1901, d, vgl. auch 1897, f) ist eine Feder bestrebt, das Schaltglied vorwärts zu bewegen; eine Hemmung der bei Uhrwerken gebräuchlichen Art verhindert jedoch die Bewegung. So oft die Hemmung umgelegt wird (z. B. bei jedem Stromstoß einer Reihe), treibt die Feder das Schaltglied um einen Schritt vorwärts. Beim Maschinenantrieb dreht ein Motor eine für mehrere Wähler gemeinsame Welle dauernd, mit der der Wähler bei Bedarf gekuppelt wird. Für solche Wähler wendet man rückwärtige Stromstoßgabe an, d. h. der Wähler entsendet bei jedem Schritt nach rückwärts einen Stromstoß, der auf ein Abzählwerk wirkt. Hat das Abzählwerk, das vorher für eine bestimmte Zahl von Stromstößen eingestellt ist, diese Anzahl von Stromstößen empfangen, so entkuppelt es den Wähler und setzt ihn somit still (vgl. auch unter d).

Relais	Wicklung	Viereck	Kontakt	Viereck	Relais oder Magnet	Wicklung	Viereck	Kontakt	Viereck
A	1800	D 3, 4	a	AB 5	G b	3000	G 8	a	G 1, 2
			a	BC 5	G c	3000	H 8	a	H 1, 2
T	600 12	EF 2 EF 3	a	F 2, 3	D	58 w 200	H 5 G 5	—	—
			r	GH 3, 4	C	3000	E 10	a	G 11, 12
			u	A 5	M	800	H 10, 11	a	E 11
			u	C 5					

Zu Abb. 1179. Mischwähler im Dienstleitungsverkehr. Relaisübersicht.

c) Verschiedene Bewegungsarten des Schaltgliedes. Das Schaltglied eines Drehwählers wird bei der Einstellung¹⁾ im allgemeinen in einer Richtung, und zwar immer um einen Schritt, bewegt. Gibt man dem Drehwähler zwei Drehmagnete, von denen der erste den Wähler um 10 Schritte, der zweite um einen Schritt weiterschaltet (1897, f), so hat man eine zweifache Bewegungsart. Ein 100teiliger Drehwähler dieser Art leistet dasselbe, wie ein Heb-Drehwähler mit 10×10 Kontakten.

Man kann beim Drehwähler eine zweite Bewegungsart auch dadurch erzielen, daß man die Kontakte in mehreren Reihen übereinander anordnet (z. B. 10×10), jeder Kontaktreihe ein Schaltglied zuteilt und nun eins der Schaltglieder arbeitsbereit macht. Die Schaltglieder seien so weit zurückgestellt, daß sie beim Drehen die Kontakte nicht berühren. Bei der ersten Stromstoßreihe (z. B. 5) wird das der fünften Kontaktreihe zugeordnete Schaltglied verlängert, so daß es während der zweiten Stromstoßreihe über die Kontakte der fünften Reihe schleift. Nach diesem Grundsatz ist der Drehwähler der Bell Telephone Manufacturing Co (1901, c) gebaut.

Aldendorff, F.: Automatische Fernsprechsysteme. Berlin: S. Heymann & Sohn, 1910. — Smith, A. B. und Campbell, W. L.: Automatic Telephony. New York: Mc. Graw-Hill Book Co., 1921. — Aitken, W.: Automatic Telephone Systems. London: Benn Brothers Ltd., 1921/24. — Milton, H.: La Téléphonie Automatique. Paris: Gauthier Villars & Cie., 1926. — Milhaud, J.: La Téléphonie Automatique. Paris: Dunod, 1925. — Purves, T. F.: The Post Office and Automatic Telephones. J. Inst. El. Eng. Bd. 63, S. 617.

¹⁾ Die Bewegungsart des Schaltgliedes bei der Auslösung des Wählers kann in diesem Zusammenhang unerörtert bleiben.

Die gleichen Grundsätze werden auch auf Schaltglieder angewendet, die keine Drehbewegung, sondern eine geradlinige Bewegung, z. B. eine Hebebewegung, ausführen. Man kann die Grundsätze ferner so vereinigen, daß eine dreifache Bewegungsart des Schaltgliedes erreicht wird, d. h. daß der Wähler durch drei Stromstoßreihen¹⁾ gesteuert werden kann. Man denke sich auf eine Schaltwelle 10 Schaltglieder aufgesetzt, von denen eins durch die erste Stromstoßreihe arbeitsbereit gemacht wird. Die zweite Stromstoßreihe hebt die Schaltwelle um Zehnerschritte, die dritte Stromstoßreihe um Einerschritte. Es ist ersichtlich, daß der Wähler $10 \times 10 \times 10 = 1000$ Kontakte bestreichen kann. Da ein solcher Wähler eine beträchtliche Raumböhe erfordern würde, beschränkt man sich darauf, 5 Schaltglieder anzubringen, so daß der Wähler 500 Kontakte erreicht [Stangenwähler der Western Electric Co., (1901, f)]. Bei der Benutzung als GW können auch die während der zweiten und dritten Einstellbewegung bestrichenen 100 Kontakte anders auf die beiden Bewegungen verteilt werden (z. B. zweite Bewegung 4, dritte Bewegung 25). Maßgebend ist, wie starke Bündel zu den Wählern nächster Ordnung gebraucht werden. Für die Verwendung als AS erhält der Stangenwähler 20 Einstellglieder, jedem Gliede sind 15 Kontakte zugänglich. In dieser Ausführungsform hat der Stangenwähler also nur zwei Bewegungsarten und kann 300 Kontakte erreichen.

Es werden auch Wähler mit zwei Bewegungsarten verwendet, bei denen das Schaltglied durch die erste Stromstoßreihe gedreht und durch die zweite radial vorwärts getrieben wird [Kulissenwähler²⁾ von L. M. Ericsson, (1901, d)]. Der Wähler kann 25 Drehschritte und 20 Vortreibschritte machen, erreicht also $25 \times 20 = 500$ Kontakte. Ein System, welches nur aus GW (in diesen mögen die Drehschritte 21 bis 25 für besondere Zwecke frei bleiben) und LW dieser Art besteht, würde also für $(25 - 5) \times 25 \times 20 = 10000$ Anschlußleitungen ausreichen (vgl. auch unter d).

Während der Strowgerwähler in beiden Richtungen um je 10 Schritte bewegt werden kann, ist bei anderen Wählern die Zahl der Schritte oft höher. So kann das Schaltglied des zuletzt erwähnten Wählers z. B. um 25 Schritte gedreht und um 20 Schritte radial vorwärts getrieben werden.

d) Sender. Speicherung, Umrechnung und Abzählwerk. Während man, wie ausgeführt, oft die dekadische Anordnung der Wählerkontakte, die z. B. dem Strowgersystem zugrunde liegt, verläßt, behält man doch meist [eine Ausnahme s. (1901 a)] die 10teilige NS bei. Daraus folgt, daß die von der NS entsandten Stromstoßreihen zur unmittelbaren Steuerung der Wähler ungeeignet sind; sie müssen vielmehr von einem Hilfsapparat (Sender, Register) empfangen (gespeichert) und in passende Form übersetzt (umgerechnet) werden. Ferner ist ein Abzählwerk (Abgreifer) so zu beeinflussen, daß es die richtige Anzahl von Stromstößen zum Wähler entsendet, oder daß es — bei rückwärtiger Stromstoßgabe (vgl. unter b) — nach Empfang der richtigen Anzahl von Stromstößen den Wähler stillsetzt. Innerhalb der Sender werden meist Schrittschaltwerke als Speicher und Abgreifer benutzt.

In nachstehender Übersicht ist für das unter c erwähnte 10000-System mit Kulissenwählern gezeigt, in welcher Weise die Anschlüsse zu Gruppen zusammengefaßt sind und in welcher Weise die Anschlußnummern im Sender umgerechnet werden müssen. So sind die zur Wahl des Anschlusses 3853 entsandten Stromstoßreihen umzuändern in 8 — 18 — 14.

In einfacherer Form wird der Sender (dann als Direktor bezeichnet) auch in dekadischen Netzen (Strowgersystem) benutzt, um bei Änderung der Kennziffern aller oder einiger Ämter die alten Anschlußnummern beibehalten zu können.

¹⁾ Oder daß er durch zwei Stromstoßreihen gesteuert wird und eine Bewegung in freier Wahl ausführt (GW).

²⁾ Das Vielfachfeld der Wähler wird aus Drahtarfen gebildet, die kulissenartig hinter den Wählern angeordnet sind.

(1901) Der Schaltungsaufbau der bekannteren Systeme ist in Abb. 1180 angedeutet. Die Zahlen geben an, wievieltellig die Schaltungsbestandteile (NS, Wähler) sind.

a) American Automatic Telephone Co., Rochester. 50teilige NS, 50teilige Drehwähler als AS, GW und LW. Den GW fehlt die Bewegung in freier Wahl zur Aufsuchung eines Verbindungswegs. Dafür ist jedem II. GW und LW ein Sucher zugeordnet, der angereizt wird, wenn ein Wähler vorhergehender Ordnung auf die Gruppe gesteuert ist.

b) Automatic Electric Co. (Autelco), Chicago. Strowgersystem; 25teilige Drehwähler als VW.

c) Bell Telephone Manufacturing Co., Antwerpen. 100teilige Drehwähler mit Maschinenantrieb als AS, Drehwähler mit 10 Schaltgliedern (1900c) und mit Maschinenantrieb als GW und LW; erstere mit 30, letztere mit 20 Kontakten in jeder Reihe. Jedem I. GW ist ein Dienstwähler (DW, 100teiliger Drehwähler) zugeordnet zum Aufsuchen eines freien Senders. Nach Beginn des Wählvorgangs entsendet der I. GW Stromstöße zum Abzählwerk des Senders; hat die Zahl der Stromstöße die im Abzählwerk eingestellte Ziffer erreicht, wird im I. GW die Abgabe der Stromstöße unterbunden und das Schaltglied, welches der abgegebenen Zahl von Stromstößen entspricht, arbeitsbereit gemacht. Nuncmehr dreht der I. GW ein, und das arbeitsbereit gemachte Schaltglied sucht in freier Wahl einen freien II. GW. Beim LW wird auch bei jedem Drehschritt ein Stromstoß zum Abzählwerk des Senders gegeben, welches den Wähler zur gegebenen Zeit stillsetzt. Nach beendeter Einstellung der Wähler wird der Sender frei.

d) L. M. Ericsson, Stockholm. 500teilige Kulissenwähler (1900, c) mit Maschinenantrieb als AS, GW und LW, 35teilige Drehwähler mit Maschinenantrieb als Dienstanrufsucher (DAS), Drehwähler mit Federantrieb (1900, b) im Sender. Nach Einstellung des AS laufen alle der Gruppe zugeordneten DAS an; nachdem einer sich auf den Verbindungsweg eingestellt hat, werden die übrigen abgeschaltet. Rückwärtige Stromstoßgabe von den GW und LW grundsätzlich wie zu c.

Dreh-schritt	der GW führt zur 500-Gruppe	Dreh-schritt	der LW führt zur 20-Gruppe	Vor-treib-schritt	der LW führt zu den Anschlüssen
1	0000/0499	1	000/019 oder 500/519	1	00, 20, 40, 60 oder 80
2	0500/0999	2	020/039 „ 520/539	2	01, 21, 41, 61 „ 81
3	1000/1499	3	040/059 „ 540/559	3	02, 22, 42, 62 „ 82
8	3500/3999			14	13, 33, 53, 73 „ 93
		18	340/359 „ 840/859		
18	8500/8999			18	17, 37, 57, 77 „ 97
19	9000/9499			19	18, 38, 58, 78 „ 98
20	9500/9999			20	19, 39, 59, 79 „ 99
21	} frei	23	440/459 „ 940/959		.
		24	460/479 „ 960/979		
		25	480/499 „ 980/999		
25					

Gruppenteilung für ein SA-Amt für 10000 Anschlußleitungen mit 500 teiligen, Kulissenwählern.

e) Thomson Houston (Comp. des Téléphones), Paris. 100teilige Drehwähler als AS, GW, LW und DW. Nach Einstellung des AS läuft DW an und sucht einen freien Sender. Zwischen der ersten und zweiten Stromstoßreihe stellt sich der I. GW unter Steuerung vom Sender auf den ersten Kontakt der gewählten 10-Gruppe und dann in freier Wahl auf einen freien Kontakt dieser Gruppe ein. Im LW werden die Zehner- und Einerschritte vom Sender gesteuert.

f) Western Electric Co., New York. 300teilige Stangenwähler (1900, c) als AS, 500teilige Stangenwähler als GW und LW. Nach Einstellung des AS

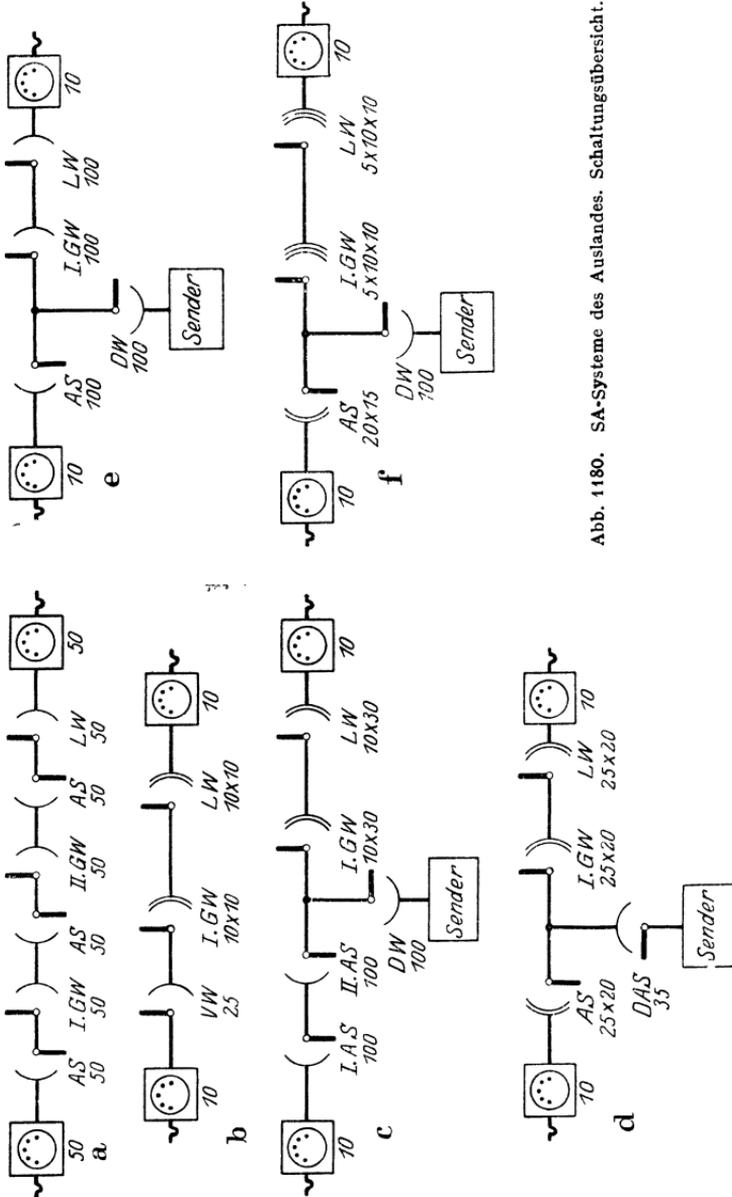


Abb. 1180. SA-Systeme des Auslandes. Schaltungsübersicht.

läuft der Dienstwähler DW an und sucht einen freien Sender, auf dessen Speicher die Stromstoßreihen der NS wirken. Rückwärtige Stromstoßgabe von den GW und LW grundsätzlich wie zu c.

Der Fernsprech-Schnellverkehr.

Allgemeines.

(1902) Zweck und Anwendungsgebiet. Der Fernsprech-Schnellverkehr (SV) ist in erster Linie als Ersatz für den nicht mehr zeitgemäßen Vororts- und Bezirksverkehr bestimmt, der in seinen Anfängen bis zum Jahre 1882 zurückreicht und sich hinsichtlich seiner grundsätzlichen Betriebsform seitdem nicht verändert hat. Der Vororts- und Bezirksverkehr, der sich zur Zeit nur noch auf 3 Vorortnetze (Berlin mit Potsdam und Oranienburg, Dresden mit Umgebung und das Bergische Land) und auf 3 Bezirksnetze (niederrheinisch-westfälisches, preußische und sächsische Oberlausitz und Oberschlesien) beschränkt, dient dem Zweck, der Bevölkerung wirtschaftlich eng zusammenhängender Orte einen schnellen fernmündlichen Austausch von Nachrichten — schneller als im Fernverkehr — zu ermöglichen. Denselben Zweck, aber mit neuzeitlichen, dem jetzigen Stande der Technik angepaßten Mitteln, erfüllt der jetzt in der Einführung begriffene SV. Er ist aber nicht an die aus bestimmten Gründen seit Jahrzehnten unverändert gebliebenen Grenzen der Vororts- und Bezirksnetze gebunden, sondern wird darüber hinaus nach und nach in allen Verkehrsbeziehungen eingeführt, bei denen die Voraussetzungen für den SV gegeben sind, also: 1. zwischen einer Großstadt und ihren selbstständig gebliebenen Vororten sowie solchen im weiteren Umkreise gelegenen kleineren Orten, die durch enge wirtschaftliche Beziehungen mit der Großstadt verbunden sind; 2. zwischen den Orten dicht besiedelter, ein einheitliches Wirtschaftsgebiet bildender Industriebezirke. So sind, abgesehen von dem im Gange befindlichen Umwandlung der alten Vororts- und Bezirksnetze in SV-Netze, seit 1924 entstanden bzw. noch im Entstehen begriffen das Hamburger, das Bremer, das Kölner, das Frankfurter SV-Netz usw.

(1903) Grundzüge des Schnellverkehrs. Der SV, der zufolge seines Verwendungsgebiets ein ausgesprochener Nahverkehr ist, stellt eine Zwischenstufe zwischen dem Orts- und dem Fernverkehr dar.

Da die Gesamtheit der zu einem SV-Netz zusammengefaßten Orte verkehrstechnisch als eine einzige große Stadt angesehen werden muß, vollzieht sich der SV auch nach dem für den Ortsverkehr geltenden Grundsatz, daß jede Gesprächsverbindung in unmittelbarem Anschluß an ihre Anmeldung auszuführen ist. Der Teilnehmer wartet also mit dem Hörer am Ohr auf die Herstellung der von ihm gewünschten SV-Verbindung, genau wie im Ortsverkehr bei einer Verbindung mit einem an eine andere Vermittlungsanstalt desselben Ortsnetzes angeschlossenen Teilnehmer. Die Aufzeichnung, Vermittlung und Überwachung der SV-Verbindungen erfolgt dagegen in Anlehnung an den Fernbetrieb, und zwar in besonderen, vom Orts- und Fernverkehr völlig losgelösten, handbetriebenen Schnellverkehrsämtern (SV-Ämtern), deren Arbeitsplätze mit Rücksicht auf die sich nach dem Fernarif regelnde Gebührenerhebung zur sicheren Feststellung der Gesprächsdauer mit Gesprächszeitmessern ausgestattet sind.

Damit die angemeldeten SV-Verbindungen sofort hergestellt werden können, stehen den SV-Ämtern nach allen für sie in Betracht kommenden Verkehrsrichtungen Leitungen in so großer Zahl zur Verfügung, daß auch in der Hauptverkehrszeit ein glatter Abfluß aller gleichzeitig vorliegenden Anmeldungen sichergestellt ist. Grundsätzlich wickelt sich der SV nur auf eigenen, und zwar mit Rücksicht auf die Sicherheit der Schlußzueingebung in Kabeln geführten Leitungen ab.

Man unterscheidet in einem SV-Netz SV-Ämter und Seitenämter. Die SV-Ämter werden in den Schwerpunkten des Verkehrs, den Verkehrsknotenpunkten, errichtet; sie wurden daher anfangs auch „Schnellverkehrs-Knotenämter“ genannt. Jedem SV-Amt sind eine Anzahl Seitenämter zugeordnet, das sind die Ortsvermittlungsanstalten am Sitze und in der näheren Umgebung des SV-Amtes; in der Regel soll die Entfernung der Seitenämter vom SV-Amt 30 km

nicht übersteigen (1912). Sämtliche Seitenämter eines SV-Amtes sind mit diesem durch besondere, in abgehender oder in ankommender Richtung betriebene und der Stärke des Verkehrs angepaßte Leitungsbündel unmittelbar verbunden. Wünscht ein Teilnehmer eines Seitenamts eine Verbindung mit einem Teilnehmer eines anderen an das eigene SV-Amt angeschlossenen Seitenamts, so wird die Verbindung über das SV-Amt hergestellt. Unmittelbare Leitungsverbindungen zwischen den Seitenämtern desselben SV-Amtes, den „eigenen“ Seitenämtern, bestehen im SV nicht. (Der reine Ortsverkehr in dem Falle, wo sich mehrere Vermittlungsanstalten am Sitze des SV-Amtes befinden, bleibt natürlich hiervon unberührt.)

Umfaßt ein SV-Netz nur eine Großstadt mit ihren im näheren und weiteren Umkreise gelegenen Vororten usw., so bedarf es nur eines SV-Amtes, das dann in dieser Großstadt untergebracht wird (z. B. Hamburg, Bremen, Köln usw.). Erstreckt sich dagegen das SV-Netz über ein ausgedehnteres, dichtbevölkertes Gebiet (Industriegebiet) mit einer Anzahl gleich zu bewertender größerer Städte

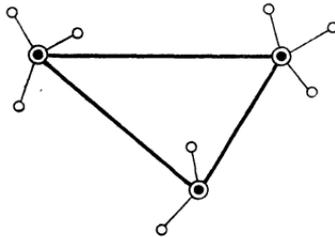


Abb. 1181. Schnellverkehrs-Leitungsnetz mit 3 Schnellverkehrs- und 8 Seitenämtern.

- ⊙ Schnellverkehrsamt.
- Seitenamt.

oder Großstädte, so müssen je nach der Bedeutung der Orte für den Verkehr und je nach deren Lage mehrere SV-Ämter innerhalb dieses Gebiets errichtet werden (z. B. im niederrheinisch-westfälischen Bezirksnetz 7 SV-Ämter). Alle SV-Ämter stehen durch starke, in abgehender und ankommender Richtung getrennt betriebene Leitungsbündel miteinander in unmittelbarer Verbindung (Abb. 1181). Zur Herstellung einer SV-Verbindung zwischen zwei nicht an dasselbe SV-Amt angeschlossenen Seitenämtern bedarf es daher stets der Mitwirkung zweier SV-Ämter, da unmittelbare Leitungsverbindungen von einem SV-Amt nach „fremden“ Seitenämtern, d. h. den

Seitenämtern eines anderen SV-Amtes, zur Erhaltung der Übersichtlichkeit des Netzes und aus wirtschaftlichen Gründen nicht eingerichtet werden.

SV-Verbindungen werden im Betriebe wie Ortsverbindungen behandelt, also jederzeit zugunsten von Fernverbindungen getrennt; ebenso findet eine Aufhebung bestehender Ortsverbindungen zugunsten ankommender SV-Verbindungen nicht statt. Gründe:

1. Die Gleichstellung der SV-Verbindungen mit den Fernverbindungen hätte für den SA-Betrieb in schaltungstechnischer Beziehung zu Schwierigkeiten geführt und wäre daher nur mit großen Kosten zu erreichen gewesen. 2. Bei der großen Zahl der im SV vorhandenen Verbindungsleitungen kann die beim ersten Anruf infolge Ortsbesetztes nicht zustande gekommene SV-Verbindung jederzeit sofort neu angefordert und hergestellt werden, zumal da die erste Verbindung dem Anrufenden nicht berechnet wird. Ausnahmen s. u. (1913).

(1904) Gründe für die Einführung des Schnellverkehrs¹⁾. Der SV ist hauptsächlich aus dem Grunde eingeführt worden, weil seinem Vorläufer, dem Vororts- und Bezirksverkehr (V und BV) eine Reihe schwerwiegender Mängel anhaften, die teils auf betriebstechnischem, teils auf wirtschaftlichem Gebiete liegen und die weitere Beibehaltung des V und BV bei dem heutigen Stande der Technik als unzeitgemäß erscheinen lassen, zum Teil sogar unmöglich machen. Die wesentlichsten Mängel sind folgende:

1. Der V und BV ist zwar seinem Wesen nach ein Schnellverkehr, aber er ist nur auf handbetriebene Ortsämter zugeschnitten und wird in den Orts-

¹⁾ Vgl. auch Kruckow: Die Grundlagen des SA-Betriebes und sein Einfluß auf die Netzgestaltung. Tel.- u. Fernsprech-Technik 1924, S. 61—64.

ämtern selbst mit abgewickelt. Abgehende V- oder B-Verbindungen werden von den Ortsamts-A-Beamtinnen in Reihe mit den Ortsverbindungen vermittelt. Die Beamtin stellt die Verbindung wie im Ortsverkehr her, überwacht sie und trennt; ihr liegt ferner die Ausfüllung des Gebührenszettels und die Feststellung der Gesprächsdauer ob. Ankommende V- oder B-Verbindungen werden an besonderen Plätzen (B-Plätzen) des Ortsamts wie im Ortsverbindungsverkehr hergestellt.

Die Abwicklung des abgehenden V und BV an den A-Plätzen des Ortsamts führt namentlich da, wo dieser Verkehr einen größeren Teil des Gesamtverkehrs ausmacht — also z. B. im niederrheinisch-westfälischen Bezirksnetz — zu einer starken Belastung der A-Beamtinnen und damit zu einer Verschlechterung des Ortsverkehrs. Man kann zwar durch Vermehrung der A-Plätze eine Besserung herbeiführen, aber dies ist wenig wirtschaftlich und verhindert doch nicht das Auftreten längerer Wartezeiten für den anrufenden Teilnehmer. Das einzig wirksame Mittel besteht in der vollständigen Loslösung des V und BV vom Ortsverkehr durch Schaffung eines besonderen Vermittlungsamts, des SV-Amts.

2. Die Notwendigkeit, jedem Vermittlungsamt eines V- oder B-Netzes unmittelbare Leitungsverbindungen nach allen übrigen Vermittlungsämtern des Netzes zu geben, erfordert einen großen Aufwand an Leitungen, erschwert die Netzgestaltung und stört (Abb. 1182) die Übersichtlichkeit. Die in ausgedehnten B-Netzen oft eine große Länge erreichenden Leitungen werden namentlich in den schwächeren Verkehrsbeziehungen während eines großen Teils des Tages nicht genügend ausgenutzt und sind somit unwirtschaftlich, reichen aber gleichwohl in der kurzen Hauptverkehrszeit zur Bewältigung des Verkehrs häufig nicht aus. Eine völlige Umgestaltung des Leitungsnetzes auf wirtschaftlicher Grundlage nach Abb. 1181 ist daher unerlässlich: Schaffung starker Leitungsbündel nur zwischen den Knotenpunkten des Verkehrs (den SV-Ämtern) und Heranführung der einzelnen Vermittlungsämter in schwächeren Leitungsbündeln an die nächstgelegenen SV-Ämter unter Aufhebung aller bisherigen unmittelbaren Leitungsverbindungen.

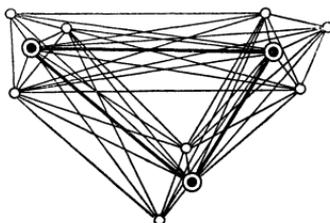


Abb. 1182. Bezirksverkehrs-Leitungsnetz. Netzorte wie in Abb. 1181.

3 Die DRP hat infolge zu niedriger Tarife ihre Selbstkosten für die Einrichtung und Unterhaltung der V- und B-Netze bisher nie decken können¹⁾. Auch nachdem im Jahre 1921 die im V und BV seit Anbeginn angewendeten Pauschgebührensätze aufgehoben und durch Einheitseinzelgebühren für alle Entfernungen (15 km-Tarif = 30 Pfg. für ein Dreiminutengespräch) ersetzt worden waren, ist ein Wandel hierin nicht eingetreten; denn die Ortsamts-A-Beamtin ist bei der Fülle der an ihrem Arbeitsplatz gleichzeitig bestehenden Orts- und V- oder B-Verbindungen außerstande, die Zeitdauer dieser letzteren genau festzustellen, zumal da sich Gesprächsdauern oder andere Einrichtungen für die Zeitmessung an den Ortsvielfachumschaltern nicht anbringen lassen. Die Beamtin kann daher in den meisten Fällen die Zeitdauer nur schätzen, wodurch für die DRP erhebliche Gebührenauffälle entstehen. Dem läßt sich nur durch Verlegung des V und BV in besondere Vermittlungsämter, die mit eigens für diesen Zweck geschaffenen und mit Zeitmessern versehenen Vermittlungsschränken ausgerüstet sind, entgegenzutreten. Diese Maßnahme bietet zugleich den Vorteil, daß die wegen der ungünstigen Ertragnisse bisher unterbliebene, aber infolge der Verschiebung der örtlichen und wirtschaftlichen Verhältnisse seit Jahren von den Teilnehmern geforderte und unbedingt nötige Ausdehnung der V- und B-Netze

¹⁾ Wittiber: Die Entwicklung des deutschen Fernsprechtarifs. Tel.- u. Fernsprech-Technik 1926, S. 53 u. 54.

endlich vorgenommen werden kann und der beabsichtigten späteren Anwendung des normalen Ferntarifs auf den dann zum SV übergeführten V und BV nichts mehr entgegensteht.

Den wirksamen Anstoß zur Umwandlung des V und BV zum SV hat erst die seit einigen Jahren lebhaft einsetzende Automatisierung der ON gegeben. Die Einführung des SA-Betriebes zwingt zur Schaffung besonderer, vom Ortsverkehr getrennter, handbetriebener Vermittlungsämter für den bisherigen V und BV, da ein unmittelbarer automatischer Verkehr der Teilnehmer bei der unter Umständen sehr großen Zahl der zu einem V- oder B-Netz zusammengeschlossenen Fernsprechvermittlungsstellen ohne allergrößte technische und geldliche Aufwendungen nicht möglich ist.

Die Gründe, die zur Einrichtung von SV-Netzen da geführt haben, wo V- oder B-Netze bisher nicht bestanden, sind hauptsächlich in der Entlastung der größeren Fernämter von dem sogenannten nahen Fernverkehr zu suchen, der infolge der Mitwirkung des Meldeamts und der FVPI zu schleppend arbeitet und wegen der meist zahlreichen, nach den kleineren Orten der näheren Umgebung führenden Leitungen zu viel Betriebsmittel (Arbeitsplätze) und Arbeitskräfte erfordert. Die Herausnahme des örtlichen Sprechverkehrs nach nahe gelegenen Orten aus dem Fernamt und seine Überführung zum SV-Amt stellt für die DRP eine wesentliche Vereinfachung und Erleichterung des Verkehrs dar und gewährt andererseits den Teilnehmern bei gleichbleibenden Gebühren den Vorteil größerer Bequemlichkeit und Schnelligkeit.

(1905) Der Schnellverkehrsbetrieb. Allgemeines. Der SV ist in seinem ganzen Aufbau darauf zugeschnitten, daß im Endzustande sämtliche Seitenämter den SA-Betrieb haben. Bis dahin wird allerdings in den meisten Fällen noch längere Zeit vergehen, weil die im Gange befindliche Umstellung des Handbetriebs der Ortsvermittlungsanstalten auf den SA-Betrieb sich nur allmählich vollziehen kann. Namentlich in ausgedehnteren SV-Netzen, und zwar in der Hauptsache solchen, die durch Umwandlung von V- oder B-Netzen entstanden sind, werden daher noch auf Jahre hinaus handbetriebene Seitenämter neben SA-Seitenämtern bestehen bleiben, so daß eine Reihe von Übergangsstufen durchzumachen sind, bis der die volle Wirtschaftlichkeit des SV erst herbeiführende Endzustand erreicht sein wird.

Die Wirtschaftlichkeit ist darin begründet, daß nach Durchführung des SA-Betriebes die Zahl der an einer SV-Verbindung mitwirkenden Beamtinnen auf das geringste Maß sinkt (1 oder 2 Beamtinnen), was der Schnelligkeit des Verkehrs in hohem Maße zugute kommt. Sind dagegen Hand-Seitenämter vorhanden, so sind naturgemäß an der Vermittlungsarbeit mehr Beamtinnen beteiligt, wodurch eine gewisse, wenn auch nicht erhebliche Verzögerung entsteht. Aus diesem Grunde richtet man neue SV-Netze möglichst erst dann ein, wenn bei einem größeren Teil der daran anzuschließenden FVSt der SA-Betrieb bereits durchgeführt ist, und nimmt in bestehende SV-Netze neue FVSt erst nach erfolgter Automatisierung auf.

A. Die technischen Einrichtungen für den Schnellverkehr.

(1906) Die Schnellverkehrsämter.

a) Schnellverkehrsschränke.

Den wesentlichsten Teil der SV-Ämter bilden die Schnellverkehrsschränke, auch „Schnellverkehrs-A-Schränke“ oder „Knotenamts-A-Schränke“ (KA-Schränke) genannt. Sie dienen zur Vermittlung des von den eigenen Seitenämtern ausgehenden Verkehrs, gleichviel ob er im Bereich des eigenen SV-Amtes verbleibt oder — beim Vorhandensein mehrerer SV-Ämter — nach fremden Seitenämtern gerichtet ist. Die von den eigenen Seitenämtern ankommenden Leitungen (Zubringerleitungen) endigen an den SV-Schränken in Anrufzeichen, während die nach den eigenen Seitenämtern und gegebenenfalls nach anderen

SV-Ämtern abgehenden, vielfachgeschalteten Leitungen in den SV-Schränken ihren Ausgang nehmen. Zur Verbindung beider Arten von Leitungen dienen Schnurpaare mit doppelseitigem Schlußzeichen. An Anrufzeichen (Hauptanrufzeichen) enthält jeder Schrank 10 Stück, die jeweils am viert- und siebentnächsten Schrank wiederholt werden, damit eine schnellere Beantwortung der eingehenden Anrufe ermöglicht wird. In jedem Schrank befinden sich somit 10 Haupt- und 2×10 Wiederholungsanrufzeichen. Näheres über die Einrichtung der SV-Schränke s. unter (1749) und (1750).

Neuerdings erhalten die SV-Schränke von vornherem Nummernscheiben (NS), auch dann, wenn für den abgehenden Verkehr Zahlengeber (ZG) verwendet werden. Grund: Ersatz für die ZG in Störungsfällen und in der Zeit des schwachen Verkehrs, wenn die Besetzung der ZG-Plätze nicht lohnt.

Die Gesprächszeitmesser, von denen in jedem Schnurpaar einer vorgesehen ist, werden durch Relaisketten elektrisch angetrieben und schalten 10-sekündlich fort. Ein einmaliger Umlauf wird in 12 Minuten vollendet; kurz vorher leuchtet eine rote Aufmerksamkeitslampe auf. Der Gesprächszeitmesser wird mittels eines an ihm angebrachten Schalters von der SV-Beamtin ein- und ausgeschaltet.

Bemerkenswert ist noch die Art und Unterbringung der Gesprächsblocke. Die Blocks haben die Breite der Sprechumschalter-Deckplatte (2,5 cm) und sind zu 10 nebeneinander — entsprechend der Anzahl der Schnurpaare — in einem in die Tischplatte eingelassenen Metallrahmen in deren freien Teil zwischen den Sprechumschaltern und der Vorderkante der Platte untergebracht, so daß sich vor jedem Sprechumschalter ein Block befindet. Der SV-Beamtin steht also für jedes Schnurpaar ein besonderer Gesprächsblock zur Verfügung, wodurch Verwechslungen vermieden und die Arbeit des Ausfüllens erleichtert wird. Die Blocks werden, damit sie einzeln herausgenommen werden können, durch Einzelklammern festgehalten.

b) Zahlengeber.

Für den von anderen SV-Ämtern ankommenden Verkehr werden im SV-Amt Zahlengebertische (ZG-Tische) aufgestellt (1863). Die ankommenden Verbindungsleitungen endigen je an einem besonderen I. GW (in Schaltung der II. GW) nebst Dienstwähler (DW), der eine eingehende Verbindung auf einen freien Tastensatz eines ZG-Platzes auflaufen läßt (vgl. 1919, S. 828). Der ZG hat die Aufgabe, die ankommenden Verbindungen nach den eigenen Seitenämtern weiterzuleiten, und zwar sowohl nach den SA-Ämtern als auch nach den Hand-ämtern. Ursprünglich war mit Rücksicht auf den nach den Hand-Seitenämtern gerichteten Verkehr beabsichtigt, den SV-Ämtern für die Übergangszeit handbediente B-Schränke (KB-Plätze) für den ankommenden Verkehr zu geben, diese B-Schränke mit dem Vielfachfeld der zu den eigenen Seitenämtern führenden Leitungen auszurüsten und die Verbindungen dorthin mit Stöpseln — für den starken Verkehr nach SA-Ämtern über ZG-Plätze hinweg — herzustellen. Dieser Plan ist aber, weil dann der ankommende Verkehr unter Umständen die Mitwirkung zweier Beamtinnen, der KB- und der ZG-Beamtin, im eigenen Amt erfordern würde, aus wirtschaftlichen Gründen fallen gelassen worden, zumal nach Automatisierung sämtlicher Seitenämter der KB-Schrank ohnehin dem ZG hatte weichen müssen. Nunmehr hat der ZG die Aufgabe des KB-Platzes mit übernommen, die Verbindungen nach eigenen Hand-Seitenämtern durchzuschalten, was durch Drücken einer oder zweier Zahlen, der sogenannten Kennziffern, geschieht (1884, b, Abs. 3).

Auch wenn ein SV-Netz nur ein einziges SV-Amt besitzt, wird unter Umständen von ZG Gebrauch gemacht, und zwar für den Verkehr der eigenen Seitenämter untereinander, sofern der nach SA-Seitenämtern gerichtete Verkehr so stark ist, daß die SV-Beamtin ihn nicht mehr mit der NS ohne Beeinträchtigung ihres Leistungsmaßes bewältigen kann. Über die Abwicklung des Verkehrs mit diesen ZG s. (1884, b, Abs. 2 u. 3).

c) Vom Schnellverkehrsamt abgehende Verbindungsleitungen.

Für alle Arten von abgehenden Verbindungsleitungen wird am SV-Platz grundsätzlich der Abfragebetrieb angewendet. Eine Ausnahme ist nur im Verkehr mit eigenen Hand-Seitenämtern zugelassen, aber auch nur dann, wenn der abgehende SV dorthin so stark ist, daß der DL-Betrieb Vorteile bringt.

Die von einem SV-Amt nach anderen SV-Ämtern abgehenden Verbindungsleitungen werden stets 2adrig betrieben. Da die Leitungen innerhalb der Ämter 3adrig verlaufen, müssen sie beim Austritt aus den Ämtern durch Übertragungseinrichtungen (1858) für den 2adrigen Betrieb abgeschlossen werden. Auf der Ankunftsseite ist jedem Übertragungssatz der bereits erwähnte besondere I. GW (in Schaltung der II. GW) nebst dem DW für die Auswahl eines freien ZG-Satzes fest zugeordnet. (Vgl. 1884, c.)

Nach handbetriebenen Seitenämtern abgehende Verbindungsleitungen sind stets 2adrig. Dagegen wird im Verkehr nach SA-Seitenämtern vorläufig fast durchweg von 3adrigen Verbindungsleitungen Gebrauch gemacht, weil die bisher für den 2adrigen Verkehr entworfenen und vereinzelt in den Betrieb versuchsweise eingeführten Schaltungen noch nicht in jeder Hinsicht befriedigt haben (1916). Da in der Regel genügend Kabeladern zur Verfügung stehen, führt die Hergabe der dritten Ader auch auf weitere Entfernungen einstweilen nicht zu Schwierigkeiten.

Der Betrieb nach den SA-Seitenämtern wird am SV-Platz entweder mit NS (in Netzen mit schwächerem Verkehr) oder über ZG des eigenen SV-Amtes abgewickelt (1884), nach handbetriebenen Seitenämtern über daselbst aufgestellte B-Plätze (1907, c).

(1907) Die Seitenämter. a) Leitungsarten. Die von handbetriebenen Seitenämtern nach dem SV-Amt verlaufenden Verbindungsleitungen (Zubringerleitungen) werden stets 2adrig betrieben. Bei SA-Seitenämtern ist zu unterscheiden zwischen solchen Ämtern, die im Gebäude des SV-Amtes oder in dessen Nähe untergebracht sind, und weiter entfernt gelegenen SA-Ämtern, vor allem den außerhalb des ON des SV-Amtes befindlichen. Im ersteren Falle verwendet man für die Zubringerleitungen 3adrig verlaufende Leitungen, die trotz der dritten Ader dadurch billiger werden, daß man die im 2adrigen Verkehr für jede Leitung erforderlichen Übertragungssätze spart, im zweiten Falle werden 2adrig verlaufende Zubringerleitungen verwendet.

Über den Verkehr in der Richtung vom SV-Amt nach den Seitenämtern s. (1906c).

b) SA-Seitenämter. Bei SA-Seitenämtern nehmen die zum SV-Amt abgehenden Verbindungsleitungen (Zubringerleitungen) ihren Ausgang in der Regel vom 9. Höhenschritt der I. GW und verlaufen von dort entweder 2adrig (über eine Übertragung) oder 3adrig zu den Anrufeinrichtungen des SV-Amtes. Wählt der Tln. die Ziffer 9, so stellt sich ein freier I. GW auf den Schritt 9 ein, sucht eine freie Zubringerleitung aus und verbindet den Tln. sogleich mit dem SV-Amt, in welchem die zu der Leitung gehörige Anruflampe aufleuchtet.

Für den nach den SA-Seitenämtern gerichteten Verkehr bedarf es bei 3adrigem Betrieb im Seitenamt außer einem besonderen I. GW (in Schaltung der II. GW) für jede Leitung keiner besonderen Einrichtungen, da die vom SV-Amt gesandten Wählstöße unmittelbar auf die Wähler des Seitenamtes einwirken. Die 2adrig betriebenen Versuchsleitungen (1916) müssen dagegen eine Übertragungseinrichtung auf der abgehenden und ankommenden Seite erhalten.

c) Seitenämter mit Handbetrieb. Die Anschließung von handbetriebenen Seitenämtern an den SV ist etwas umständlicher, namentlich was den von den Seitenämtern abgehenden Verkehr betrifft. Da der SV vom Ortsverkehr getrennt abgewickelt werden muß, sind besondere Arbeitsplätze, Hilfsplätze, zur Herstellung der nach dem SV-Amt gerichteten Verbindungen notwendig. Die mit dem Teilnehmer-Vielfachfeld ausgerüsteten Hilfsplätze besitzen in ZB-Ämtern bis zu 40, in OB-Ämtern bis zu 28 oder 34 Stöpselschnüre, von denen

die Zubringerleitungen zum SV-Amt ausgehen, und sind von allen A-Plätzen des Ortsamts im DL-Wege zu erreichen. Zu jedem Stöpsel gehört eine Schlußlampe.

Verlangt ein Tln. eine SV-Verbindung, so teilt die A-Beamtin der Beamtin des Hilfsplatzes über die DL die Nummer dieses Tln. mit, zieht den Abfragestöpsel aus der Abfrageklinke¹ des Tln. und scheidet damit aus dem weiteren Gange der Verbindung aus. Die Hilfsplatzbeamtin nimmt, ohne sich dem Tln. gegenüber zu melden — eine Möglichkeit zur Einschaltung in die Verbindung ist, weil überflüssig, überhaupt nicht vorgesehen — einen freien Stöpsel auf und steckt ihn in eine Vielfachklinke des Tln. Damit ist der Tln. über die Verbindungsleitung mit dem SV-Platz, an dem die Leitung endigt und nunmehr die Anruflampe aufleuchtet, unmittelbar verbunden. Der Hilfsplatz übt also die Tätigkeit des I. GW in einem SA-Seitenamt aus. Wird nach beendetem Gespräch die Verbindung am SV-Platz getrennt, so leuchtet die Schlußlampe am Hilfsplatz auf und die Beamtin zieht den Stöpsel heraus.

In kleineren Anstalten (für OB-Betrieb) lohnt die Einrichtung eines besonderen Hilfsplatzes meist nicht. Man verteilt dann die Hilfsplatz-Stöpselleitungen gleichmäßig über alle Arbeitsplätze, so daß jeder Beamtin eine ausreichende Anzahl zur Verfügung steht.

Die Einfügung der Hilfsplatzbeamtin in den Gang der Verbindung bedingt eine unvermeidbare, aber nicht ins Gewicht fallende Verzögerung. Die Kosten für die Hilfsplatzbeamtin sind nicht erheblich; sie werden in solchen SV-Netzen, die durch Umwandlung von früheren V- oder B-Netzen entstanden sind, dadurch ausgeglichen, daß die Ortsamts-A-Plätze infolge der Herausnahme des V- oder B-Verkehrs aus dem Ortsverkehr wesentlich stärker belegt werden können, wodurch eine Ersparnis an Ortsvermittlungspersonal eintritt.

Auch für den vom SV-Amt ankommenden Verkehr müssen in den Handämtern besondere Plätze, Seitenamts-B-Plätze (SB-Plätze), eingerichtet werden. Die ankommenden Verbindungsleitungen endigen an den SB-Plätzen in Schnurstöpseln (Einschnurbetrieb) mit einer zugehörigen Lampe — bei OB-Ämtern Klappe —, die als Schluß- und zugleich als Anrufzeichen dient. Da in der Regel der Abfragebetrieb angewendet wird, wird über eine Zahl von 25 Leitungen je Platz nicht hinausgegangen; im DL-Betrieb (1906 c) wird die Zahl auf 30 oder 40 erhöht. Um die Tätigkeit der SB-Beamtin auf ein Mindestmaß zu beschränken und zur Vereinfachung und Beschleunigung des Verkehrs erhalten die SB-Plätze — auch in OB-Ämtern — eine Einrichtung für den selbsttätigen Teilnehmeranruf. Die Beamtin hat also nach erfolgter Abfrage lediglich die gewünschte Anschlußleitung auf Besetztsein zu prüfen, den Leitungsstöpsel in die Vielfachklinke des Teilnehmers einzusetzen und beim Wiederaufleuchten der Lampe nach Gesprächsschluß die Verbindung zu trennen. Wird die Anschlußleitung beim Prüfen besetzt gefunden, so hat die Beamtin den Stöpsel in die Besetzklinke zu stecken, damit die SV-Beamtin durch das Besetzt-Flackersignal von der Nichtausführbarkeit der Verbindung unterrichtet wird.

B. Die Ausführung der Schnellverkehrsverbindungen.

(1908) Die Tätigkeit der Beamtin am Schnellverkehrsplatz. Die Wirtschaftlichkeit des SV erfordert es, daß möglichst viele Verbindungen an einem SV-Platz ausgeführt werden. Bei der schaltungs- und betriebstechnischen Ausgestaltung der SV-Plätze wie überhaupt bei der ganzen Anlage des SV war daher leitender Gesichtspunkt, der SV-Beamtin alle Arbeiten, die auch an anderen Stellen durch andere Kräfte oder mit mechanischen Mitteln ausgeführt werden können, abzunehmen, die ihr verbleibenden aber so zu vereinfachen, daß ein möglichst hohes Leistungsmaß erzielt wird.

Die Tätigkeit der SV-Beamtin umfaßt folgende Einzelhandlungen:

a) Abfragen. Beim Aufleuchten einer weiß abgeblendeten Anruflampe (Hauptanrufzeichen) führt die Beamtin den Abfragestöpsel eines freien Schnurpaares in die zugehörige Abfrageklinke ein und fragt nach Umlegung des Sprech-

umschalters ab. Liegen mehrere weiße Anrufe gleichzeitig vor, so wird sie durch die Beamtinnen des viert- und siebentnächsten Platzes, an dem ihre Hauptanrufzeichen mit roten bzw. grünen Lampenblenden wiederholt sind, entlastet. Nur wenn weiße Anrufe bei ihr nicht vorliegen, fragt sie rote oder grüne Anrufe ab.

b) Aufzeichnen der Gesprächsverbindung. Nummernkontrolle. Die SV-Beamtin fragt den anrufenden Tln. nach der eigenen Anschlußnummer und dem Amt, an das er angeschlossen ist, sowie nach dem Amt und der Anschlußnummer des verlangten Tln. und vermerkt die Angaben auf dem Gesprächsblock, der zu dem von ihr benutzten Schnurpaar gehört.

Es hat sich im Betriebe als unbedingt notwendig erwiesen, die Angaben des ein SV-Gespräch anmeldenden Tln. über seine eigene Anschlußnummer sofort nachzuprüfen, um Gebührenaufwalle infolge falscher Nummernansage zu vermeiden. Am schnellsten wäre diese Kontrolle durch die SV-Beamtin, und zwar sogleich nach Ausfüllung des Gesprächszettels auszuüben, was anfänglich auch vereinzelt geschehen ist. Grundsätzlich ist aber die Ausführung der Kontrolle in die Seitenämter verlegt worden, da sie das Leistungsmaß der SV-Beamtin zu stark herabsetzt. Näheres unter (1910).

c) Herstellen der Verbindung. 1. Nach eigenen und fremden SA-Seitenämtern. Die Herstellung der Verbindung erfolgt, da der Abfragebetrieb im SV die Regel bildet, im unmittelbaren Anschluß an die Abfrage durch Ausprüfung einer freien Verbindungsleitung nach dem eigenen Seitenamt bzw. dem fernen SV-Amt, an das das fremde Seitenamt angeschlossen ist, und Einsetzen des Verbindungsstöpsels in die als frei erkannte Leitungsklinke. Hiermit ist die eigentliche Vermittlungstätigkeit der SV-Beamtin erschöpft. Sie schaltet sich daher aus der Verbindung aus, deren weitere Behandlung jetzt in der Hand der sich meldenden Zahlgeberbeamtin des eigenen oder des fernen SV-Amtes liegt. Der ZG-Beamtin muß der anrufende Tln. die Nummer und gegebenenfalls auch das Amt des gewünschten Tln. nochmals nennen. Die zweimalige Ansage der Nummer und des Amtes bedeutet zwar eine Unbequemlichkeit für den anrufenden Tln., sie mußte aber zur Entlastung der SV-Beamtin gefordert werden.

Eine Ausnahme bildet der Fall, wenn im Bereich des eigenen SV-Amtes nur wenige SA-Seitenämter mit geringem Sprechverkehr vorhanden sind. Dann wählt die SV-Beamtin selbst den gewünschten Anschluß mit der Nummernscheibe. Dasselbe gilt für die Zeit des schwachen Verkehrs, wenn sich die Besetzung der ZG-Plätze für den Verkehr nach den eigenen Seitenämtern nicht lohnt.

2. Nach eigenen und fremden Seitenämtern mit Handbetrieb. Sofern die eigenen Hand-Seitenämter mit ihrem SV-Amt im Abfragebetriebe stehen, was die Regel bildet, werden die Verbindungen von der SV-Beamtin wie unter c1) hergestellt, mit dem Unterschiede, daß an die Stelle der ZG-Beamtin die SB-Beamtin tritt. Wird dagegen der DL-Betrieb angewendet, so hat die SV-Beamtin die Nummer des verlangten Tln. der Beamtin des SB-Platzes zu übermitteln. Das weitere Verfahren gestaltet sich wie im Ortsverbindungsleitungsverkehr zwischen Handämtern.

Der streng durchgeführte Grundsatz, daß alle Hand-Seitenämter — auch die kleinsten — mit den Einrichtungen für den selbsttätigen Teilnehmeranruf ausgerüstet sind, enthebt die SV-Beamtin der Notwendigkeit des Rufens und erforderlichenfalls der Rufwiederholung, die beim Handanruf eintreten und eine Belastung bedeuten würde.

Verbindungen nach fremden Hand-Seitenämtern werden von der SV-Beamtin wie zu c1) ausgeführt. Die sich meldende ZG-Beamtin des zuständigen fernen SV-Amtes schaltet die Verbindung nach dem Seitenamt durch Drücken seiner Kennziffer (1884, b) weiter, nachdem sie von dem anrufenden Tln. das Amt erfragt hatte. Meldet sich die Beamtin des SB-Platzes im Seitenamt, so muß der anrufende Tln. zum dritten Male die gewünschte Anschlußnummer nennen. Da die dreimalige Nummern- usw. Ansage zu einer Belästigung der Tln. führen

würde, darf (als Übergangsmaßnahme) in solchen Fällen, wenn der Übelstand nicht auf andere Weise (z. B. Verwendung etwa vorhandener unmittelbarer Leitungsverbindungen aus dem Bezirksverkehr) behoben werden kann, die SV-Beamtin der ZG-Beamtin das gewünschte Amt ansagen.

d) Überwachen und Trennen der Verbindung. Die Ausübung dieser wegen der Gebührenerhebung besonders wichtigen Tätigkeit wird der SV-Beamtin durch die bei Verbindungen nach SA- und Hand-Seitenämtern völlig gleichartige Signalgebung erleichtert. So lange der verlangte Seitenamts-Tln. gerufen wird, erlischt die Schlußlampe auf der Verbindungsseite des Schnurpaares entsprechend dem Ruftakt alle 10 s für die Dauer des Rufabgangs. Die SV-Beamtin hat nun den Augenblick abzuwarten, wo die Schlußlampe infolge Beantwortung des Rufs durch den Tln. ganz erlischt, um dann sogleich den Gesprächszeitmesser durch Umlegen des Einschalthebels in Gang zu setzen.

Ebenso sorgfältig hat sie auf das Wiederaufleuchten beider Schlußlampen nach Beendigung des Gesprächs zu achten. Sie schaltet in diesem Augenblick sofort den Zeitmesser aus, stellt die Dauer des Gesprächs durch Ablesen fest und vermerkt auf dem Gesprächszettel — ohne irgendwelche nähere Zeitangaben — lediglich „1fach“, „2fach“ usw. Die Frage, ob wenigstens der Zeitpunkt der Anmeldung (oder auch des Beginns) des Gesprächs für etwaige spätere Nachfragen auf dem Zettel zu vermerken ist, bedarf noch der endgültigen Regelung.

Ist die verlangte Anschlußleitung besetzt, so erhält die SV-Beamtin ein optisches Besetztsymbol (Flackern der Schlußlampe im „e“-Takt), dem das akustische Besetztsymbol (dauernder tiefer Summertone) überlagert ist, nur im Verkehr mit Handämtern, wo es durch Einführen des Leitungsstöpsels in die Besetztklinke erzeugt wird (1917, Sonderfall a). Von SA-Ämtern wird nur das akustische Besetztsymbol entsandt, weil die Schaltung des Leitungswählers die Abgabe eines optischen Zeichens nicht gestattet. Da in beiden Fällen auch der anrufende Tln. das akustische Zeichen erhält, so wird er, falls er die Bedeutung des Zeichens kennt — was bei SA-Tln. ohne weiteres zutrifft —, den Hörer bei Eingang des Zeichens anhängen. Es leuchtet dann am SV-Platz die Schlußlampe in der Abfrageschnur, während die Schlußlampe in der Verbindungsschnur entweder im „e“-Takt oder im Ruftakt flackert. Die SV-Beamtin wird also — wenn nicht schon früher — nunmehr in die Verbindung eintreten, das akustische Zeichen hören und die Verbindung aufheben, gegebenenfalls nach vorangegangener Benachrichtigung des anrufenden Tln., falls dieser etwa noch nicht den Hörer angehängt hätte.

Nach Ausfüllen des Gesprächszettels trennt die Beamtin die Verbindung durch Herausnahme der Stöpsel. Bei Verbindungen zwischen SA-Ämtern kehren sämtliche Wähler in die Ruhelage zurück, bei Verbindungen zwischen Handämtern erscheint am Hilfsplatz und am SB-Platz das Schlußzeichen, worauf auch dort die Trennung erfolgt.

(1909) Das Leistungsmaß der SV-Beamtin. Nach den bisherigen Betriebsergebnissen, die aber wegen der verhältnismäßig kurzen Zeit des Bestehens der SV nicht als abschließend angesehen werden können und auch durch das Vorhandensein von handbetriebenen Seitenämtern stark beeinflußt werden, stellt die Beamtin am SV-Platz in der HVSt 45 Verbindungen her. In den verkehrsschwachen Stunden sinkt die Stundenleistung namentlich im Verkehr mit handbetriebenen Seitenämtern auf 40 bis 35 Verbindungen infolge der durch ungleichmäßigeren Abfluß bei geringerer Verkehrsdichte vermehrten Spitzen und der schwächeren SB-Platzbesetzung in den Seitenämtern.

Die Zahl der einer Beamtin zur Bedienung zuzuweisenden Zubringerleitungen hängt von der Belastung der Leitungen ab. Im allgemeinen kann man bei starkem Verkehr einen SV-Platz mit 5 bis 6 Leitungen belegen, während man von Zubringerleitungen kleinerer Ämter bis zu 10 auf einen Platz schalten kann.

An der Erhöhung des Leistungsmaßes der SV-Beamtinnen wird ständig gearbeitet.

C. Sonstige Einrichtungen.

(1910) **Die Kontrolleleinrichtungen bei den Seitenämtern.** Die namentlich in der ersten Zeit nach der Inbetriebnahme neuer SV-Ämter häufig dadurch entstehenden Gebührenauffälle, daß die ein SV-Gespräch anmeldenden Tln. absichtlich oder fahrlässig ihre Nummern unrichtig angeben, haben zu der Einrichtung besonderer Kontrollstellen bei den Seitenämtern geführt (vgl. 1908, b). Die Kontrollen können, da sie bei ständiger Ausübung zu viel Personalaufwand erfordern, nur stundenweise (stichprobenmäßig) stattfinden, werden aber zu stets verschiedenen, täglich gewechselten Tageszeiten vorgenommen und nur im Anfang zur Erziehung der Tln. länger ausgedehnt.

Die Kontrolle ist nur möglich, wenn der kontrollierenden Beamtin das Teilnehmervielfachfeld zur Verfügung steht. Da es in allen Handämtern vorhanden ist, so gestaltet sich die Kontrolleinrichtung bei diesen Ämtern sehr einfach (vgl.

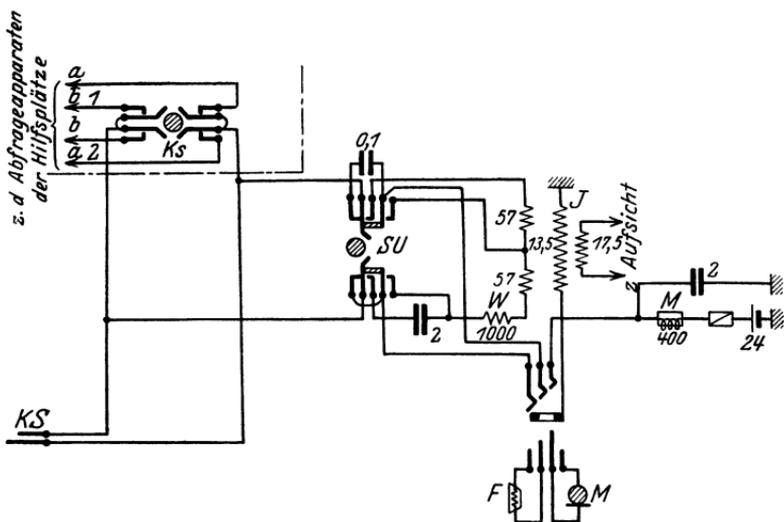


Abb. 1183. Schaltung der Schnellverkehrs-Kontrollstelle in ZB-Seitenämtern.

Abb. 1183). Sie wird in einem Ansatzplatz oder einem sonst unbesetzten A-Platz untergebracht und ist über den Schalter *Ks* mit dem Abfrageapparat der Hilfsplatzbeamtin verbunden. Die Kontrollbeamtin hört also die der Hilfsplatzbeamtin von der A-Beamtin in der DL zugerufene Nummer des ein SV-Gespräch wünschenden Tln. Sie steckt nun den Kontrollstöpsel *KS* in eine Vielfachklinke dieses Tln. und wartet, bis er von der SV-Beamtin abgefragt wird. Nennt er eine falsche Nummer, so bringt sie ihren Sprechschalter *SU* in die Sprechstellung, weist den Tln. zurecht und verständigt zugleich die in der Leitung zuhörende SV-Beamtin.

Verwickelter ist die Kontrolleinrichtung bei SA-Ämtern. Sofern diese mit FVPI ausgerüstet sind, wird die Kontrollstelle in einem Ansatzplatz des FV-Schranks eingerichtet. Sind FV-Plätze aber nicht vorhanden, so muß ein besonderer Kontrollschrank mit dem eigens zu diesem Zwecke zu schaffenden Teilnehmervielfachfeld aufgestellt werden. Wegen der sonstigen Einzelheiten und der Schaltung s. unter (1921).

(1911) **Nachtverkehrseinrichtungen.** Für den Nachtverkehr in kleinen SV-Ämtern bis zu 9 SV-Schränken bedarf es keiner besonderen Einrichtungen, weil eine einzige Beamtin von jedem Platz aus die Anrufzeichen sämtlicher Zubringer-

leitungen bedienen kann. Sind mehrere Neunergruppen vorhanden, so ist in der Nacht für jede Neunergruppe eine Beamtin erforderlich. In größeren und besonders in großen SV-Ämtern werden daher zur Ersparung von Bedienungspersonal bei Bedarf einige Arbeitsplätze als Nachtplätze (Sammelplätze) hergerichtet, auf die die Anrufzeichen der übrigen Schränke mittels Tasten umgeschaltet werden (1750).

(1912) **Die Schnellverkehrskabel.** Zur Erzielung einer einwandfreien Sprechverständigung im SV ist das Höchstmaß der Gesamtdämpfung in einer Verbindung zwischen 2 Tln., die an verschiedene SV-Ämter angeschlossen sind, auf $b = 3,2$ festgesetzt¹⁾. Da ferner der Dämpfungswert einer Verbindung Seitenamt—SV-Amt höchstens $b = 0,3$ betragen soll, wobei als größte Entfernung des Seitenamts vom SV-Amt etwa 30 km angenommen werden, so bleibt unter Berücksichtigung der in den Teilnehmeranschlüssen und in den Seiten- und SV-Ämtern entstehenden Dämpfungsverluste für die Leitungsverbindung SV-Amt—SV-Amt eine Dämpfung $b = 1,0$. Hiernach ergeben sich bei den in der Praxis vorkommenden Entfernungsstufen folgende Leiterstärken für die im SV zu verwendenden Kabel:

Leiterstärke mm	Höchstlänge der Ltg. zwischen		Wellenwiderstand Z Ω
	Seitenamt u. SV-Amt km	SV-Amt u. SV-Amt km	
0,8	12	40	1710
0,9	14	50	1700
1,5	33	110	1630

Die Leitungen sind, wie aus den Wellenwiderstandswerten hervorgeht, stark pupinisiert. Die Kabel werden zur Zeit nur in den Stammlösungen betrieben, da eine Viererausnutzung wegen der im SV-Betrieb angewendeten Gleichstrom-Schlußzeichengebung vorläufig nicht in Betracht kommt.

D. Die Schnellverkehrsschaltungen.

(1913) **Grundsätzliches.** Die im SV angewendeten Schaltungen sind auf dem vom V und BV übernommenen und durch die Natur des SV als Nahverkehr bedingten Grundsatz aufgebaut, daß die im SV verbundenen Tln. ihre Schlußzeichen mittels Gleichstrom zum SV-Amt geben. Hieraus ergibt sich für die Schaltungen eine begrenzte Reichweite, die im übrigen durch die im vorigen Absatz gebrachten Angaben über die Leitungsverhältnisse noch enger gezogen ist. Um bei den gleichwohl recht beträchtlichen Höchstentfernungen zwischen einem SV-Amt und einem an ein fernes SV-Amt angeschlossenem Seitenamt (143 km) eine sichere Schlußzeichenübermittlung zu erzielen, ist die Betriebsspannung der SV-Ämter allgemein auf 60 V festgesetzt worden. Außerdem wird aber in fast allen bisher errichteten SV-Ämtern eine Spannung von 24 V für die Anrufleitungen der Zubringerleitungen verwendet, weil diese Spannungsstufe ohnehin für den Betrieb der im gleichen Gebäude untergebrachten Fern- und Handämter zur Verfügung stand und die Verwendung von 24-V-Lampen ohne vorgeschaltete Widerstände gestattete. Nachdem es inzwischen gelungen ist, die 60-V-Lampe in den Größenverhältnissen der 24-V-Lampe herzustellen, und infolgedessen der Übergang von der 24- auf die 60-V-Stufe für neu einzurichtende Fernämter vollzogen werden konnte, wird künftig auch in den SV-Ämtern nur noch eine einheitliche Betriebsspannung von 60 V verwendet

¹⁾ Vgl. Feist, R.: Neuere Richtlinien für die Ausgestaltung von Orts- u. Fernleitungsbezirkskabeln, Tel.- u. Fernspr.-Techn. 1925, S. 206.

werden, zumal da auch die jetzt noch vorhandenen Handämter allmählich verschwinden. Da aber SV-Schaltungen für reinen 60-V-Betrieb praktisch noch nicht angewendet worden sind, so werden im folgenden ausschließlich die bisherigen SV-Amtsschaltungen für die gemischten Spannungen 60 und 24 V beschrieben werden. — Die Schaltungen sind auf dem Grundsatz aufgebaut, daß die SV-Verbindungen den Ortsverbindungen betrieblich gleichgestellt sind, eine Auftrennung zugunsten von Fernverbindungen also jederzeit möglich sein muß (1903, vorletzter Absatz). Dieser Grundsatz hat insofern für die Übergangszeit eine Einschränkung erfahren, als bei solchen ZB-Ämtern, bei denen im Fernverkehr eine Abtrennung des Ortsamtes nicht stattfindet, von einer Auftrennung von SV-Verbindungen mit Rücksicht auf das Fernamtstrennzeichen (Morse-) abgesehen werden mußte, weil dieses beim Aufstöpseln auf eine Anschlußleitung, die mit dem mit 60 V betriebenen SV-Amt verbunden ist, nicht mehr ordnungsmäßig arbeiten würde. ZB-Anschlußleitungen werden daher bei Verbindungen mit dem SV-Amt entweder am Hilfs- oder am SB-Platz durch Anschaltung des Fernamts-Besetzsummers an die *c*-Leitung im Vielfachfelde fernbesetzt gemacht.

(1914) Überblick über die Schnellverkehrsschaltungen. Die Zahl der im Betriebe verwendeten SV-Schaltungen ist infolge der Vielgestaltigkeit der technischen Amtseinrichtungen der Seitenämter ungewöhnlich groß. Vor allem bedingt die Verschiedenheit der Handamtssysteme (OB, ZB), insbesondere der ZB-Systeme (Western, Ericsson, zum Teil auch S & H Zweidrahtsystem), eine große Zahl von Schaltungen, die noch dadurch vermehrt werden, daß in der Richtung vom SV-Amt zum Hand-Seitenamt außer dem Abfragebetrieb auch der DL-Betrieb berücksichtigt werden mußte. Auch der SA-Betrieb erfordert wegen der Verwendung 2- und 3adriger Leitungen (1906, c, 1907, a) und der Wahl mittels NS oder ZG viele Schaltungen. Einen schematischen Überblick über die verschiedenen Schaltungsarten bietet Abb. 1184.

Allgemein ist zu diesen Schaltungen, von denen nur ein Teil näher beschrieben werden kann, folgendes zu sagen.

(1915) Schaltungen der Zubringerleitungen (Abb. 1184, Schaltbilder 1...6). Die Ausführung von SV-Gesprächen von Sprechstellen mit Münzfernsprechern bedingt besondere Einrichtungen in den Seitenämtern, um die Beamtin am SV-Platz darauf aufmerksam zu machen, daß sie den die Verbindung Anmeldenden zur Zahlung der Gebühr auffordern muß. Dies geschieht dadurch, daß die Anruf-lampe der Zubringerleitung am SV-Platz nicht dauernd, wie bei den von Teilnehmern ausgehenden SV-Verbindungen, sondern im Flackertakt leuchtet, was durch den Einbau einer Unterbrechereinrichtung im Seitenamt erreicht wird. Bei Handämtern wird diese Einrichtung in die Hilfsplatz-Stöpselleitungen, die zu diesem Zweck eine etwas abweichende, hier nicht dargestellte Schaltung erhalten, eingebaut, und zwar werden in der Regel die beiden letzten Stöpselsätze eines Hilfsplatzes dafür hergerichtet. Die Schaltung gestattet die Verwendung der Stöpselsätze auch für gewöhnliche SV-Gespräche, wobei aber die Flackereinrichtung nicht in Tätigkeit tritt. — Bei SA-Ämtern muß der Eigenart der nur für diese verwendbaren Münzfernsprecher 22/26, deren Kriterium in der Anschaltung einer Erde an eine zwischen beiden Leitungszweigen liegende Drosselbrücke besteht, Rechnung getragen werden, indem im Seitenamt für jeden Münzfernsprecher ein eigener I. GW vorgesehen wird, dessen Ausgänge zum SV-Amt mit den entsprechenden Ausgängen der I. GW der gewöhnlichen Teilnehmeranschlüsse parallel geschaltet werden (Schaltbild 4, 3adrige Zubringerleitung, Schaltbild 6, 2adrige Zubringerleitung). In allen Fällen, wo eine gemeinsame Benutzung der Zubringerleitungen für Münzfernsprecher- und gewöhnliche Teilnehmergespräche in Betracht kommt, erhalten die Zubringerleitungen im Seitenamt eine Unterbrechereinrichtung für den Flackernruf im SV-Amt. Diese wird ferner grundsätzlich in allen 3adrigen Zubringerleitungen (Schaltbild 3 und Abb. 1188) vorgesehen, auch wenn zunächst Münzfernsprecher nicht aufgestellt werden, damit beim späteren Hinzukommen der Münzfernsprecher die Schaltung nicht wegen der

Hinzufügung der für die Flackereinrichtung erforderlichen Relais usw. geändert zu werden braucht, was bei der unter Umständen großen Zahl der Zubringerleitungssätze sehr kostspielig wäre. Vgl. im übrigen (1918).

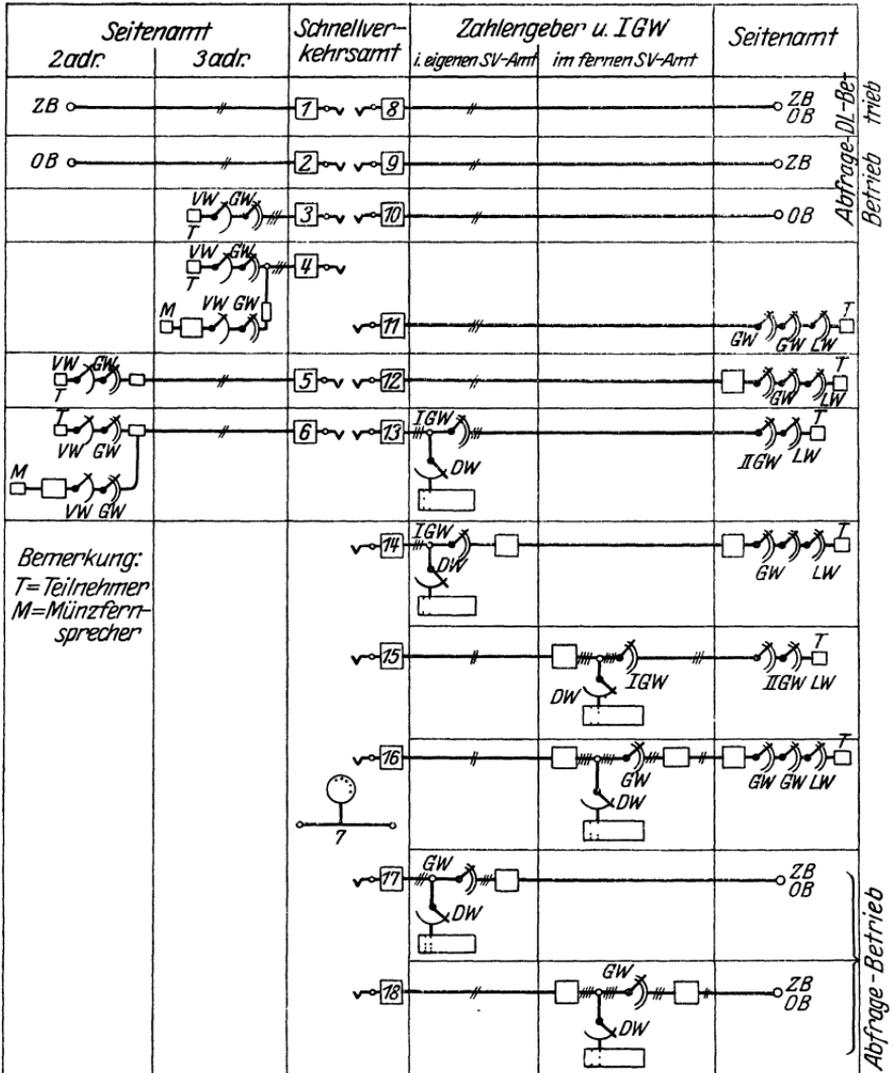


Abb. 1184. Schematische Übersicht über die Schnellverkehrsschaltungen.

Schaltbild 1 und 2 stellen schematisch 2adrige Zubringerleitungen von ZB- und OB-Ämtern, Schaltbild 5 eine 2adrige Zubringerleitung (ohne Münzfersprecher) von einem SA-Amt dar. Ausgeführte Schaltungen zu 1 und 5 s. unter (1917) und (1919).

(1916) Schaltungen der von den SV-Ämtern abgehenden Leitungen. Die Schaltbilder 8...18 der Abb. 1184 zeigen schematisch den Verlauf der nach

eigenen und fremden Seitenämtern abgehenden Verbindungsleitungen. Bemerkenswert ist Schaltbild 12, das ebenso wie Schaltbild 11 für den Fall der Nummernscheibenwahl vom SV-Platz nach dem SA-Seitenamt gilt, aber sich auf eine 2adrige Leitung bezieht. Die Schaltung ermöglicht der SV-Beamtin sogar die unmittelbare Wahl von Teilnehmern fremder Seitenämter ohne Mitwirkung des zuständigen fernen SV-Amtes bis auf Entfernungen von 100 km. Die Schaltung, die versuchsweise im Oberlausitzer Bezirksnetz angewendet wird und wegen der Ersparung der Beamtin auf der ankommenden Seite große wirtschaftliche Vorteile bietet, ist natürlich nur in SV-Netzen geringeren Verkehrsumfanges anwendbar. Sie ist aber noch nicht in jeder Beziehung einwandfrei (Auftreten von Fehlimpulsen usw.) und wird daher hier im einzelnen nicht erörtert werden. An ihrer Vervollkommnung wird jedoch weiter gearbeitet, da die Verwendung 2adriger Leitungen nach auswärtigen (eigenen oder auch fremden) Seitenämtern an Stelle der bisher allgemein benutzten 3adrigen Leitungen aus wirtschaftlichen Gründen mit allen Mitteln angestrebt werden muß.

Das Gleiche gilt von den in den Schaltbildern 14 und 16 angedeuteten Schaltungen, bei denen die Wählstromstöße nach den Seitenämtern von ZG aus über beiderseits durch Übertragungseinrichtungen abgeschlossene 2adrige Leitungen gegeben werden. Auch diese Schaltungen befinden sich noch im Versuchsstadium; von einer Beschreibung ist daher abgesehen worden.

Die Schaltbilder 17 und 18 stellen den Fall dar, wo auch Verbindungen nach Hand-Seitenämtern über ZG ausgeführt werden. Hierzu bedarf es einer Relaisübertragung nach Abb. 1192 (1920).

Im folgenden werden außer dem eben genannten Fall näher beschrieben werden die Schaltungen nach Schaltbild 8 (nach einem ZB-Amt abgehende Leitung mit DL-Betrieb), nach Schaltbild 11 (nach einem SA-Amt abgehende 3adrige Leitung mit Nummernscheibenwahl) und nach Schaltbild 15 (nach ZG-Platz im fernen SV-Amt abgehende 2adrige Leitung).

Ausgeführte Schnellverkehrsschaltungen.

(1917) Verbindung ZB-Seitenamt (Western)—SV-Amt—eigenes ZB-Seitenamt (Western, DL-Betrieb). Abb. 1185, 1186 u. 1187. Die Ortsamts-A-Beamtin verständigt die Hilfspatzbeamtin (H-Beamtin) in der DL (in Abb. 1185 fortgelassen), daß Tln. 1 ein SV-Gespräch wünscht. Die H-Beamtin wiederholt die Nummer und führt VS in eine Vielfachklinke K_v des Tln. 1 ein; die A-Beamtin scheidet aus der Verbindung aus. H in c -Ader von VS wird über Tln.-Trennrelais TTR erregt, Tln.-Anrufrelais TAR wird abgeschaltet, Tln. erhält Mikrofonstrom aus linker Übertragerseite über das erregte Relais $S1$. Die Summerwicklung von H ($H20$) macht die Anschlußleitung im Ortsamt fernbesetzt. — Im SV-Amt wird A erregt (—, $A1000$, tI , a -Zweig, $\dot{U}21$, $s1II$, hsI , hI , +), Anruflampen $AL1$, $AL4$ und $AL7$ leuchten an den SV-Plätzen 1, 4 und 7 auf. Die SV-Beamtin am Platz 1 fragt durch Einsetzen ihres Abfragestöpsels AS (Abb. 1186) in die Abfrageklinke Ka und Umlegen des Sprechschalters U ab:

Im SV-Amt spricht $T100$ in c -Leitung der Abfrageklinke an und trennt beide Wicklungen von A von der Leitung ab, $AL1$, 4 und 7 erlöschen. U in Abfrage schnur wird erregt und schaltet die dazu gehörige Schlußlampe $SL1$ ab. Im Seitenamt spricht $S2$ (rechte Übertragerhälfte) an (—, $S2$, $\dot{U}21$, b -Zweig, Stöpsel AS , $S\dot{U}21$ der Abfrageschnur, +). Durch $S2$ wird HS , das die Schlußlampe SL in die Vorbereitungsstellung bringt, erregt.

Die SV-Beamtin drückt nach Ausfüllung des Gesprächszettels die Diensttaste einer nach dem gewünschten Seitenamt führenden DL, sagt der Beamtin des SB-Platzes die Nummer des verlangten Teilnehmers 2 an und steckt den Verbindungsstöpsel VS in die Vielfachklinke BVK der ihr bezeichneten Verbindungsleitung (Abb. 1187). Die SB-Beamtin findet bei der Besetzprüfung die Anschlußleitung frei und steckt BVS in deren Vielfachklinke.

Im SV-Amt wird das an der *c*-Ader von *VS* liegende Relais *V* erregt. Infolgedessen erhält *S2* über *vI* Erde und wird über *BTR* des SB-Platzes erregt. Schlußlampe *SL2* am SV-Platz leuchtet.

Im Seitenamt wird *BHTR* durch *BTR* erregt. Dieses löst den selbsttätigen Teilnehmer aus, indem es die Rufmaschine über *RÜR* und *BRR* an den *b*-Zweig der Anschlußleitung legt. Die Leitung ist innerhalb der Schnur nach dem Stöpsel zu durchgeschaltet (Kontakte *bpr* in Arbeitsstellung), weil das an der *c*-Ader liegende Buchsenrelais *BPR* 120 über das Tln.-Trennrelais *TTR* erregt ist; die Summerwicklung von *BPR* hat im übrigen die Anschlußleitung fernbesetzt gemacht. Der Rufstrom durchfließt die Leitung im 10-s-Takt in Schleife (—, *RM*, *bhtr*, *RÜR*, *BRR*, *bur*, *bpr*, *BVS*, *b*-Zweig der Leitung, Sprechstellenwecker, *a*-Zweig, *BVS*, *bpr*, *bur*, +). So oft Rufstrom entsandt wird, wird *RÜR* erregt, legt Summer über *rür* an den *b*-Zweig nach rückwärts, so daß der Tln. 1 im Ausgangs-Seitenamt den periodischen Abgang des Rufstroms („Freizeichen“) hört. Gleichzeitig wird durch *rür* *BSR* (an *BÜ*) im Ruftakt erregt und legt über seinen Kontakt *bsr* + rückwärts an den *a*-Zweig der Verbindungsleitung zum SV-Amt. Dort wird *S1* in der Verbindungsschnur des SV-Platzes erregt und schaltet die Schlußlampe *SL2* ab. Die SV-Beamtin erhält somit durch das im Ruftakt erfolgende, etwa 1sekündige Erlöschen von *SL2* gleichfalls ein Zeichen dafür, daß der Tln. 2 frei ist und noch gerufen wird. Hervorzuheben ist noch, daß das Verzögerungsrelais *BRR* am SB-Platz durch den Rufwechselstrom nicht beeinflusst wird, sondern nur auf Gleich-

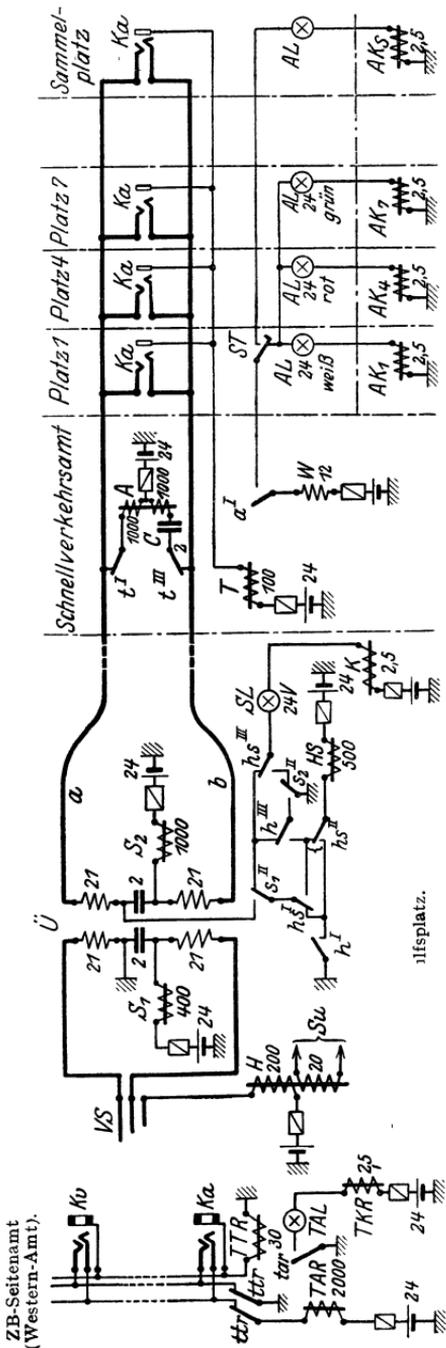


Abb. 1185. Vom ZB-Seitenamt (Western-Amt) am Schnellverkehrsplatz ankommende Leitung.

a-Zweig zum SV-Amt, S1 in der Verbindungsschnur des SV-Platzes wird erregt und SL2 erlischt. Das Gespräch beginnt, und die SV-Beamtin setzt den Gesprächszeitmesser in Gang.

Wenn nach Beendigung des Gesprächs die Tln. ihre Hörer anhängen, leuchten am SV-Platz beide Schlußlampen auf. Hängt Tln. 1 an, so wird (Abb. 1185) am Hilfsplatz S1 stromlos; s111 geht in die Ruhelage zurück und unterbricht damit den Stromweg von U in der Abfrageschnur des SV-Platzes (Abb. 1186). SL1 leuchtet über uII/U400 und T100.

Hängt Tln. 2 an, so wird BSR (Abb. 1187) stromlos, schaltet die Erde vom a-Zweig der vom SV-Amt ankommenden Leitung ab und bringt dadurch S1 in der Verbindungsschnur des SV-Platzes zum Abfallen; SL2 leuchtet.

Die SV-Beamtin zieht jetzt beide Stöpsel heraus. Am Hilfsplatz wird daher S2 stromlos und die Schlußlampe SL zum Aufleuchten gebracht. Am SB-Platz wird BTR und damit BHTR stromlos; die Schlußlampe BSL leuchtet. Nunmehr trennen auch die Hilfsplatz- und die SB-Beamtin die Verbindung.

Sonderfälle.

a) Tln. 2 wird bei der Prüfung durch die SB-Beamtin besetzt gefunden. Diese führt den Stöpsel BVS der von ihr benutzten Verbindungsleitung in die Besetztklinke Kb ein und legt dadurch im „e“-Takt der Flackerscheibe + an den b-Zweig der Verbindungsleitung, die sogleich nach dem ersten Rufabgang innerhalb der Schnurleitung durchgeschaltet wird. Das „e“-Zeichen wird über BSR zum SV-Platz nach S1 übertragen, das nunmehr im „e“-Takt die Schlußlampe SL2 aufleuchten und erlöschen läßt. Gleichzeitig wird aus dem an der Kb-Klinke liegenden

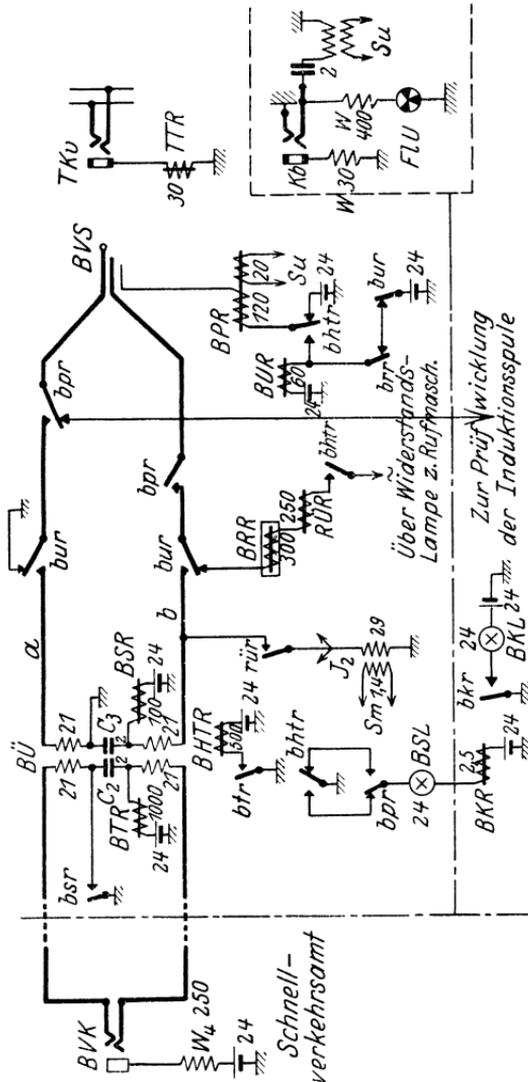


Abb. 1187. SB-Platz mit DL-Betrieb im ZB-Seitenamt (Western-Amt). (DL nicht gezeichnet)

Summerübertrager der tiefe Besetztsummertone über den SV-Platz hinweg zum anrufenden Tln. gegeben. Die SV-Beamtin hebt daher die Verbindung auf.

b) Tln. 1 kann Flackerzeichen geben, wenn er in einer bestehenden Verbindung die SV-Beamtin zum Eintreten veranlassen will. Das Flackerzeichen wird im Hilfsplatz von dem Relais S1 mittels dessen Kontakt s1II auf das Relais U in der Abfrageschnur des SV-Platzes und damit auf SL1 übertragen.

Zu den Anrufzeichen in den Plätzen
4, 7 und 5 (vgl. Abb. 1185).

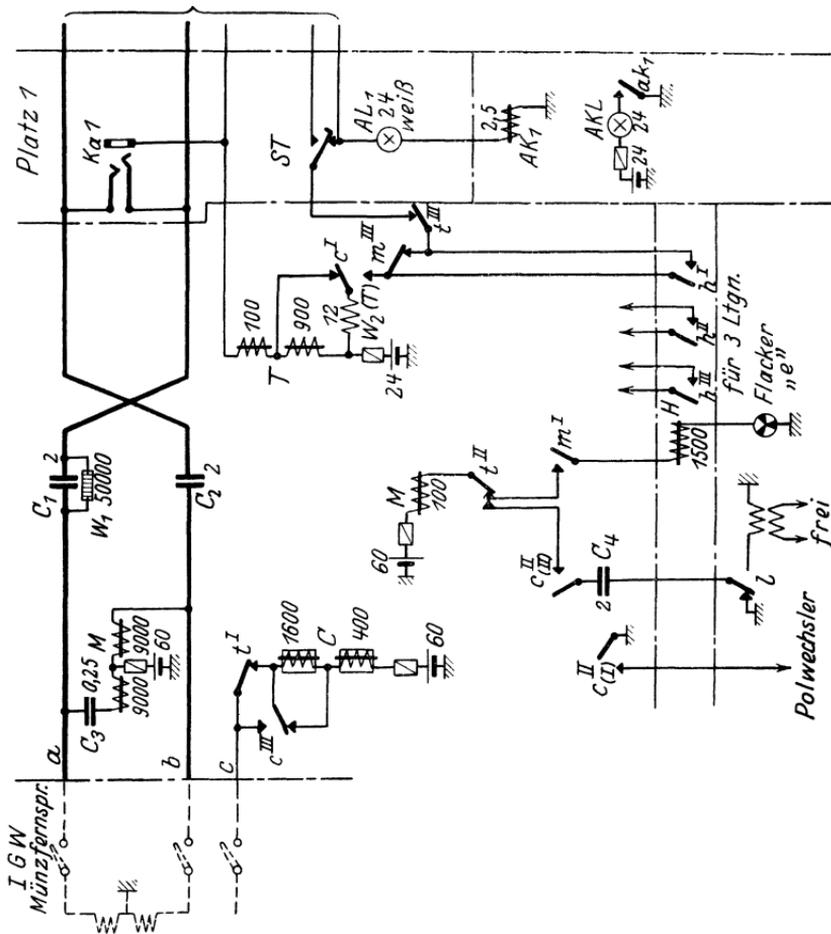


Abb. 1188. Vom SA-Seitenamt am Schnellverkehrsplatz ankommende 3adrige Leitung.

(1918) Verbindung SA-Seitenamt (3adrig)—SV-Amt—eigenes SA-Seitenamt (3adrig). Abb. 1188, 1186 u. 1189. Bei der Besprechung der Schaltung Abb. 1188 für eine 3adrige Zubringerleitung von einem SA-Amt sei zunächst angenommen, daß die SV-Verbindung von einer gewöhnlichen Teilnehmersprechstelle ausgehe. Der links oben angedeutete I. GW für eine Münzfernsprecher-Sprechstelle (1915) ist daher durch einen normalen I. GW ersetzt zu denken; die Relais M und H sowie die Flackereinrichtung, die nur bei Münzfernsprechergeräuschen in Tätigkeit treten, bleiben außer Betracht.

Um das SV-Amt zu erreichen, wählt der Tln. (Tln. 1) die Ziffer 9. Der beim Anlaufen des I. VW belegte freie I. GW stellt sich auf den Höhenschritt 9 ein, an dessen Ausgängen die Zubringerleitungen zum SV-Amt liegen, und prüft eine freie Leitung aus (1834 [letzter Absatz]). Hat er sie gefunden, so spricht, nachdem das Prüfrelais *P* in Schaltung 1136 den Stromweg des Drehmagnets *D* unterbrochen hat, C400 in Schaltung 1188 über P60 an (+, *k*, *p*, P60, *c*-Arm, *c*-Leitung, *t*I, *c*III, C400, —). Die Zweitwicklung des Übertragers im I. GW ist nunmehr über den *a*- und *b*-Arm zum SV-Amt durchgeschaltet. Über die Bedeutung des den Kondensator *C* im *a*-Zweig überbrückenden Silitwiderstandes *w*1 (50000 s. unter (1841).

Nach dem Ansprechen von C400 wird auch die 2. Wicklung von *C* (1600) eingeschaltet. Kontakt *c*I bewirkt im SV-Amt das Aufleuchten der Anruflampe AL1 (AL4, AL7): —, *w*2 (*T*) 12, *c*I, *m*III, *t*III, *ST* (Taste für Sammelnach[t]-Platz), AL1, AK1, +. Der Tln. erhält das Freizeichen (+, Freizeichensummer, *l*, C4, *c*II, *t*II, M100, —) induktiv über *M* (9000 + 9000).

Geht dagegen der Anruf von einem Münzfernsprecher aus, dessen Kriterium in der Anschaltung der Erde zwischen beiden Leitungszweigen besteht, so wird Relais *M* erregt. *M* schaltet über seinen Kontakt *m*I das Flackerrelais *H* mit der Unterbrecherscheibe ein, das seinen Anker *h*I im „e“-Takt anzieht und losläßt und dadurch die Anruflampe AL1 usw. am SV-Platz zum Flackern bringt (—, *w*2 [*T*]12, *c*I, *h*I, *t*III, *ST*, AL1, AK1, +).

Die SV-Beamtin führt jetzt ihren Abfragestöpsel in die Abfrageklinke *Ka*1 ein. Dadurch wird *T* mit seinen beiden hintereinander geschalteten Wicklungen (900 + 100) über den *c*-Teil des Abfragestöpsels und die daran an + liegende Schlußlampe *SL*1 mit dem parallel geschalteten Widerstande *U*400 (Abb. 1186) erregt, *SL*1 kann aber wegen des hohen Widerstandes von *T* nicht leuchten. *T* schaltet AL1 und das Freizeichen nebst der Flackereinrichtung ab und bewirkt ferner, daß *C* nur noch über *c*III gehalten wird.

Die Beamtin legt den Sprechumschalter *U* (Abb. 1186) um, fragt ab und prüft eine freie Verbindungsleitung nach dem verlangten eigenen SA-Seitenamt aus (Abb. 1189). Die Prüfschaltung des SV-Platzes weicht von der im Handamtsbetriebe üblichen ab, weil an den Klinkenhülsen aller vom SV-Amt abgehenden Verbindungsleitungen über ein Relais oder einen Widerstand auch im unbesetzten Zustande Spannung liegt. Das Prüfpotential gelangt auf folgendem Wege zur Außenbelegung des Prüfkondensators C4: —, C250, Klinkenhülse *Kv* (Abb. 1189), Stöpselspitze *VS* (Abb. 1186), *a*-Ader der Schnur, Sprechumschalter *U*, Kontakt *e*III, *J*57, $\frac{\text{Kopffernhörer}}{J57, w1000}$, Außenbelegung von C4. Da an der

Innenbelegung des Prüfkondensators über *D*r500 ein gleich hohes Potential liegt, so entsteht beim Abnehmen der Stöpselspitze von der Klinkenhülse kein Knacken im Hörer; die geprüfte Leitung ist also frei. Steckt dagegen in der Klinke *Kv* ein Stöpsel *VS*, an dessen *c*-Teil *V*250 gegen + liegt, so beträgt das Prüfpotential an der als Spannungsteiler wirkenden Klinke *Kv* nur 12 V; im Prüfkondensator besteht somit eine Potentialdifferenz, die sich bei der Entladung des Kondensators über den Hörer als Knack äußert. Der die beiden Kondensatorbelegungen überbrückende Silitwiderstand von 50000 Ω dient zur Beschleunigung der Kondensatorentladung und damit des Prüfgeschäfts.

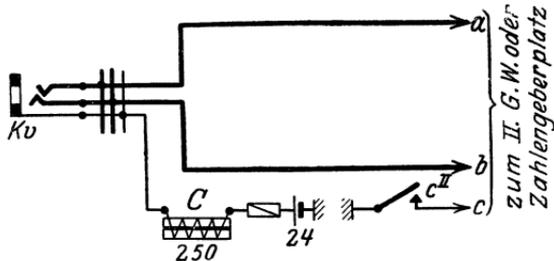


Abb. 1189. Vom Schnellverkehrsplatz zum SA-Seitenamt abgehende, 3 adrige Leitung (für Nummernscheibenwahl oder Zahlgeber).

Ist die Leitung frei, so führt die Beamtin *VS* in *Kv* ein. *C* wird erregt und legt Erde an die *c*-Ader nach dem Seitenamt, wo die Leitung an einem GW (I. GW in Schaltung eines II.) endigt. Die Beamtin beginnt nun den gewünschten Tln. 2 im Seitenamt zu wählen. Während des Wählens wird der Abfrageapparat der Beamtin unter der Einwirkung von *E* (*eI*, *eII*) von der Leitung abgetrennt. Die Wählstromstoßreihen wirken in der gewöhnlichen Weise auf den GW des Seitenamts (1835) und über diesen auf den folgenden Wähler. Ist Tln. 2 frei, so wird er vom LW aus gerufen (Steuerschalterstellung 6 und 7, S. 724 letzter Absatz, S. 723); der im 10-s-Takt erfolgende Rufabgang wird nach rückwärts über das SV-Amt hinweg zum Tln. 1 induktiv als hoher Summertone (Freizeichen) übertragen. Da jedoch die SV-Beamtin außer dem akustischen auch ein optisches Zeichen für den Rufabgang erhalten muß, eine rückwärtige Übertragung des Rufabgangs aber auf dem Gleichstromwege nicht möglich ist, weil die Schaltung des LW dies nicht zuläßt, so wird dieses Zeichen im SV-Amt selbst über das am *c*-Teil des Stöpsels liegende Relais *V250* erzeugt, das über seinen Kontakt *vIII* eine im Ruftakt arbeitende Flackerscheibe in den Stromweg der Schlußlampe *SL2* schaltet (—, *V120*, *SL2*, *s1I*, *s2II*, *vIII*, *FLZ*, +).

Nimmt Tln. 2 seinen Hörer ab (Steuerschalterstellung 8), so wird im LW Relais *Q750* (Abb. 1138, links oben) mit dem *a*-Zweig der Verbindungsleitung leitend verbunden und vom SV-Amt her erregt (—, *S1*, *SÜ21*, *a*-Ader der Verbindungsschnur, *VS*, *a*-Zweig der Verbindungsleitung, *Q750*, +). *Q* schaltet *G750* an den *b*-Zweig im LW an, und auch *G* wird vom SV-Amt her erregt (—, *G750*, *u*, *q*, *b*-Zweig der Verbindungsleitung, *VS*, *b*-Ader der Verbindungsschnur, *SÜ21*, *S2*, *vI*, +). In der Verbindungsschnur sprechen Relais *S1* und *S2* an und trennen *SL2* von der Flackereinrichtung ab; *SL2* erlischt, das Gespräch beginnt.

Hängt nach beendetem Gespräch Tln. 1 den Hörer wieder an, so wird der I. GW im Ausgangs-Seitenamt ausgelöst (vgl. 1837, wobei jedoch eine vorherige Gesprächszählung infolge Fehlens eines LW nicht stattfindet). Infolge Rückkehr des I. GW in die Ruhelage wird die *c*-Leitung zum Relais *C* in Abb. 1188 unterbrochen; *C* wird stromlos. Da aber Kontakt *tI* sich noch in der Arbeitslage befindet, ist *C* isoliert; es kann also der I. GW, solange *AS* am SV-Platz noch gesteckt ist, nicht von neuem belegt werden. Am SV-Platz leuchtet *SL1*, weil infolge Rückkehr des Kontakts *cI* in seine Ruhelage *T900* kurzgeschlossen ist, über *T100*.

Sobald Tln. 2 den Hörer anhängt, schreitet der Steuerschalter des LW aus der Gesprächstellung 8 nach Stellung 9. Dadurch wird der Stromweg für *Q750* im LW und für *S1* in der Verbindungsschnur unterbrochen, während *G750* im LW und *S2* in der Schnur unter Strom bleiben; *SL2* leuchtet auf.

Da nunmehr beide Schlußlampen glühen, hebt die SV-Beamtin die Verbindung durch Ziehen der Stöpsel auf; alle Relais und die Wähler im Seitenamt 2 kehren in die Ruhelage zurück.

Sonderfall: Wird Tln. 2 beim Ausprüfen seiner Anschlußleitung durch den LW besetzt gefunden, so erhält Tln. 1 über den SV-Platz hinweg das Besetzzeichen (Steuerschalterstellung 5). Das Weitere ergibt sich aus (1908, d).

(1919) Verbindung SA-Seitenamt (2adrig)—SV-Amt—fremdes SA-Seitenamt (2adrig bis zum fernem SV-Amt, 3adrig über Zahlengeber). Abb. 1190 und 1191. Tln. 1 wählt nach Abnehmen des Hörers das SV-Amt durch die Ziffer 9. Nach Belegung eines freien I. GW wird in bekannter Weise *C400* in Abb. 1190 erregt. Kontakt *cI* schaltet die 2. Wicklung von *C* (1600 Ω) mit *C400* in Reihe. Durch seinen Kontakt *cII* bringt *C* je eine Wicklung der in der Zubringerleitung liegenden Differentialrelais *F* (Seitenamt) unmittelbar und *A* (SV-Amt) mittelbar zum Ansprechen. *F* gibt über *cIII*, *fI* und *F100* das Freizeichen rückwärts zum anrufenden Tln., *A* bringt über *aI* die Anruflampe *AL1* usw. am SV-Platz zum Leuchten.

Die Beamtin führt *AS* in die zu *AL1* gehörige Abfrageklinke *Ka1* ein und erregt dadurch *T* (100 + 900). *T* schaltet durch seinen Kontakt *tII* *AL1* ab. Gleichzeitig wird durch Kontakt *tI* + an die 2., am *a*-Zweig der Zubringerleitung liegende Wicklung von *A* (750 Ω) angelegt. Dadurch wird auch die an dem-

Danach fragt die SV-Beamtin ab und prüft eine freie Verbindungsleitung nach dem fernen SV-Amt aus, an das das verlangte fremde Seitenamt angeschlossen ist. Prüfvorgang wie zu (1918).

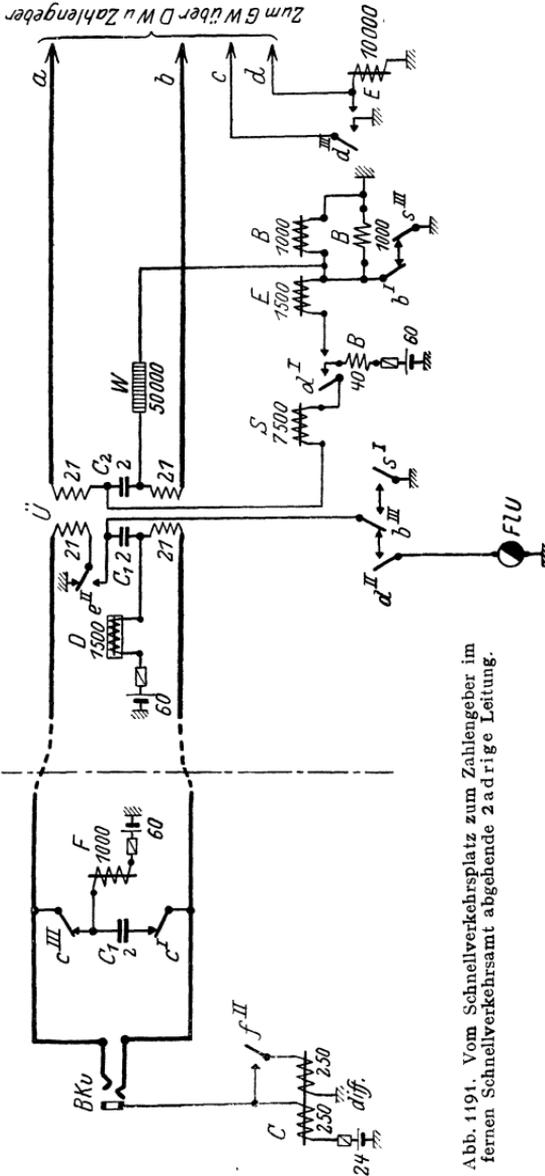


Abb. 1191. Vom Schnellverkehrsplatz zum Zahlengeber im fernen Schnellverkehrsamt abgehende 2 adrige Leitung.

Zu der in Abb. 1191 dargestellten Übertragungsschaltung ist folgendes zu bemerken. Jede Klinke *BKv* ist mit einer solchen Übertragungseinrichtung fest verbunden. Im fernen SV-Amt ist jeder Übertragung ein I. GW (in Schaltung eines II. GW) und ein DW fest zugeordnet. Der DW wird beim Einsetzen von *VS* in *BKv* angereizt, stellt sich auf einen freien Tastensatz eines ZG ein und bringt die zu dem Tastensatz gehörige Anruflampe zum Leuchten. Die ZG-Beamtin fragt ab und stellt die verlangte Nummer auf dem Tastensatz ein, womit ihre Tätigkeit beendet ist. Der ZG läuft nach Einstellung des Tastensatzes selbständig ab und entscheidet die der eingestellten Nummer entsprechenden Stromstoßreihen zum I. GW und über diesen hinweg zu den Wählern der übrigen Wählstufen (1863), (1864). Nach Abgabe der Stromstöße wird die Verbindung zwischen dem DW und dem ZG unterbrochen, der nunmehr für einen neuen Anruf frei wird.

Der I. GW entspricht in seiner Schaltung dem in Abb. 1137 dargestellten II. GW.

Da er jedoch mit dem DW durch eine 4 adrige Leitung verbunden ist, so erhält die Schaltung des Relais *C* des GW die in Abb. 1163 dargestellte Form. In Abb. 1137 ist also *C* durch Abb. 1163 überdeckt zu denken.

Der Zweck des Relais *F* auf der SV-Amtsseite der Übertragung 1191 ist, die Klinke *BKv* für den Fall besetzt zu machen, daß der GW im fernen SV-Amt infolge von Instandsetzungsarbeiten usw. außer Betrieb gesetzt (gesperrt) ist. *F* wird gesteuert durch die 10000- Ω -Wicklung des Relais *E*, das an der *d*-Leitung der von der Übertragung zum GW führenden vierdrähtigen Verbindung an Erde liegt. Die Wicklung steht (vgl. Abb. 1163 und 1137) dauernd unter Strom und ist aus dem Grunde so hochohmig gewählt, um den Stromverbrauch möglichst herabzusetzen. Der Kontakt *eII* (linke Übertragerseite) ist daher dauernd in Arbeitsstellung. Nur wenn der GW gesperrt ist, wird *E* infolge Fehlen des Kopfkontakts *k* stromlos; *eII* geht dann in die Ruhelage und legt + an den *a*-Zweig der Verbindungsleitung. *F* spricht an und schaltet die 2. Wicklung von *C* parallel zur 1. an die Hülsenleitung von *BKv*. Dadurch wird an der Hülse dasselbe Potential wie bei einer besetzten Klinke erzeugt. *C* selbst wird nicht erregt, weil es differential gewickelt ist; die Kontakte *cI* und *cIII* bleiben daher in der Ruhelage.

Die SV-Beamtin habe nun beim Prüfen festgestellt, daß die zu *BKv* gehörige Verbindungsleitung frei ist. Sie steckt *VS* in *BKv*. *D* auf der linken Übertragerseite wird über *S2* in der Schnur erregt, *SL2* leuchtet, wird aber durch die über *dII* an den *a*-Zweig angeschaltete Unterbrecherscheibe, die im Ruftakt + anschaltet, alle 10 s zum Erlöschen gebracht und gibt somit der SV-Beamtin ein optisches Freizeichen. Kontakt *dIII* belegt durch Anlegen von + an die *c*-Leitung den GW und schaltet durch unmittelbare Erdung *E* 10000 kurz. Damit *E* aber nicht stromlos wird und sein Kontakt *eII* in Arbeitsstellung bleibt, wird zur gleichen Zeit durch *dI* die 2. Wicklung von *E* (1500 Ω) unter Strom gesetzt; Relais *B* ist dabei über *bI* und *sIII* kurzgeschlossen. *dI* legt ferner Spannung an das zur Schlußzeichenübertragung dienende Relais *S* (Vorbereitungsstellung).

Inzwischen hat der DW die Leitung auf einen freien Tastenplatz geschaltet. Die ZG-Beamtin fragt ab und stellt die verlangte Nummer ein. Der ZG entsendet die Stromstöße über den GW und etwaige weitere GW höherer Ordnung zum LW. In Steuerschalterstellung 6 und 7 geht Ruf zum Tln. 2 ab und Tln. 1 erhält das akustische Freizeichen.

Beim Abnehmen des Hörers durch Tln. 2 (Steuerschalterstellung 8) wird über *Q750* Erde an den *a*-Zweig der rechten Übertragerseite gelegt, *S* in Abb. 1191 spricht an. Kontakt *sIII* hebt den Kurzschluß des Relais *B* auf, *B* wird (als Verzögerungsrelais nach Ansprechen von *S*) erregt und bleibt bis zur Trennung der Verbindung am SV-Platz — ebenso wie *D* und *E* 1500 — dauernd unter Strom.

Kontakt *bIII* schaltet die Unterbrecherscheibe *FLU* ab und im Verein mit Kontakt *sI* + an den *a*-Zweig zum SV-Amt an. In der Verbindungsschnur wird *S1* erregt, *SL2* erlischt; das Gespräch beginnt.

Hängt nach Beendigung des Gesprächs Tln. 1 den Hörer an, so wird der I. GW ausgelöst und die *c*-Ader in Abb. 1190 unterbrochen. *C* wird stromlos und sperrt durch Aufhebung seines Kontakts *cII* den Gleichstromweg für die am *b*-Zweig liegende Wicklung *F* 1000. *F* zieht daher unter der Einwirkung seiner 2., noch unter Strom stehenden Wicklung seinen Anker wieder an, ebenso *A*, das jetzt ebenfalls nur noch in seiner 2., am *a*-Zweig liegenden Wicklung erregt ist: *fII* isoliert *C* von der *c*-Ader, so daß der I. GW bis zur Trennung der Verbindung im SV-Amt nicht neu belegt werden kann, *aI* schließt *T900* kurz. *SL1* am SV-Platz leuchtet, da der Widerstand von *T* von 1000 auf 100 Ω gesunken ist.

Hängt Tln. 2 den Hörer an, so wird infolge Übergangs des Steuerschalters aus Stellung 8 nach *Q750* im LW und damit auch *S* in der Übertragung stromlos. Kontakt *sI* trennt die Erde vom *a*-Zweig rückwärts nach dem SV-Amt ab und bringt *S1* in der Verbindungsschnur zum Abfallen; *SL2* leuchtet, da *S2* über *D1500* von der Übertragung aus gehalten wird.

Nunmehr trennt auch die SV-Beamtin die Verbindung durch Herausnahme der Stöpsel; alle Relais und Wähler kehren in ihre Ruhelage zurück.

(1920) Verbindung vom SV-Amt über einen Zahlgeberplatz eines fernen SV-Amtes (2adrig) nach einem fremden Hand-Seitenamt. (Abb. 1186, 1191 und 1192.) Soll von dem ZG des fernen SV-Amtes aus eine Verbindung nach einem Hand-Seitenamt anstatt nach einem SA-Amt hergestellt werden, so bedarf es hierzu der Anschaltung einer Ausgangsübertragung nach Abb. 1192 (linke Seite) an den im vorigen Beispiel genannten GW. Der Zweck der Übertragung ist u. a.,

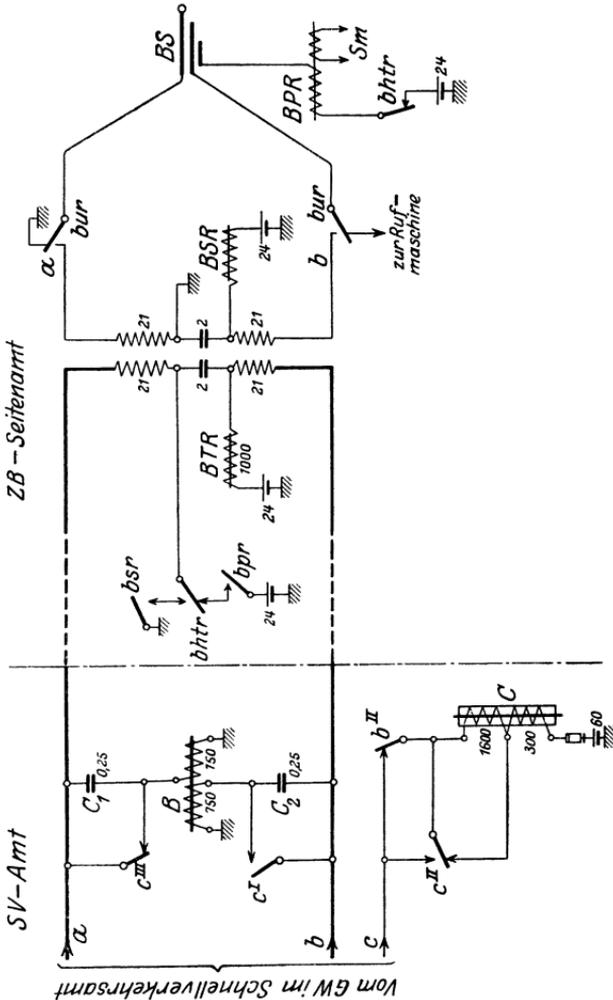


Abb. 1192. Ausgangsübertragung im Schnellverkehrsamt zum Hand-Seitenamt.

die zum Seitenamt führende Verbindungsleitung für die Zeit von der Trennung der Verbindung im SV-Amt bis zur Trennung im Handamt besetzt zu machen.

Der Gang bei der Herstellung der Verbindung ist der gleiche wie beim SA-Seitenamt. Sobald im ersten SV-Amt VS in die Klinke BKv der zum fernen SV-Amt führenden Verbindungsleitung eingeführt ist, wird dort der mit der Leitung fest verbundene GW über die Übertragung nach Abb. 1191 hinweg belegt und die Leitung in bekannter Weise auf den freien Tastensatz eines ZG-Platzes

geschaltet. Die ZG-Beamtin fragt ab und stellt den Tastensatz auf die Kennziffer des verlangten Seitenamts, etwa 5, ein. Der GW wird beim Ablauf des ZG auf den 5. Hörschritt gehoben, an dessen Ausgängen die zu dem betreffenden Seitenamt führenden Leitungen liegen, und stellt sich auf eine freie Leitung ein. Die Verbindungsleitung ist jetzt über die *a*- und *b*-Arme des GW und über die Übertragung Abb. 1192 hinweg mit dem SB-Platz des Handamts verbunden;

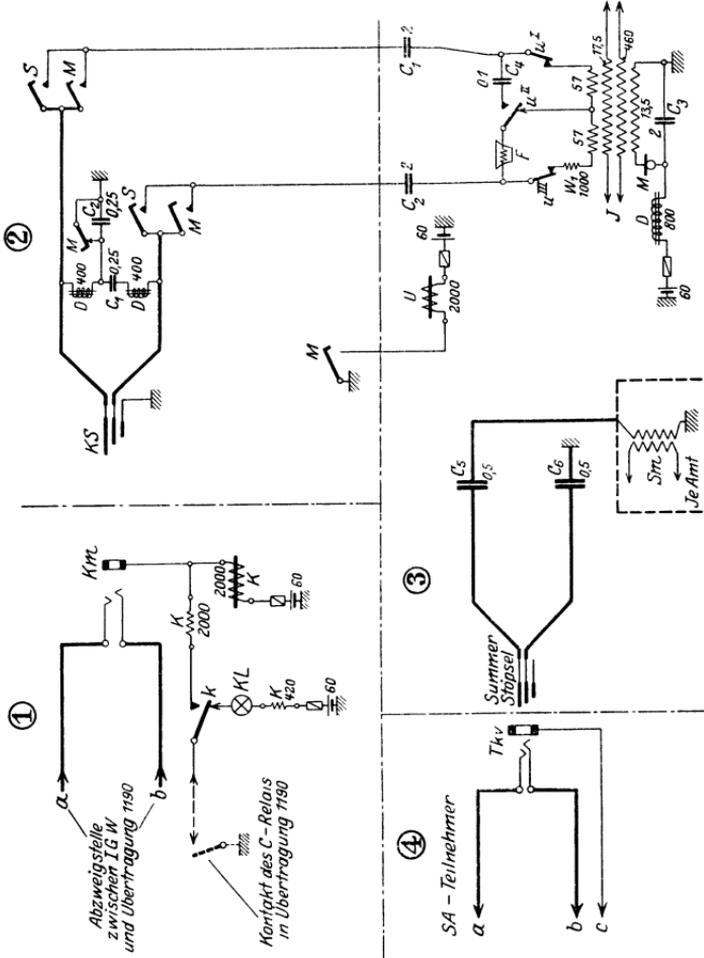


Abb. 1193. Schnellverkehrs-Kontrollstelle in einem SA-Seitenamt.

die Anruflampe leuchtet auf. Die Schaltung des SB-Platzes stimmt mit der in Abb. 1187 dargestellten und unter (1917) näher beschriebenen ziemlich genau überein. Die SB-Beamtin fragt ab, stellt die Verbindung mit dem Tln. 2 her und erhält, sobald das Gespräch beendet ist, nach vorausgegangener Trennung im SV-Amt das Schlußzeichen. Nunmehr tritt die Übertragung Abb. 1192 für die Besetztmachung in Tätigkeit. Solange BS (rechte Seite der Abb. 1192) noch in der Teilnehmerklinke steckt, wird über den Kontakt *bpr* des noch unter Strom stehenden Buchsenrelais *BPR* Spannung an den *a*-Zweig der Verbindungsleitung nach rückwärts gelegt. Da der GW infolge Trennung der Verbindung im SV-Amt

ausgelöst und *C* in der *c*-Leitung der Übertragung dadurch stromlos geworden ist, wird die rechte Wicklung des Relais *B* 750 über *cIII* erregt. Kontakt *bIII* trennt *C* von der *c*-Leitung und verhindert dadurch die Aufschaltung einer neuen Verbindung auf die Leitung. Erst nachdem die SB-Beamtin getrennt hat, wird *B* stromlos und die Leitung für eine neue Verbindung verwendungsfähig.

Die für ZB-Seitenämter eingerichtete Übertragung Abb. 1192 ist auch für OB-Seitenämter benutzbar, jedoch muß dann — an Stelle von + an die rechte Wicklung des Relais *B* gelegt werden. Anzuwenden ist die Übertragung in allen Fällen, wo *ZG* zur Herstellung von Verbindungen nach Hand-Seitenämtern verwendet werden, also auch bei Verbindungen nach eigenen Seitenämtern (Abb. 1184, Schaltbild 17).

(1921) Kontrollstelle in einem SA-Seitenamt. (Abb. 1193.) Nach den Ausführungen unter (1910, letzter Absatz) ist für die zur Kontrolle der richtigen Nummernansage zu schaffenden Einrichtungen auch in SA-Seitenämtern das Teilnehmervielfachfeld erforderlich. Außerdem wird, damit die Kontrollbeamtin erkennen kann, wenn ein SV-Gespräch durch einen Tln. angemeldet wird, von jeder Zubringerleitung hinter dem I. GW eine 3drähtige Abzweigung nach dem Kontrollplatz hergestellt (Abb. 1190 u. 1193, 1) und an eine Klinke (*Km*) und Lampe (*KL*) herangeführt. Die Lampe wird durch einen besonderen Kontakt (*cIV*) des in der *c*-Leitung des I. GW liegenden Relais *C* (1600 + 400) gesteuert (vgl. Abb. 1188 und 1190). Sobald ein I. GW eine Zubringerleitung belegt und damit das *C*-Relais unter Strom gesetzt hat, schaltet der besondere Kontakt dieses Relais die *KL* am Kontrollplatz an. Die Kontrollbeamtin führt darauf ihren Kontrollstöpsel *KS* (Abb. 1193, 2) in die zugehörige *Km*-Klinke ein, schaltet dadurch die *KL* über den Kontakt *k* des Buchsenrelais *K* ab und bringt den zum Kontrollstöpsel gehörenden Schalter in die Mithörstellung *M*. Relais *U* wird erregt, schaltet das Mikrofon ab und den Kopfhörer in Brücke zwischen beide Leitungsweige. Außerdem wird an den *a*-Zweig der Abzweigung + über *D*400 zum Festhalten des I. GW angelegt.

Die Beamtin wartet nun, bis der Tln. nach Meldung des SV-Amtes seine Nummer und die des gewünschten Tln. ansagt. Sie steckt dann sogleich den in (Abb. 1193, 3) dargestellten Summerstöpsel in die Vielfachklinke des Tln. (Abb. 1193, 4). Hört sie das Summergeräusch, das sich auch auf die Zubringerleitung überträgt, über ihren Kontrollstöpsel, so hatte der Tln. seine richtige Nummer genannt. Hört sie es nicht, so legt sie den Schalter in die Sprechstellung *S* um, teilt der SV-Beamtin den Sachverhalt mit und geht dann sogleich wieder in die Mithörstellung, um den I. GW zu halten, falls der Tln. versuchen sollte, sich durch Anhängen des Hörers weiteren Feststellungen zu entziehen. Alsdann veranlaßt sie die Nachforschung nach dem I. VW, der den festgehaltenen I. GW belegt hatte.

Die Kontrolle wird erschwert, wenn dem Tln. mehrere Amtsleitungen zur Verfügung stehen, weil dann der Summerstöpsel schnell nacheinander in die Vielfachklinken aller Amtsleitungen eingeführt werden muß.

Einrichtung der Fernsprechämter für Hand- und Selbstanschlußbetrieb.

(1922) Lage des Vermittlungsamts. Die Lage des Vermittlungsamts eine Fernsprechnetzes ist in der Regel durch die der Post- und Telegraphenanstalt gegeben, da, abgesehen von den größten Netzen, das Vermittlungsamt im Post- oder Telegraphenamtsgebäude untergebracht wird. Ist für ein solches Amt dagegen ein besonderes Gebäude zu errichten, so ist in erster Linie zu berücksichtigen, daß das Amt möglichst im Mittelpunkt des Amtsbereichs liegen soll, damit die Längen der Anschlußleitungen sowohl einzeln wie insgesamt so kurz wie möglich sind (geringste Dämpfung!). Für größere Netze ist ein in kürzeren Zeiträumen nach dem jeweiligen Stande der Sprechstellenzahl, dem Netzausbau und dem

Straßenausbau zu berichtiger Netzplan aufzustellen, der als Unterlage für die weitere Ausgestaltung des Kabelkanal- und Leitungsnetzes zu dienen hat, und der darüber Aufschluß gibt, in welchen Stadtgebieten künftig neue Vermittlungsämter zu errichten seien.

Das Fernamt (Vermittlung für den Fernverkehr) — in der Regel mit dem Ortsamt vereinigt — muß in großen Netzen mit mehreren Ortsämtern im Stadtinnern liegen, um die Verbindungsleitungen zwischen Fernamt und Ortsämtern möglichst kurz halten zu können.

(1923) Bauliche Anforderungen an die Gebäude für Fernsprechzwecke. Die zur Aufnahme von Vermittlungsämtern bestimmten Gebäude müssen in bezug auf Feuersicherheit den höchsten Anforderungen genügen. Bei der Neueinrichtung ist die Zahl und die Größe der Betriebsräume so zu bemessen, daß sie für die Lebensdauer der Amtseinrichtung, d. h. dem Bedürfnis für etwa 20 Jahre, genügen. Das Grundstück, auf dem ein neues Dienstgebäude für Fernsprechzwecke und gegebenenfalls gleichzeitig für Postdienstzwecke errichtet wird, soll die Möglichkeit eines Erweiterungsbaus bieten zur Aufnahme der technischen Amtseinrichtung von mindestens dem gleichen Umfang, den die zunächst unterzubringende am Ende ihrer Lebensdauer haben wird.

Die Räume sind in der Regel über 3 Geschosse zu verteilen, und zwar so, daß im Erdgeschoß der Verteilerraum — der bei ZB-Handämtern auch die Relais- und Zählergestelle aufzunehmen hat — und die Räume für die Dienststellen unterzubringen sind, die dem Verkehr mit dem Publikum dienen (Kasse, Anmeldestelle für Anschlüsse, Auskunftsstelle). Im 1. Obergeschoß sind der Betriebsraum (Ortssaal oder Wählersaal) und Verwalterräume (Vorsteher-, Amtszimmer, Rechnungsstelle, Apparatverwaltung) vorzusehen, gegebenenfalls auch Kleiderablagen, Erfrischungsraum. Das 2. Obergeschoß nimmt endlich das Fernamt und weitere Nebenräume auf oder, wenn das Fernamt sich auf einem anderen Grundstück befindet, Kleiderablagen, Erfrischungsräume und sonstige Nebenräume. Im Kellergeschoß werden die Kabelaufteilung, der Maschinen- und der Sammlerraum angeordnet, falls für diese Zwecke nicht Räume neben dem Betriebsaal oder neben dem Verteilerraum verfügbar sind.

Sind in dem zu errichtenden Gebäude auch Postdienststellen unterzubringen, so wird hierfür meist das Erdgeschoß in Frage kommen (Schalterhallen, Packkammern). Die Räume für Fernsprechzwecke verschieben sich dann um ein Stockwerk, so daß das Gebäude viergeschossig herzustellen ist, wenn nicht vorgezogen wird, dem Gebäude eine weitere Längenausdehnung zu geben.

Je nach der Größe des Gebäudes sind eine oder mehrere Treppenanlagen vorzusehen. Bei großen ZB-Handämtern soll ein Treppenhaus ein solches Ausmaß haben, daß die Umschalter bequem die Treppen hinaufbefördert werden können (Breite der Treppen 1,50 bis 2 m, Podeste 2 m Tiefe). Zweckmäßiger ist, im Treppenhaus zwischen den Treppenläufen Platz zu lassen und eine Aufzugvorrichtung mit Laufkatze im obersten Stockwerk einzubauen. Die freie Öffnung im Treppenhaus muß 2,60 × 1,50 m messen. Die Breite der Treppen kann dann 1,25 m betragen.

In SA-Ämtern ist für die Beförderung der Wählergestelle nach dem Wählersaal entweder möglichst auf der Hofseite eine Aufzugvorrichtung (Kran) oder im Treppenhaus ein Aufzug vorzusehen. In diesem Fall muß ein Raum von mindestens 2,70 × 1,50 m Grundfläche freigehalten werden, um den herum die Treppe anzuordnen ist. Wird an der Außenseite des Gebäudes ein Kran angebracht, so muß die Hofwand des Wählersaals eine Öffnung von 2,70 m Höhe und 1,80 m Breite erhalten, die als Tür ausgebildet werden kann, um bei Erweiterungen das Einbringen von Gestellen in den Saal zu ermöglichen.

Die Geschoßhöhe soll rund 3,50 m betragen, mit Ausnahme der des Fernsaals und bei ZB-Handämtern des Ortssaals. Für diese ist je nach ihrer Größe 4 bis 7 m erwünscht. Auf jeden Fall darf die lichte Höhe des Verteilerraums und des Wählersaals in SA-Ämtern, an etwa vorhandenen Unterzügen gemessen, nicht

geringer als 3,20 m sein. Stark gewölbte Decken sind in Ortssälen und besonders in Fernsälen wegen der ungünstigen Schallwirkung zu vermeiden. Am geeignetsten haben sich kassettierte Decken erwiesen.

Die Länge der Betriebsräume richtet sich nach dem Umfang der in ihnen unterzubringenden technischen Einrichtungen. Die Tiefe soll bei Ämtern kleinen und mittleren Umfangs etwa 6 m betragen. Betriebssäle für Ortsämter — ZB-Ämter —, für Fernämter und Wählersäle größeren Umfangs unter 10 m Tiefe müssen von Säulen tunlichst freibleiben. In Sälen von über 10 m Tiefe sind eine Säulenreihe oder zwei Säulenreihen zugelassen. In Fernsälen, in der Regel im obersten Stockwerk gelegen, lassen sich Säulenreihen meist ganz vermeiden. Verteiler und Relaisräume für ZB-Handämter erhalten eine Tiefe von 6 oder 8 m (normale Zimmertiefe + Breite des Flurs) möglichst ohne Säulen oder Mauerpfeiler. Der Abstand der in Orts-, Wähler- und gegebenenfalls Fernsälen anzuordnenden Säulenreihen ist auf 1,50 bis 2 m zu bemessen. Gegenseitiger Abstand der Säulen einer Reihe von einander tunlichst 5 oder 6 m, von Mitte zu Mitte gemessen.

Die Wände und Decken sind massiv auszuführen. Als besonders geeignet haben sich Steineisendecken und Kappendecken erwiesen wegen nachträglicher Anbringung von Öffnungen zum Durchführen von Kabelstämmen. Bei Eisenbetondecken müssen größere Durchbrüche schon während der Herstellung berücksichtigt werden. Die spätere Ausführung solcher Durchbruchstellen, auch kleinerer, beeinträchtigt leicht die Tragfähigkeit und ist schwieriger. Im obersten Stockwerk — Fernsaal oder u. U. Ortssaal in Handamtern — können leichte Decken am Dachgestühl angehängt werden.

Die gesamte Fensterfläche der Säle für Handämter und Fernämter soll etwa ein Fünftel bis ein Siebtel der Fußbodenfläche betragen. Die Fenster sollen in diesen Sälen in Höhe von rund 2,50 m über dem Fußboden beginnen, in Wählersälen in Höhe von 1,20 m. Unter ihnen sind zweckmäßig die Heizkörper anzuordnen.

Beim ersten Aufbau unbenutzte Teile der Säle können für Verwaltungszwecke benutzt werden. Sie sind gegebenenfalls durch leicht zerlegbare Wände, die sich später ohne wesentliche Staubentwicklung entfernen lassen, abzutrennen.

Die Fußböden, besonders die der Betriebsräume, müssen wenigstens bei größeren Ämtern fugenlos hergestellt werden. Am zweckmäßigsten ist ein Zementestrich mit Linoleumbelag (rund 3,5 mm). In kleineren Ämtern genügt Holzfußboden. Unter dem Fußbodenbelag darf kein hygroskopischer Baustoff liegen. Erhält das Fernamt eine Zettelrohrpostanlage, so sind Kanäle im Fußboden zur Führung der Rohre vorzusehen (lichte Höhe 15 bis 16 cm, Abdeckung der Kanäle durch aufnehmbare, etwa 3 cm starke Holzplatten in Eisenrahmen oder Riffeisenplatten mit Linoleumbelag).

Die Türen vom Verteilerraum nach den Treppenhäusern sind möglichst aus Eisen herzustellen. Die Türen im Ortssaal und im Fernsaal sollen in größeren Ämtern 1,80 m breit und 2,20 m hoch sein und nach außen aufschlagen. In Wählersälen muß mindestens die eine Tür, durch die die Wahlgestelle in den Saal gebracht werden, 1,50 m breit und 2,70 m hoch sein. Betriebssäle von über 30 m Länge müssen mindestens zwei Ausgänge erhalten, sofern die baupolizeilichen Bestimmungen dies nicht schon bei geringerer Raumlänge fordern.

Als Heizung ist Sammelheizung vorzusehen. Für die künstliche Beleuchtung kommt elektrische Beleuchtung in Frage. Eine künstliche Lüftungsanlage ist nur für solche Betriebssäle (Ortssaal, Fernsaal) erforderlich, in denen eine sehr große Zahl Personen gleichzeitig beschäftigt ist und auf eine Person weniger als 14 m³ Raum entfallen sollte.

Ortsfeste Entstaubungsanlagen sind nur bei den größten Vermittlungsämtern einzubauen; in der Regel genügen fahrbare Entstaubungseinrichtungen.

An geeigneten Stellen — vor allem auf den Gängen in der Nähe der Zugänge zu den Betriebssälen und dem Verteilerraum — sowie in den Treppenhäusern

sind Hydranten im Anschluß an die Wasserleitung anzubringen, um einen etwaigen Brand wirksam bekämpfen zu können. Die Schläuche müssen genügende Länge haben, Schlauchkupplungen müssen denen der Ortsfeuerwehr entsprechen.

(1924) Zahl und Größe der Räume. Die Zahl der Räume eines Vermittlungsamts richtet sich naturgemäß nach seinem Verkehrsumfang und nach der Art und dem Ausmaß seiner technischen Einrichtung.

a) Bei den Handämtern kleinsten Umfangs werden die Vermittlungseinrichtungen (Klappenschränke) im allgemeinen Postdienstzimmer untergebracht. Die kleinen SA-Ämter (Landzentralen) erfordern einen Raum von mindestens 12,58 m² (3,70 × 3,40 m) mit einem Fenster. Raumhöhe mindestens 2,50 m.

Mindest-Raumbedarf für ein OB-Amt mit Vielfachumschaltern OB 02/13.

a) 2	Vielfachumschalter,	1 Fernschrank:	14	m ²	} Aufstellung in einer Reihe. Breite des Zimmers: 3,5—3,75 m. Höhe des Zimmers: 4 m.	
b) 2	„	2 Fernschränke:	15,75	„		
c) 3	„	1 Fernschrank:	15,75	„		
d) 3	„	2 Fernschränke:	21	„		
e) 3	„	3	„	25		„
f) 4	„	2	„	25		„
g) 4	„	3	„	28	} Aufstellung in zwei Reihen. Breite des Zimmers: 6—6,25 m Höhe des Zimmers: 4 m.	
h) 4	„	4	„	32		„

Angenommen ist, daß sich der Hauptverteiler (Wandhauptverteiler) im Betriebsraum befindet.

i) 5	Vielfachumschalter, bis zu	4 Fernschränke:	35	m ²	} Aufstellung in zwei Reihen. Breite des Zimmers: 5,75—6 m. Höhe des Zimmers: 4 m.
k) 5	„	„ „ 6	„	46	
l) 10	„	„ „ 8	„	70	} Aufstellung in zwei Reihen parallel zur Fensterwand. Tiefe des Zimmers: 6 m. Höhe des Zimmers: 4 m.
m) 10	„	„ „ 10	„	80	

Für den Hauptverteiler ist ein besonderer Raum vorzusehen, in dem gegebenenfalls die Sammlerbatterie nebst Ladeeinrichtung mit untergebracht werden kann.

Zu i bis m: Bei einer Höhe des Zimmers über 4 m kann die Bodenfläche geringer sein.

b) Bei Vermittlungsanstalten mittleren und größeren Umfangs sind in der Regel folgende Räume vorzusehen, für deren Größe der Endausbau der technischen Einrichtung zugrunde zu legen ist:

A. Betriebsräume.

1. Raum für die Einführung und Aufteilung der Fernsprechananschlußkabel und gegebenenfalls der Fernleitungskabel.

2. Unter Umständen Raum für die Einführung und Aufteilung der großen Fernkabel.

3. Raum für die Einführung oberirdischer Anschluß- und Fernleitungen sowie für die Unterbringung der Sicherungsvorkehrungen (für die Anschlußleitungen: Grobsicherungen, für die Fernleitungen: Grobsicherungen und Luft-leerblitzableiter).

4. Verteilerraum und Relaisraum, möglichst gemeinsam für Orts- und Fernamt.

5. Raum für die Störungsstelle und die Prüfschränke, sofern diese nicht im Verteilerraum Platz finden.

6. Maschinenraum, in dem gegebenenfalls auch die Maschinen für eine Zettlerohrpostanlage und für das Verstärkeramt oder für Schnurverstärkersätze unterzubringen sind.

7. Raum für die Sammleranlage.

8. Bei Handämtern: der Betriebssaal für das Ortsamt; bei SA-Ämtern: der Wählersaal.

9. Gegebenenfalls der Betriebssaal für das Fernamt.

10. Gegebenenfalls der Betriebssaal für das Schnellverkehrsamt.

11. Gegebenenfalls in SA-Ämtern der Betriebsraum für den Fernvermittlungsverkehr.

B. Nebenräume.

1. Raum für die Apparatwerkstatt.

2. Raum für die Aufbewahrung von Apparaten (Apparatlager).

3. Aufenthaltsraum für die Störungssucher.

4. u. 5. Kleiderablagen für weibliches und männliches Personal.

6 u. 7. Erfrischungsräume für weibliches und männliches Personal.

8. Küche.

9. Krankenzimmer.

10. Gegebenenfalls bei großen Handamtern und Fernämtern: Aufenthaltsraum für weibliches Personal.

11 u. 12. Aborte und Waschräume für weibliches und männliches Personal.

13. Raum für die Betriebsüberwachung des Orts- und Fernamts.

14. Räume für Verwaltungszwecke (Zimmer für den Amtsvorsteher, Amtszimmer, Kassenzimmer, Auskunft- und Beschwerdestelle, Rechenstelle, technische Stelle, Zeichenstelle, Hausverwaltung, Verwaltung der Ausstattungsgegenstände und Amtsbedürfnisse, Räume für Unterrichts- und Lehrzwecke).

(1925) Lage der Betriebsräume, bauliche Anforderungen. Zu A. 1. und 2. Die Räume liegen im Kellergeschoß, und zwar zur Erzielung kürzester Kabelführung möglichst senkrecht unterhalb des Verteilerraums. Sie müssen hochwassersicher sein, Boden gemauert mit Zementestrich. Tiefe der Räume mindestens 2,50 m, wenn eine Reihe Gestelle zur Aufnahme der Kabelmuffen parallel zur Außenmauer aufgestellt wird, bei zwei Reihen Muffengestellen Tiefe 3,75 m, Höhe möglichst nicht unter 2,50 m. Die Länge der Räume richtet sich nach der Zahl der einzuführenden und aufzuteilenden Fernsprechkabel. Elektrische Beleuchtung.

Zu 3. Der Raum liegt im Dachgeschoß unterhalb des Abspanngestänges. Er muß so eingerichtet werden, daß eine an den Sicherungsvorkehrungen entstehende Flamme keine Nahrung findet (Vermeidung von Holzteilen, andernfalls Streichen mit Feuerschutzfarbe).

Zu 4. Der Verteilerraum soll sich möglichst im Erdgeschoß befinden, andernfalls unmittelbar unter oder neben dem Ortssaal oder dem Wählersaal in SA-Ämtern. Höhe — vom Fußboden bis zur Unterkante etwa vorhandener Unterzüge gemessen — mindestens 3,20 m. Tiefe des Verteilerraums bei ZB-Handämtern mindestens 6 m, bei SA-Ämtern 3,50 m. Angenommen ist dabei, daß bei den Handämtern die Regelaufstellung der Verteiler usw. Platz greift, d. h. parallel zur Fenstermauer der Hauptverteiler, dahinter der Zwischenverteiler, hinter diesem das vereinigte Anrufrelais- und Zählergestell, oder: Hauptverteiler, Relaisgestell, Zwischenverteiler. Werden getrennte Anrufrelais- und Zählergestelle errichtet, z. B. in Ericssonämtern oder in Westernämtern mit größerer Raumhöhe und infolgedessen höherem Ausbau der Verteiler, so hat die Raumtiefe 7,50 bis 8 m zu betragen. In SA-Ämtern nimmt der Verteilerraum in der Regel nur den Hauptverteiler, die Speisebrückengestelle und unter Umständen die Gestelle für die Relais der Fernvermittlungsplätze auf; daher ist eine geringere Raumtiefe

erforderlich. Bei einer solchen von 6 m lassen sich zwischen Fensterwand und Hauptverteiler noch die Prüfschränke usw. unterbringen.

Die Tragfähigkeit des Fußbodens richtet sich nach der beim Endausbau zu erwartenden Belastung durch die Gestelle nebst Zubehör und Kabeln. Verteilerräume für ZB-Handämter bis zu 10000 Anschlußleitungen bei einer Raumhöhe bis 3,50 m sind für eine Nutzlast von 700 kg/m², solche für SA-Ämter für 600 kg/m², bei einer Raumhöhe bis 4,50 m für 800 kg/m² herzurichten.

Befindet sich der Kabelaufteilungsraum unmittelbar unter dem Verteilerraum — günstigste Lage —, so daß die Aufteilungskabel von den Aufteilungsmuffen aus sofort an den Hauptverteiler emporgeführt werden können, so sind an jeder fünften Verteilerbucht im Fußboden Öffnungen für die Kabeldurchführung vorzusehen, z. B. bei Hauptverteilern mit 8 Sicherungsleisten übereinander für $5 \times 2 = 10$ hundertpaarige Kabel Öffnungen von rund 8×16 cm lichter Weite. Gegebenenfalls kann auch an jeder Verteilerbucht eine kleine Öffnung zum Durchführen der für jede Bucht erforderlichen Aufteilungskabel hergestellt werden.

Liegt der Verteilerraum dagegen in einem höheren Geschos, so daß die Aufteilungskabel in Einzelschächten vom Aufteilungs- zum Verteilerraum emporgeführt werden müssen, so ist längs der Sicherungsleistenseite des Hauptverteilers ein Kanal — am zweckmäßigsten vom Verteiler bis zur Fensterwand reichend — herzustellen. Er dient zur Führung der Aufteilungskabel von der Kabelaufführung nach den Verteilerbuchten. Die Tiefe des Kanals richtet sich nach der Zahl der übereinander zu lagernden Aufteilungskabel. In der Regel genügt eine lichte Kanaltiefe von 100 bis 150 mm. Die Höhe des Kabelstamms hängt seinerseits davon ab, wieviel Kabelaufführungen hergestellt werden können. Die Aufführungsschächte sollen möglichst flach in die Fensterpfeiler eingelassen werden. Ein Schacht von beispielsweise 120 mm Tiefe und 510 mm Breite nimmt 42 hundertpaarige, ein solcher von 240 mm Tiefe und 510 mm Breite 84 hundertpaarige Aufteilungskabel auf. Läßt sich ein Kanal im Fußboden nicht oder nur unter Aufwendung hoher Kosten anordnen, so kommt die Herstellung eines Doppelbodens — aus Eisenkonstruktionen mit Abdeckung durch Riffeisenplatten — in Frage.

Der Fußboden des Verteilerraums erhält bei neuen Ämtern einen Zementestrich mit Linoleumbelag. Wenn in einem bestehenden Gebäude ein Raum mit Holzfußboden als Verteilerraum Verwendung finden soll, z. B. bei kleineren Ämtern, braucht der Boden nicht verändert zu werden. Linoleumbelag empfiehlt sich aber auch in diesem Falle. Wände und Decken sind mit einem hellen Leimfarbenanstrich zu versehen. Die Wände sollen außerdem bis zu einer Höhe von 2 m mit heller Ölfarbe gestrichen werden.

Für das Anschließen von Gaslötlöfen zum Erhitzen der LötKolben ist eine Zahl von Gaszapfstellen vorzusehen. Außerdem sind in die zu verlegenden Starkstromleitungen — für Beleuchtungszwecke — längs der Wände und unter Umständen zwischen den Gestellreihen Steckdosen einzubauen, die das Einschalten von elektrischen Handlampen und LötKolben ermöglichen.

Bei kleineren SA-Ämtern kann der Hauptverteiler im Wählersaal Platz finden, so daß ein besonderer Verteilerraum nicht nötig ist.

Zu 5. Der Raum für die Prüfschränke und Störungsstelle soll sich unmittelbar neben dem Verteilerraum befinden. Er kann von diesem unter Umständen durch eine Glaswand abgeteilt werden. Die Bereitstellung des besonderen Raums erübrigt sich, wenn die Prüfschränke usw. im Verteilerraum selbst untergebracht werden (bisher übliche Anordnung in Handämtern).

Zu 6. Der Maschinenraum muß zur Kürzung der Leitungen bei Handämtern möglichst nahe dem Verteilerraum, bei SA-Ämtern in der Nähe des Wählersaals vorgesehen werden. Bei kleineren Ämtern können die Maschinen oder Gleichrichter sowie die Schalttafel im Verteilerraum Platz finden. Falls die Anordnung der Räume die Aufstellung der Maschinen in einem dem Verteiler- oder Wähler-

raum benachbarten Raum nicht zuläßt, kommt für die Stromerzeugungsanlage unter Umständen ein Kellerraum in Frage. Bedingung hierfür: Der Kellerraum muß durchaus trocken, hell und hochwasserfrei sein. Höhe des Maschinenraums möglichst nicht unter 2,50 m. Die Tragfähigkeit des Fußbodens muß mindestens 700 kg/m² betragen. In ihm sind Rinnen zur Aufnahme der Leitungen zwischen den Maschinen und der Schalttafel vorzusehen, die mit Riffeisenplatten abgedeckt werden; der übrige Fußboden wird mit Fliesen oder Linoleum auf Zementestrich belegt. Decke und Wände sind mit weißer Kalkfarbe zu streichen — gegebenenfalls Wände in Manneshöhe mit Fliesen belegen —, wenn sich der Maschinenraum im Keller befindet. Bei Unterbringung der Maschinenanlage in einem oberen Stockwerk erhält der Maschinenraum einen weißen Leimfarbenanstrich, die Wände bis zu 1,50 m Höhe hellen Ölfarbenanstrich. Die Größe des Maschinenraums beträgt für ein 10000-ZB- oder SA-Amt 35 bis 40 m².

Zu 7. Die Sammlerbatterien sind in einem Raum unmittelbar neben dem Maschinenraum aufzustellen, um die Zuleitungen zur Schalttafel zu kürzen. Bei den kleinen SA-Ämtern (Landzentralen) und bei SA-Ämtern bis zu 200 Anschlüssen beim Endausbau können die Batterien im Wählerraum untergebracht werden, bei kleinen OB-Handämtern unter Umständen im Verteilerraum, in dem alsdann auch die Ladeeinrichtung Platz findet. Die Sammler müssen in diesem Falle mit Gastrocknern versehen sein. Läßt sich ein unmittelbarer Zugang zum Sammlerraum vom Flur aus nicht schaffen, ist das Betreten vielmehr nur von einem anderen Raum aus möglich (z. B. vom Verteilerraum oder Wählersaal aus), so muß vor dem eigentlichen Batterieraum ein kleiner, etwa 1,25 × 1 m großer Vorraum, der niedriger sein kann, etwa 2 m hoch, hergerichtet werden, oder der Batterieraum erhält ungünstigenfalls eine Doppeltür. Diese Maßnahmen sind erforderlich, damit die sich beim Laden der Sammler entwickelnden Gase nicht in den Betriebsraum dringen. Höhe des Batterieraums mindestens 2,50 m. Sind zum Entlüften des Raums nicht genügend große und genügend zahlreiche Fenster vorhanden, so ist für einen künstlichen Abzug der Gase zu sorgen (Entlüftungskanal). Rohrleitungen im Batterieraum (Gas-, Wasserleitungs-, Heiz- und Kanalisationsrohre), ferner eiserne Träger und Säulen sind zu vermeiden. Tragfähigkeit des Fußbodens mindestens 1000 kg/m². Befindet sich der Sammlerraum im Keller, so ist der Fußboden mit einer Schicht hartgebrannter Ziegelsteine zu bedecken oder der Fußboden wird aus Zement mit Estrich hergestellt. Befindet sich der Sammlerraum in einem oberen Stockwerk, so erhält der Boden eine Betonschicht, auf die ein 25 bis 30 mm starker Asphaltbelag aufgebracht wird. Dieser soll an den Wänden 60 bis 100 mm emporgeführt werden. An den Stellen, wo die Füße der Batteriegestelle usw. zu stehen kommen, sind in die Betonschicht säurefeste Mettlacher Fliesen einzulassen, die etwa 50 mm über die Asphalttschicht hervorragen. Die Wände und die Decke des Sammlerraums sind mehrmals mit säurefester heller Farbe zu streichen, ebenso alle Holz- oder etwaige Metallteile. Elektrische Beleuchtung durch Glühlampen in besonderen Glasglocken; Fassungen der Lampen, Steckdosen, Schalter und Drahtzuführungen müssen säurefest ausgeführt sein. Heizung des Sammlerraums erübrigt sich, falls die Temperatur keinen ungewöhnlich niedrigen Grad erreichen kann. Größe des Sammlerraums für ein 10000-ZB- oder SA-Amt 40 bis 50 m², bei Pufferbetrieb 35 bis 40 m².

Zu 8. Die Tragfähigkeit des Fußbodens in Betriebssälen für große Handämter (ZB-Ämter) hat 600 kg/m² zu betragen, für kleinere bis 3000 Anschlüsse ist eine geringere Tragfähigkeit zugelassen, die im Einzelfalle unter Berücksichtigung der beim Endausbau zu erwartenden Belastung zu errechnen ist. Die Wände und Decken des Saals sind mit Mörtel abzuputzen.

Die Tragfähigkeit des Fußbodens in Wählersälen soll 600 kg/m² betragen. Werden SA-Ämter mittleren Umfangs in bestehenden Räumen eingerichtet, deren Boden für die zu erwartende Belastung nicht ausreicht und nicht durch Unterzüge oder Vermehrung der Balken verstärkt werden kann, so kann man die Gestelle weitläufiger aufstellen. Anstrich der Wände und Decken der Wähler-

säle mit heller Leimfarbe. Bis zu einer Höhe von 2 m erhalten die Wände und etwa vorhandene Pfeiler einen hellen Ölfarbenastrich.

Die Größe der Säle richtet sich nach dem Umfang der unterzubringenden technischen Einrichtung. Nachstehend einige Beispiele (die angegebenen Zahlen sind Mindestmaße).

ZB-Handämter:

a) ZB-Handamt für 1000 Anschlußleitungen beim Endausbau, Verwendung von Vielfachumschaltern ZB 10 oder ZB 24, einplätzig, durchschnittlich 200 Anrufzeichen am Arbeitsplatz, 1 Vorschalteplatz; im gleichen Raum ein Fernamt mit 7 Arbeitsplätzen, 1 Meldetisch, 1 Auskunftstisch, 1 Aufsichtstisch, Raumtiefe 6 m, Raumhöhe 4 m: Grundfläche rund 70 m²; bei 4,5 m Raumhöhe: 62 m².

b) Ein gleiches Amt für 3000 Anschlußleitungen, bis zu 25 Fernplätzen, aber mit 2 Meldetischen und 1 Auskunftstisch; Raumhöhe möglichst 5 m, Grundfläche 145 m².

c) Ein Ortssaal — Fernamt getrennt davon — für 5000 Anschlußleitungen, 1 Auskunftstisch, 1 Aufsichtstisch, Raumhöhe möglichst 5 m, Grundfläche 87 m², bei 4,50 m Raumhöhe, Grundfläche 97 m².

d) Ein gleicher Ortssaal für 10000 Anschlußleitungen, Raumhöhe 5 m, Raumtiefe 6,75 m: Grundfläche rund 165 m². Ist die Raumhöhe geringer als angegeben, muß für künstliche Entlüftung gesorgt werden.

Werden in den Ortssälen noch Umschalter für ankommenden Verbindungsleitungsverkehr untergebracht — insbesondere in Orten mit mehreren Vermittlungsanstalten —, so erhöht sich der Raumbedarf entsprechend.

Wählerräume (ohne Fernamt und ohne Fernvermittlungsplätze):

Endausbau für 200, 400, 600, 800, 1000 Anschlußleitungen,
Grundfläche 24, 32, 38, 48, 53 m² und 3,50 m Raumhöhe.

Angenommen ist, daß sich der Hauptverteiler, die Speisebrückengestelle, die Schalttafel und der Prüfschrank im Wählerraum befinden.

Wählerräume für größere SA-Ämter, Verteiler, Schalttafel usw. in besonderen Räumen:

Endausbau für 2000, 3000, 5000, 10000 Anschluß-
leitungen,
Grundfläche 90 . . . 95, 110 . . . 125, 162 . . . 180, 435 . . . 450/m².
Raumhöhe verschieden.

Angenommen ist hierbei die Verwendung von Heb-Drehwählern der bisherigen Bauart von Siemens & Halske (vgl. Ergänzungsheft 16 zur Apparatsbeschreibung). Beim Einbau von solchen Wählern der Automatischen Fernsprechanlagen-Baugesellschaft m. b. H. (Autofabag) verringert sich der Platzbedarf um etwa ein Achtel bis ein Zehntel.

Zu 9. Über die Herrichtung der Fernamtsräume gilt das unter 8. Gesagte. Einen Anhalt über die Größe der Räume gibt folgende Zusammenstellung:

Nr.	Zahl der Fernschranke	Aufnahmefähig für Fernleitungen rd.	Aufstellung der Fernschranke in Reihen	Melde- und Auskunftstische	Aufsichtstische	Zimmerhöhe mindestens m	Grundfläche m ²
1	5	15	1	— ¹⁾	—	4	18
2	10	25	1 in Bogen	1 + 1	1	4,50	45
3	50	125	2	5 + 1	1	5,50	168
4	100	250	4	10 + 2 ²⁾	2	6	320
5	200	500	4	— ³⁾	2	6	500

¹⁾ Gesprächsanmeldungen werden an einem Fernschrank aufgenommen.

²⁾ 1 Rohrpostverteiler und 1 Sammelstelle.

³⁾ Besonderes Meldeamt; 2 Rohrpostverteiler, 2 Sammelstellen.

Angenommen ist, daß Fernschränke — M 24, einplätzig — aufgestellt werden, ferner daß bei den Ämtern unter 1 bis 3 die Klinkenumschalter im Fernamt selbst, bei größeren Ämtern — wie bei Nr. 4 und 5 — im Verteilerraum Platz finden. In Ämtern bis zu etwa 100 Fernschänken gelangen die Melde- und Auskunftstische in der Regel im Fernamt selbst, in größeren Ämtern dagegen in einem besonderen Raum zur Aufstellung. Dieser soll wegen einfacher Zuführung der Gesprächsblätter zu der im Fernsaal befindlichen Rohrpostverteilerstelle möglichst im Geschoß unterhalb dieses Saals vorgesehen werden. Bei großen Fernämtern über 500 Fernleitungen empfiehlt sich die Einrichtung von zwei oder mehr Fernsälen, in denen im Höchstfall etwa je 200 Fernschränke aufzustellen sind.

Mindestgrundfläche für Meldeamtsräume: Melde- und Auskunftstische in einer Reihe bis 6 m Raumtiefe und 5,5 m Raumböhe: für 15 Tische: 78 m², für 20 Tische: 108 m².

Da die Raumbhöhe in der Regel geringer ist, muß für künstliche Lüftung gesorgt werden.

Bei kleineren Fernämtern braucht die Tragfähigkeit des Fußbodens nur 250 bis 400 kg/m² zu sein.

Zu 10. Räume für Schnellverkehrsämter haben den für Fernämter aufgestellten Grundsätzen zu entsprechen. Da in Schnellverkehrsämtern die Melde- und Auskunftstische entfallen, können Räume der unter 9, laufende Nr. 1 bis 4 angegebenen Grundfläche entsprechend mehr Schnellverkehrsschränke — M 24, einplätzig — aufnehmen. Bei kleineren Schnellverkehrsämtern werden die Umschalter für den Schnellverkehr gewöhnlich im Fernamtsraum mit untergebracht.

Zu 11. In Handämtern bilden die Fernvermittlungsplätze einen Teil des Ortsamts. In SA-Ämtern finden die Umschalter für den Fernvermittlungsverkehr im allgemeinen im Fernamtsraum Platz. Nur dann, wenn das Fernamt räumlich ungünstig zum Hauptverteiler des Ortsamts liegt, oder wenn das Fernamt sich nicht in dem Gebäude des SA-Amtes befindet, werden die Fernvermittlungsschränke in einem besonderen Raum untergebracht. Er muß möglichst unmittelbar neben, oberhalb oder unterhalb des Hauptverteilererraums zur Erzielung kürzester Kabelführung (Vielfachkabel für die Anschlußleitungen vom Hauptverteiler aus!) vorgesehen werden. Bei einer Raumbhöhe von normal 3,50 m genügt eine Grundfläche von 20 m² für ein 10000-SA-Amt (2 Vielfachumschalter ZB 11 B).

Sind bei einem SA-Amt Zahlengebertische (Abfrageplätze) für den Verkehr von einem Handamt oder dem Schnellverkehrsamt aufzustellen, so finden sie in demselben Raume wie die Fernvermittlungsschränke Platz. Der Raum ist nach der Zahl der Tische entsprechend größer zu bemessen.

(1926) Lage und Größe der Nebenräume. Zu B 1. Die Apparaturwerkstatt soll sich bei ZB-Handämtern möglichst in der Nähe des Verteilererraums befinden, bei SA-Ämtern nahe dem Wählersaal. Die Größe des Raums richtet sich nach der Zahl der gleichzeitig in ihm tätigen Werkführer. Für ein 10000-Handamt (einschließlich Fernamt) sind etwa 4 Kräfte nötig; Raumbedarf rund 48 m². In SA-Ämtern mit wesentlich größerem Bedarf an technischem Personal — beispielsweise für ein 10000-Amt ohne Fernamt etwa 1 Oberwerkmeister und 8 bis 10 Werkführer — ist ein Raum von rund 60 m² vorzusehen; ein Teil dieses Personals wird dauernd im Wählersaal beschäftigt sein. Der Raum muß günstige Belichtung haben.

Bei großen ZB-Handämtern empfiehlt es sich, neben der Apparaturwerkstatt einen Raum von etwa 15 bis 20 m² für das Personal vorzusehen, dem die Instandsetzung der Schnüre, das Reinigen der Apparate usw. obliegt. Bei SA-Ämtern kann ein ähnlicher Raum für die Hilfskräfte und Apparatreiniger bereit gestellt werden.

Zu 2. Als Apparatlager, insbesondere für die Aufbewahrung von Sprechstellenapparaten, genügt ein minderwertiger Raum, z. B. im Dachgeschoß. Größe nach Bedarf.

Zu 3. Als Aufenthaltsraum für die Störungssucher ist ein Raum möglichst neben dem Verteilerraum oder der Störungsstelle vorzusehen, damit die Prüfbeamten die Störungssucher stets zur Hand haben. Größe des Raums bei einem 10000-Amt etwa 18 bis 20 m².

Zu 4 und 5. Als Kleiderablagen lassen sich weniger gut belichtete und niedrigere Räume, z. B. im Dachgeschoß, einrichten, Höhe nicht unter 2,20 m. Die Kleiderschränke, für eine oder für zwei Personen gemeinsam, werden in Reihen senkrecht zur Fensterwand mit genügend breiten Gängen aufgestellt. Zweckmäßig ist die Benutzung von Schränken aus Eisenblech mit gemeinsamer Rückwand und gegebenenfalls auch Seitenwänden. Auf den Kopf des Personals ist mindestens 0,5 m² Fläche zu rechnen. Wird von sogenannten Theatergarderoben Gebrauch gemacht (offene Aufhängung der Kleidungsstücke an Gestellen unter dauernder Bewachung), so ist der halbe Raumbedarf zu veranschlagen. — Die Kleiderablagen müssen von den Betriebsräumen leicht erreichbar sein und möglichst nahe den Treppenhäusern liegen.

Zu 6., 7. und 8. Die Erfrischungsräume — wenn zugänglich in der Nähe der Kleiderablagen gelegen — beanspruchen etwa ein Drittel des Raums der Kleiderablagen (rund 0,2 m² auf den Kopf des Gesamtpersonals). Zwischen dem Erfrischungsräum des weiblichen und dem des männlichen Personals soll die Küche angeordnet werden, so daß die Bedienung nach beiden Seiten möglich ist. Bei kleineren Ämtern können Kochgelegenheiten in den Erfrischungsräumen angebracht werden.

Zu 9. Das Krankenzimmer muß nahe den Betriebsräumen (Ortssaal, Fernsaal) liegen. Größe etwa 20 bis 30 m² bei großen Ämtern. Es ist mit Wasserleitung und Abfluß zu versehen. Ausstattung mit 1 oder 2 Ruhebetten.

Zu 10. Der Aufenthaltsraum — nur bei großen Ämtern mit zahlreichem weiblichen Personal — soll dem Aufenthalt während kürzerer Dienstpausen oder der Erholung nach dem Verlassen des Erfrischungsräume dienen. Größe für ein 10000-Handamt oder ein größeres Fernamt etwa 30 bis 40 m².

Zu 11. Für je 15 bis 20 gleichzeitig im Dienste befindliche Beamtinnen ist 1 Abort und 1 Waschbecken zu veranschlagen; Platzbedarf hierfür rund 4 m².

Zu 12. Für je 25 gleichzeitig im Dienste befindliche Beamte 1 Abort, für je 40 ein Pissoir.

Zu 13. Der Raum für die Betriebsüberwachung — etwa 12 bis 20 m² groß, je nach dem Umfang des Fernamts und gegebenenfalls des ZB-Ortsamts — soll nicht allzuweit vom Verteilerraum vorgesehen werden.

Zu 14. Die Lage und Größe dieser Räume richtet sich nach dem Umfang des Betriebs sowie der technischen Einrichtung des Amts und ist von Fall zu Fall zu ermitteln.

Anordnung der technischen Einrichtung in Orts-, Wähler- und Fernsälen.

(1928) **Aufstellung der Umschalter in Ortsämtern für Handbetrieb.** a) OB-Ämter: Bei Aufstellung von Klappenschränken Abstand zwischen Wand und Schrank 0,60 m. Falls wegen Raummangels der Klappenschrank dicht bis an die Wand gerückt werden muß, sind die Zuführungskabel vom Sicherungsschrank so zu bemessen, daß der Klappenschrank um rund 0,60 m vorgezogen werden kann, um das Arbeiten von der Rückseite aus zu ermöglichen. Aufstellung so, daß das Tageslicht von links kommt.

Vielfachumschalter OB 02/13 sind bei geringerer Zahl (bis 6) rechtwinklig zur Fensterwand (Licht möglichst von links) in einem Abstand von mindestens 0,60 m von der Seitenwand des Raums aufzustellen. Kabeleinführung von links in einem 0,30 m breiten Kabelkasten, dessen Abstand von der Fensterwand nicht unter 0,40 m zu betragen hat. Ist zwischen der Umschalterreihe und der Seitenwand des Raums ein kleiner Hauptverteiler M 18 (Wandhauptverteiler) unter-

(1927) Abmessungen der Umschalter, Fernschränke, Tische, Wählergestelle usw.

Lfd. Nr.	Bezeichnung der Apparate usw.	Breite mm	Tiefe mm	Höhe mm	Bemerkungen
1	Klappenschrank OB 99	600	560	1405	
2	Klappenschrank OB 14	600	555	1405	
3	Vielfachumschalter OB 02/13	610	805	1546	
4	Vielfachumschalter ZB 10 — Einheitsschrank 24	660	930 ¹⁾	1480	1) Wenn Einheitsschrank 24 als Fernschrank verwendet, Tiefe: 1062 mm.
5	Vielfachumschalter ZB 11 V oder ZB 11 B . . .	1800	1060 ²⁾	2200	2) In Höhe des Stöpselbrettes.
6	Fernschrank OB 05	600	750	1252	
7	Fernschrank ZB 10 (2-plätzig)	1273,5	1020	1400	
8	Prüfschrank ZB	1636	720	1250	
9	Prüfschrank SA 15	1650	850	1430	
10	Melde-, Auskunfts-, Störungsmeldetisch	760	950	800 ³⁾	3) Höhe der Tischplatte.
11	Klinkenumschalter M 14	690 ⁴⁾	930	1480	4) Einschl. Abschlusswände.
12	Klinkenumschalter M 24 (kl. Form)	466	230	530	
13	Tastentisch (2-plätzig, 2 Tastensätze f. d. Platz)	660	1100	850	
14	Zahlengertisch	1670	820	1140	
15	Kabelschranke für OB-Vielfachumschalter . . .	300	450	1546	
16	Kabelschrank für Vielfachumschalter ZB 10/24	600	520	1480	
17	Kabelschrank für Vielfachumschalter ZB 11 . . .	800 ⁵⁾	650	2200	5) Bei bis 6000 Anschl. Ltgn.
18	Wählergestell für ein kleines SA-Amt (100-Amt), bis 50 VW und 5 LW	1000 ⁶⁾	250	2200	6) Bei über 6000 Anschl. Ltgn.

19	I. Vorwählergestell, 100 I. VW, 100 Gespr.-Zähler	1050	250	2170 ⁷⁾	<p>7) Dazu 200 mm für den Kabelrost. Gestellbreiten einschl. der Füße. Höhe der Füße 320 mm, in Ausnahmefällen 95 mm. Für seitlich hervorste- hende Füße ist ein Zu- schlag von 75 mm zuzu- zählen.</p> <p>8) Siemens & Halske A.-G.</p> <p>9) Automatische Fernsprech- Anlagen - Baugesellschaft m. b. H.</p>
20	II. Vorwählergestell, 80 II. VW, 15 Schritte . . .	1050	250	2170	
21	I. Gruppenwähler- u. Dienstwählergestell (S & H) ⁸⁾ , 3 × 10 GW oder 2 × 10 GW und 2 × 10 DW	1590	250	2170	
22	I. Gruppenwählergestell (Autofabag) ⁹⁾ , 4 × 10 GW	1590	250	2170	
23	II. (III./IV.) Gruppenwählergestell (S & H), 4 × 10 GW	1590	250	2170	
24	II. (III./IV.) Gruppenwählergestell (Autofabag), 5 × 10 GW	1590	250	2170	
25	Leitungs- u. Gruppenwählergestell { 1 Rahmen GW (S & H) { 2 „ LW	1590 (10LW) 1830 (12 „) 2245 (15 „)	250	2170	
26	Leitungswählergestell (Autofabag), 3 Rahmen LW	1590 (10LW) 1830 (12 „) 2245 (15 „)	250	2170	
27	Dienstwählergestell, 50 DW, 25 Schritte	1050	250	2170	
28	Mischwählergestell, 60 MW, 25 Schritte	1050	250	2170	
29	Stromstoßübertragergestell f. Hilfsämter, 80 Ü	1590	250	2170	
30	Stromstoßübertragergestell f. Hilfsämter, 40 Ü	900	250	2170	
31	Hauptverteiler M 09	Je nach Länge des Verteilers 750—1000		Gegenseitiger Abstand der wagerechten Haltearme 340	
32	Kleiner Hauptverteiler M 24 (freistehender), 4 Abteilungen	Jede Bucht 180		2100	
33	Kleiner Hauptverteiler M 18 (Wandverteiler) 2. Abt. Sicherungsleisten, 2. Abt. Lötösen- streifen	350		1700	
34	Kleiner Hauptverteiler M 24 (Wandverteiler), 3. Abt. Sicherungsleisten, 3. Abt. Lötösenstreifen	350		2100	

Höhe, d. h. Anzahl der Ab-
teilungen verschieden
nach der Raumhöhe.

Lfd. Nr.	Bezeichnung der Apparate usw.	Breite mm	Tiefe mm	Höhe mm	Bemerkungen
35	Zwischenverteiler f. ZB- und Fernämter . . .	Jede Bucht 180	750—1000	Abstand der einzelnen Ab- teilungen 300	Höhe verschieden nach der Raumhöhe.
36	Zwischenverteiler in SA-Ämtern senkrecht 10×10, wagrecht 10×7 Lötösenstreifen	1455	395	2170	
37	Zwischenverteiler in SA-Ämtern senkrecht 5×10, wagrecht 10×3 Lötösenstreifen	790	395	2170	
38	Speisebrückengestell neuer Form, jede Schiene für 10 Speisebrücken	450	350 ¹⁰⁾	2610:20 } Schie- 3125:25 } nen 3640:30 }	10) Einschl. der Kabelhalter.
39	Gestell für Anruf- und Trennrelais in Western- ämtern, jede Schiene 10 Sätze	450	200 ¹⁰⁾	Verschieden nach den örtl. Verhältnissen	} Unter Umständen ver- einigtes Gestell.
40	Gesprächszählergestell, jede Schiene 10 Zähler .	450	300		
41	Relaisgestell für Fernvermittlungsplätze (40 Lei- tungen)	450	200	2490	
42	Relaisgestell für Fernleitungen (85 Leitungen)	450	200	2400	
43	Sicherungsgestell für 20 Schienen zu je 10 Siche- rungen	450	150	2400	
44	Ringübertragergestell für 80 Übertrager	668	200	2000	
45	Ruf- und Signalmaschinengestell für SA-Ämter	1590	500	2490	
46	Leistungszählergestell für 100 Zähler und 100 Mit- hörklinken	450	300	550	
47	Rohrpostverteiltisch für 7×7 Druckluftsender	1260	950	800	
48	Rohrpostsammlertisch für 4 Saugluftempfänger .	760	950	800	

gebracht, so müssen die Umschalter mindestens 1 m Abstand von der Seitenwand haben.

Bei einer größeren Zahl von Vielfachumschaltern OB 02/13 empfiehlt sich die Aufstellung mit dem Rücken der Umschalter nach der Fensterwand zu. Abstand 0,70 m; sind Heizkörper an dieser Wand vorhanden: 0,85 m. Zur Erzielung möglichst kurzer Zuführungskabel vom Hauptverteiler bis zu den Umschaltern beginnt die Umschalterreihe in der Regel an der einen Seitenwand des Raums und wird im Bogen nach der Fensterwand zu fortgesetzt. Zwei oder drei Umschalter sind im Bogen aufzustellen, Winkel zwischen den einzelnen Umschaltern 30° oder $22\frac{1}{2}^\circ$. Gegebenenfalls kann die Reihe mit einem zweiten Bogen nach der andern Seitenwand erweitert werden (Abb. 1194).

In kleinen OB-Ämtern (bis zu 100 Anschlüssen) werden die Sicherungsvorkehrungen für Anschluß- und Fernleitungen in Sicherungsschränken vereinigt, die unter Umständen im Betriebsraum an der Wand anzubringen sind. Größe der Sicherungsschränke (M 12)

für je 25 oder 50 Leitungen: 1 m lang, 0,55 m breit und 0,35 m tief bzw. 1 m lang, 1 m breit, 0,35 m tief. Die Schränke sind mit einer Verteilereinrichtung ausgerüstet. Mittlere und größere Vermittlungsanstalten OB erhalten besondere Verteiler, und zwar mittlere Anstalten kleine Hauptverteiler M 18 oder M 24 (Wandhauptverteiler), die an der Wand, gegebenenfalls im Betriebsraum hinter den Vielfachumschaltern Platz finden. Abmessungen vgl. (1927).

In größeren Vermittlungsanstalten sind freistehende Hauptverteiler M 09 oder M 24 in Gebrauch. Abmessungen vgl. (1927).

b) ZB-Ämter. Ausrüstung der kleinen bis 3000 Anschlußleitungen Aufnahme-fähigkeit mit Vielfachumschalter ZB 10 oder ZB 24 (gleiche Abmessungen wie ZB 10). Aufstellung der Umschalter parallel zur Fensterwand in 0,70 m, oder, wenn an dieser Heizkörper vorhanden sind, in 0,85 m Abstand. Gegebenenfalls Anfang der Umschalterreihe an der Seitenwand des Raums mit einem Kabelkasten von 0,60 m Breite. Dieser und die folgenden Umschalter in gerade Linie müssen mindestens 0,60 m Abstand von der Wand haben; in Bogen sind 2 oder 3 Umschalter aufzustellen, Winkel zwischen den einzelnen Umschaltern 30° bzw. $22\frac{1}{2}^\circ$.

Werden für die Abwicklung des Fernverkehrs keine besonderen Fernschränke verwendet, wird der Fernverkehr vielmehr am Vielfachumschalter ZB 10 bzw. ZB 24 mit Fernplatzschaltung abgewickelt — das Teilnehmervielfachfeld führt durch diese Arbeitsplätze hindurch, in diesem Fall Fernvermittlungsplatz entbehrlich —, so gelangen die Umschalter für den Ortsverkehr und die für den Fernverkehr in einer Reihe nebeneinander zur Aufstellung (vgl. Abb. 1195). Gegebenenfalls ist die Schrankreihe im Bogen nach der dem Anfang gegenüberliegenden Seitenwand und in einem weiteren Bogen nach der der Fensterwand gegenüberliegenden Wand weiterzuführen. Unter Umständen Aufstellung auch in zwei parallelen Reihen, Zuführung von zwei Vielfachkabelstämmen vom Zwischen-

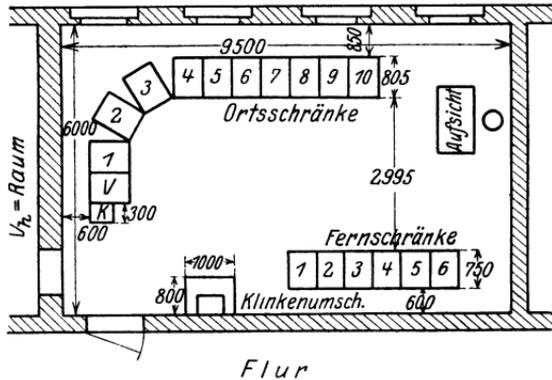


Abb. 1194. Aufstellung der Umschalter in mittleren Ämtern.

verteiler oder je eines Stamms vom Hauptverteiler und vom Zwischenverteiler, sofern nicht ein vereinigter Haupt- und Zwischenverteiler verwendet wird, wie in Abb. 1196 angenommen ist. Aufstellung in zwei

Reihen auch dann empfehlenswert, wenn getrennte Orts-Vielfachumschalter mit Fernvermittlungsort mit Fernvermittlungsort und reine Fernschränke (ohne Teilnehmervielfachfeld) Verwendung finden.

ZB-Handämter mit einer Endaufnahmefähigkeit von über 3000 Anschlußleitungen erhalten Vielfachumschalter ZB 11 V. Aufstellung je nach den örtlichen Verhältnissen und der Größe des Amtes in ein bis vier Reihen. Kabelschrank bei Ämtern bis zu 6000 Anschlüssen 0,80 m, bis zu 10 000 Anschlüssen 1 m breit. Abstand der Schränke von der Seitenwand mindestens 0,80 m (vgl. Abb. 1197). Wenn in breiten Sälen Türen an den Stirnseiten vorhanden sind, werden in der Regel die längs der Fenstermauern aufzustellenden beiden Schrankreihen an der einen Seitenwand in Bogenform herumgeführt — je 2 oder 3 Schränke im Winkel — und die längs der Seitenwand aufzustellende Reihe in der Mitte unterbrochen, um den Ausgang (1,50 bis 2 m) freizulassen. Überführung des Vielfachkabelstamms und gegebenenfalls der Abfragekabel im Saale selbst in Jochform. Über die Mindestabstände der Schrankreihen von den Wänden und die gegenseitigen Abstände der Reihen voneinander ergibt die Übersicht auf S. 847 das Nähere.

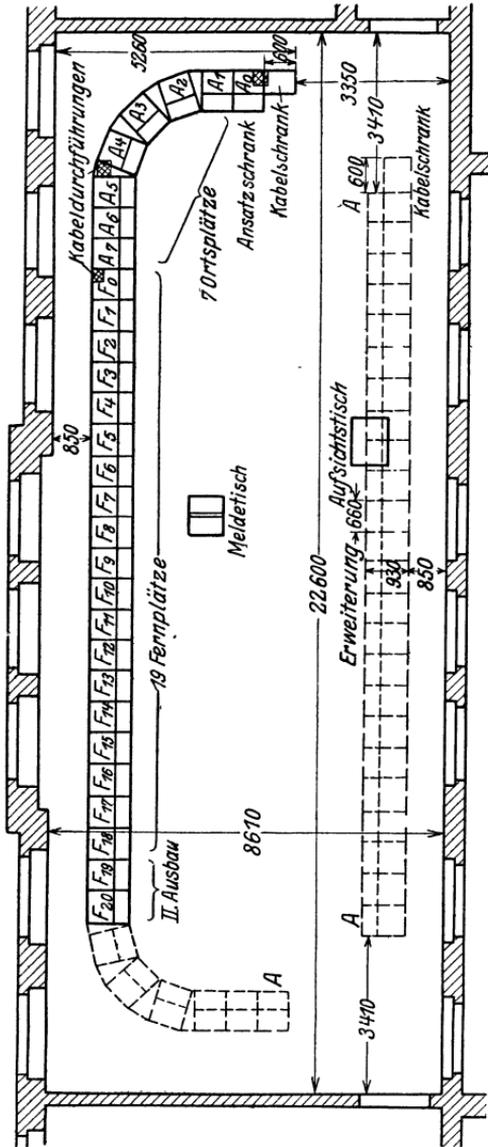


Abb. 1195. Aufstellung der Umschalter in größeren Ämtern.

In kürzeren Sälen können die Maße noch um einiges vermindert werden, und zwar der gegenseitige Abstand der Schrankreihen von 3,20 m auf 3 m bzw. von 0,70 auf 0,60 m.

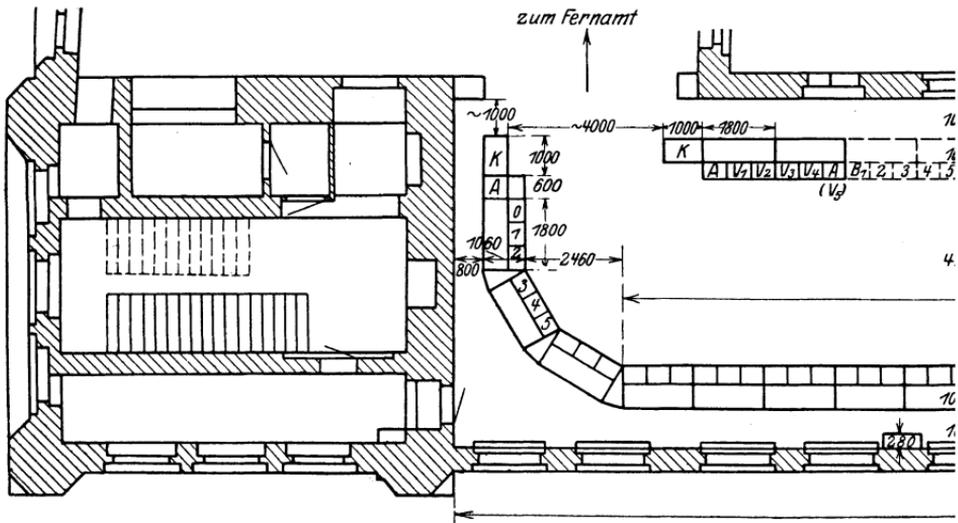
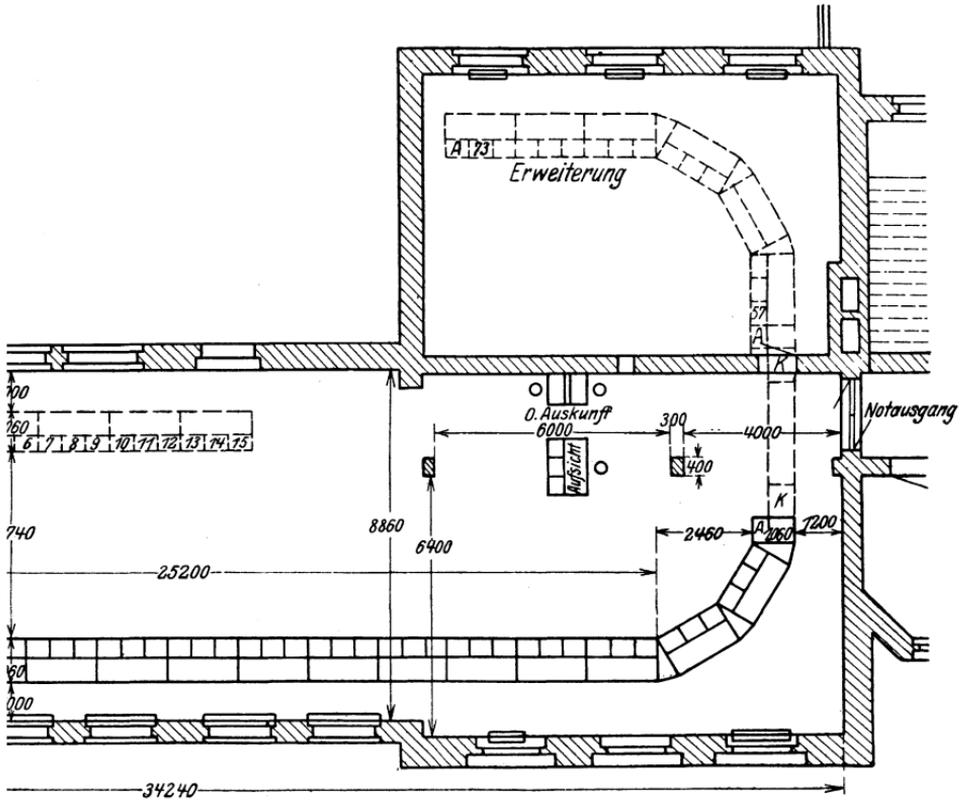


Abb. 1197. Aufstellung der U₁



nschalter in großen Ämtern.

Wenn in Ausnahmefällen ein Saal von 15,50 bis 16 m Breite zur Verfügung steht, so lassen sich in ihm fünf Schrankreihen unterbringen.

Sind in einem ZB-Handamt außer den Arbeitsplätzen für den Verkehr innerhalb seines Versorgungsbereichs auch noch solche für den von anderen Ortsämtern oder von Schnellverkehrsämtern ankommenden Verbindungsleitungsverkehr (B-Plätze) einzurichten, so werden hierfür Vielfachumschalter ZB 11 V mit 9 teilig gestelltem Vielfachfeld verwendet, wenn es sich nur um eine geringe Zahl solcher Plätze handelt. Andernfalls benutzt man Vielfachumschalter ZB 11 B für den ankommenden Verbindungsleitungsverkehr, und stellt diese, da das Teilnehmervielfachfeld ein 6 teiliges ist, gesondert von den Vielfachumschaltern ZB 11 V auf. Das gleiche tritt ein, falls ausnahmsweise auch der innere Verkehr über B-Plätze abgewickelt wird, so daß die Vielfachumschalter ZB 11 V nur Abfrageplätze (A-Plätze) enthalten. In der Regel bilden die B-Plätze — in Western-

	Heizkörper an den Fenster- wänden		Heizkörper an den Fenster- wänden		Heizkörper an den Fenster- wänden		Bemerkungen
	vor- handen	nicht vor- handen	vor- handen	nicht vor- handen	vor- handen	nicht vor- handen	
Zahl der Reihen . . .	2	2	3	3	4	4	—
Abstand Fenster- wand — Reihe I.	0,85	0,70	2,05	1,90	0,85	0,70	—
Abstand Reihe I—II	3,20	3,20	0,70	0,70	3,20	3,20	—
Abstand Reihe II—III	—	—	3,20	3,20	0,70	0,70	—
Abstand Reihe III—IV	—	—	—	—	3,20	3,20	—
Abstand Reihe IV — Fensterwand . . .	—	—	—	—	0,85	0,70	—
Abstand Reihe III — Fensterwand oder Flurwand	—	—	0,85	0,70	—	—	—
Abstand Reihe II — Flurwand	0,70	0,70	—	—	—	—	—
Breite jeder Schrank- reihe 1,06 m, mit- hin insgesamt . . .	2,12	2,12	3,18	3,18	4,24	4,24	Breite der Umschalter in Höhe des Stöpselbretts gemessen
Demnach erforder- liche Saalbreite . .	6,87	6,72	9,98	9,68	13,04	12,74	

ämtern zusammen mit den Vorschalteplätzen, die aus Rücksicht auf eine bequemere Bedienung dann ebenfalls in Vielfachumschaltern ZB 11 B eingerichtet werden — eine oder zwei besondere Reihen. Sie gelangen meist in der Mitte des Saals zur Aufstellung (vgl. Abb. 1198).

(1929) Aufstellung der Wählergestelle usw. in SA-Ämtern. Die Wählergestelle sind im allgemeinen rechtwinklig zur Fensterwand aufzustellen, so daß sie das meiste Licht erhalten.

a) Kleine SA-Ämter (bis zu 100 Anschlüssen). Aufgestellt werden ein oder zwei Wählergestelle, jedes mit 5 Rahmen zu 10 Vorwählern und bis zu 5 Leitungswählern (nach Bedarf) (vgl. Abb. 1199), ferner ein kleiner Hauptverteiler M 18, wenn nicht Sicherungsschränke verwendet werden, eine Ladeschalttafel, gegebenenfalls mit Gleichrichter, und zwei Batteriegestelle für je 30 Sammler. An der Wand sind anzubringen: Neben dem Hauptverteiler ein kleiner Prüfschrank SA 15, ein oder gegebenenfalls mehrere Speisebrückenrahmen zu je 10 Speise-

brücken (für Nebenstellenspeisung) sowie ein Rahmen zur Aufnahme bis zu 10 Schienen mit je 10 Gesprächszählern. Der zur Erzeugung des Rufstroms erforderliche Polwechsler wird in der Nähe der Ladeschalttafel untergebracht.

b) Mittlere SA-Ämter (bis zu 1000 Anschlüssen). Die Vorwählergestelle und Leitungswählergestelle werden zu Gestellreihen in der Weise vereinigt, daß möglichst immer zwei Vorwählergestelle und ein Leitungswählergestell — bei Verwendung von S & H-Leitungswählern — und drei Vorwählergestelle und ein Leitungswählergestell — bei Verwendung von Leitungswählern der Autofabag — zusammenstehen. Jedes Vorwählergestell umfaßt 5 Doppelrahmen zu je 20 Vorwählern, während ein Leitungswählergestell von S & H 2 Rahmen mit 10 Lei-

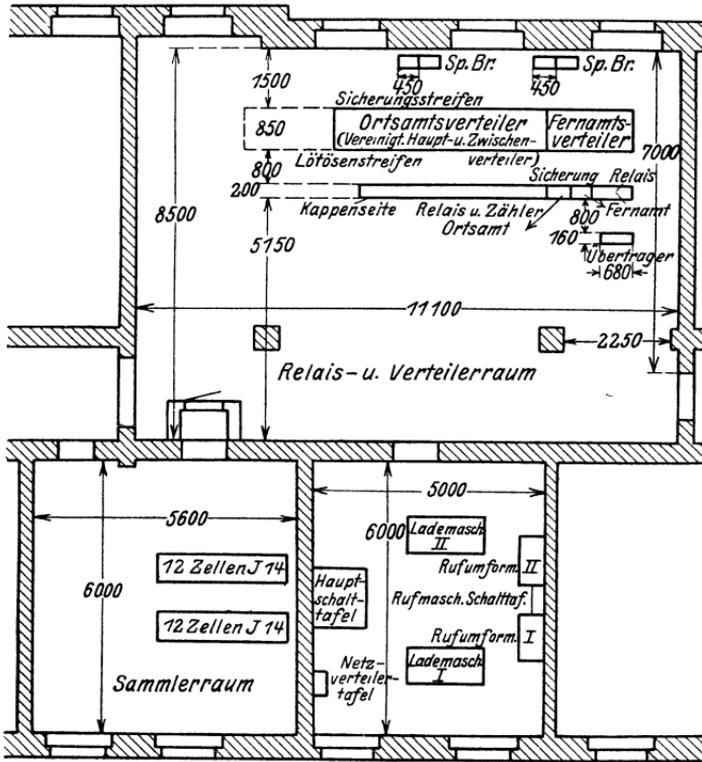


Abb. 1196. Verteiler- und Sammlerraum.

itungswählern (bei voller Belegung) nebst den zugehörigen Relaissätzen, ein Leitungswählergestell der Autofabag 3 Rahmen mit je 10 Leitungswählern nebst den Relaissätzen aufnehmen kann. Da die Wählerrahmen von vorn betrachtet auf der linken Seite die Lötösenstreifen zur Zu- und Weiterführung der Kabel tragen, so muß zur Erzielung der kürzesten Verbindung zwischen den 2 bzw. 3 Vorwählergestellen und dem zugehörigen Leitungswählergestell dieses immer rechts von jenen angeordnet werden. Die Verbindungskabel zwischen dem Hauptverteiler und den Vorwählergestellen, zwischen diesen und den Gruppenwählern sowie zwischen Vorwählern und Leitungswählern usw. werden auf Kabelrosten geführt, die, aus Flacheisen-Längsschienen und Sprossen gebildet, oberhalb der Gestelle angebracht werden. Bei mittleren Ämtern beträgt die Gesamtbreite von 2 Vor-

einander Platz finden. Gesamtbreite einer Reihe beträgt dann $2 \times 3,69 = 7,38$ m bzw. $2 \times 4,74 = 9,48$ m.

Die Gruppenwählergestelle werden mit 3 Rahmen zu je 10 Gruppenwählern (Höchstausbau) nebst den zugehörigen Relaissätzen ausgerüstet bei Verwendung von Wählern von S & H; bei Verwendung von Wählern der Autofabag kann ein Gestell bis zu 4 Rahmen mit je 10 Gruppenwählern aufnehmen. Mehrere Gruppenwählergestelle werden zu einer Reihe vereinigt und entweder neben den Reihen Vorwähler- und Leitungswählergestellen oder dahinter — unter Freilassung des Raums für solche Gestellreihen bis zum Endausbau — aufgestellt.

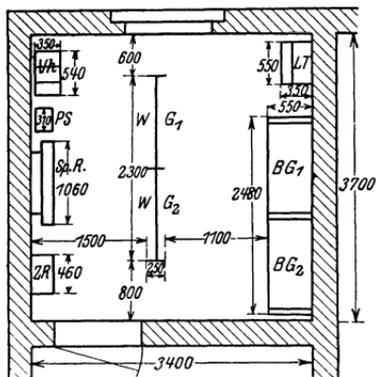


Abb. 1199. Aufstellung der Wählergestelle in kleinen Ämtern.

verteiler M 09 oder M 24 — z. B. mit 4 Sicherungsleisten übereinander — aufgestellt. Ein kleiner Prüfschrank SA 15 und das Speisebrückengestell — aufnahmefähig für 200 oder 250 Speisebrücken — sind dem Hauptverteiler gegenüber an der Stirnwand des Wählerraums anzuordnen. Unter Umständen kommt im Wählerraum auch die Ladeschalttafel zur Aufstellung.

c) Große SA-Ämter mit mehr als 1000 Anschlüssen. Ein großes SA-Amt umfaßt 4 Wahlstufen (bis zu 10000 Anschlüssen) oder mehr (100000 bzw. Millionensystem). Infolgedessen sind außer I. Vorwählern und Leitungswählern noch I., II. bzw. III. und IV. Gruppenwähler aufzustellen. Außerdem erhält ein Amt über 1000 Anschlüsse noch II. Vorwähler. Diese werden in besonderen Gestellen mit insgesamt 8 Rahmen zu je 10 Stück untergebracht; die Gestelle nehmen auch die zugehörigen Relaissätze auf. Die I. Gruppenwählergestelle entsprechen den Gruppenwählergestellen bei mittleren SA-Ämtern, die I. Vorwählergestelle denen der Vorwählergestelle.

Die Gruppenwähler der letzten Wahlstufe — z. B. bei einem 10000-Amt die II. Gruppenwähler — finden bei der Bauart von S & H im allgemeinen im oberen Teile der Leitungswählergestelle Platz. Genügen diese Gestelle nicht für die Aufnahme aller Gruppenwähler der letzten Stufe, so sind diese gegebenenfalls — ebenso wie die der Bauart Autofabag — auf besonderen Gestellen unterzubringen. Die Gruppenwähler der vorhergehenden Stufen — z. B. bei einem 100000-System, d. h. wenn mehrere 10000-Ämter vorhanden sind, die II. Gruppenwähler (die III. Gruppenwähler befinden sich gegebenenfalls sinngemäß am Leitungswählergestell) — werden auf besonderen Wählergestellen angeordnet. Bei der Bauart von S & H umfaßt ein solches 4 Rahmen zu 10 Wählern, bei der Bauart der Autofabag 5 Rahmen zu 10 Stück. Die Gestelle der Leitungswähler werden in drei verschiedenen Breiten zur Aufnahme von im Höchstfalle 10, 12 oder 15 Wählern beschafft. Außerdem kommen in großen SA-Ämtern noch Zwischen-

Die Gestellreihen erhalten einen gegenseitigen Abstand — von Mitte zu Mitte der Gestelltiefe gerechnet — von 1 m, in Ausnahmefällen von 0,90 m. An der einen Stirnseite der Gestellreihen muß zwischen ihnen und der Wand ein freier Gang von mindestens 1 m verbleiben, auf der andern Seite genügt ein solcher von rund 0,60 m; notfalls können bei kleineren SA-Ämtern die Gestellreihen an der einen Seite auch bis dicht an die Wand herangerückt werden, sofern diese keine Fenster hat. Regelabstand von der Fensterwand 0,60 m (vgl. Abb. 1200).

Der Hauptverteiler findet bei den mittleren SA-Ämtern in der Regel seinen Platz im Wählerraum. Sofern kein kleiner Hauptverteiler M 13 (Wandhauptverteiler) genügt, wird ein Haupt-

verteiler für die Verbindungen von den I./II. Vorwählern zu den I. Gruppenwählern, von diesen zu den II. Gruppenwählern, gegebenenfalls zwischen diesen und den III. Gruppenwählern usw. sowie besondere Leitungswählergestelle für Mehrfachanschlüsse zur Aufstellung. Steht das SA-Amt mit Handämtern in Verbindung, so sind noch Gestelle mit Mischwählern (zwischen I. Gruppenwählern und den Verbindungsleitungen in abgehender Richtung einzuschalten) und mit Dienstwählern für den vom Handamt ankommenden Verkehr (Aufschalten der Verbindungsleitung auf einen freien Tastenplatz) erforderlich. Bei der Anordnung der einzelnen Gruppenwählergestelle usw. und den Zwischenverteilern muß einerseits die Übersichtlichkeit gewahrt bleiben, andererseits ist aber auch auf möglichst kurze Kabelführung zu achten.

Über die Aufstellung der I. Vorwählergestelle und Leitungswählergestelle, über den gegenseitigen Abstand der Gestellreihen und den Abstand dieser von den Wänden gilt sinngemäß das unter (1929, b) Gesagte. Einen Anhalt für die Aufstellung der Gestellreihen bei großen SA-Ämtern gewähren die Abb. 1201 bis 1203. Zu bemerken ist hierzu folgendes: Wenn Wählersäle von 13 bis 15 m Breite zur Verfügung stehen,

werden zweckmäßig zwei Gestellreihen nebeneinander mit einem freien Gang von mindestens 1,50 m zwischen ihnen aufgestellt. Die eine, breitere Reihe umfaßt in der Regel 2 Aggregate von je 2 I. Vorwählergestellen und 1 Leitungswählergestell (Bauart S & H) oder abwechselnd a) 3 I. Vorwählergestelle, 1 Leitungswählergestell und 2 weitere Vorwählergestelle, b) 3 I. Vorwählergestelle und 2 Leitungswählergestelle (Bauart Autofabag). Die andere, schmälere Reihe wird aus je 3 II. Vorwählergestellen, je 2 I./II./III. Gruppenwählergestellen und Zwischenverteilergestellen gebildet.

Bei einer Breite des Wählersaals von 10 bis 13,5 m mit keiner oder nur einer Säulenreihe in der Mitte lassen sich zweckmäßig zwei parallele Reihen von je 2 I. Vorwählergestellen und 1 Leitungswählergestell (Bauart S & H) mit einem Zwischengang von rund 1,50 m anordnen. Bei Verwendung von Leitungswählern der Bauart Autofabag erfordert die Aufstellung zweier paralleler Reihen von je

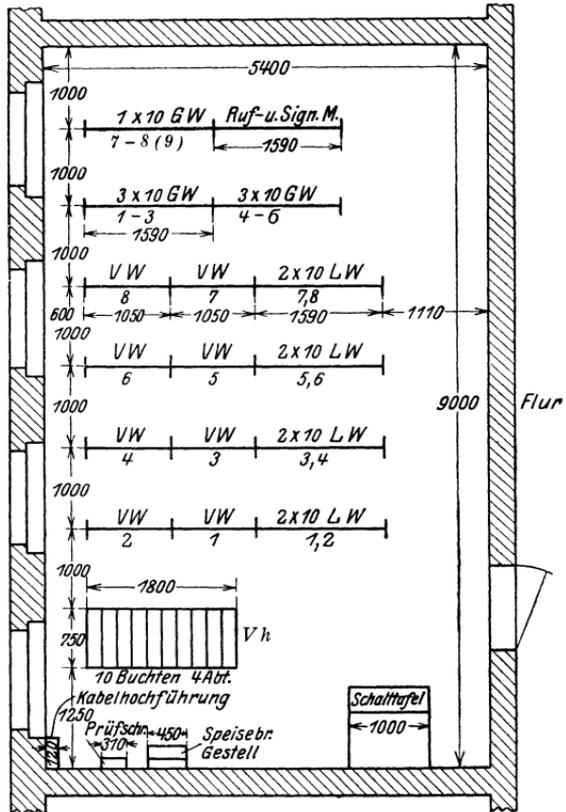


Abb. 1200. Aufstellung der Wählergestelle in mittleren Ämtern

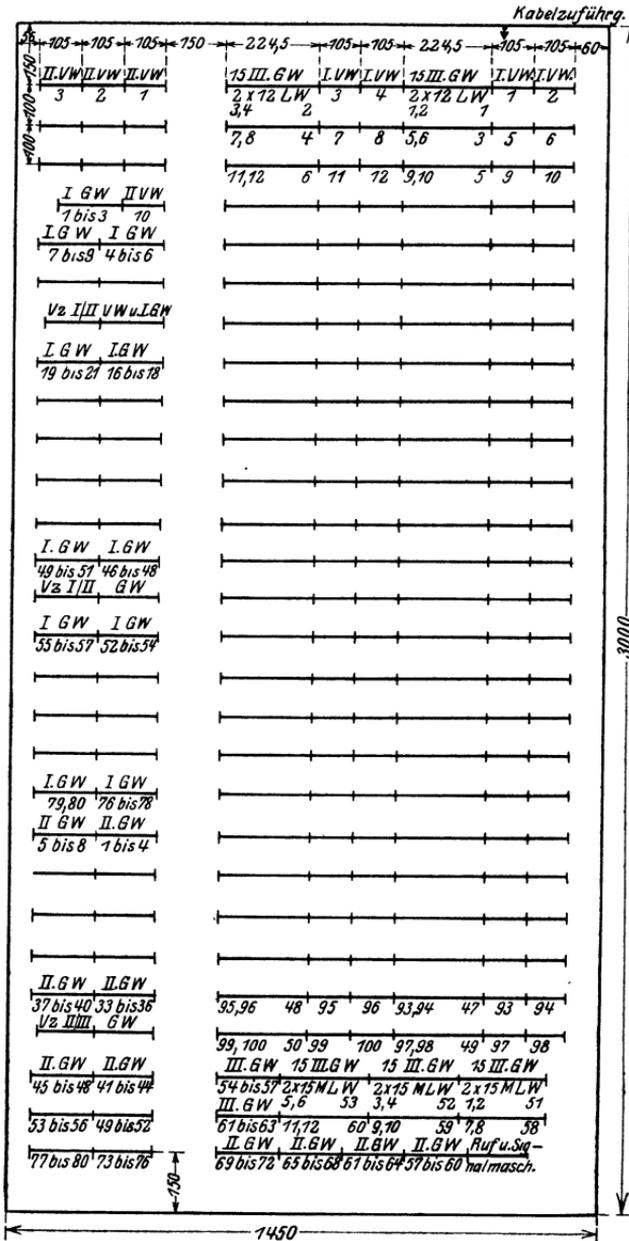


Abb. 1201. Aufstellung der Wähler in großen Ämtern.

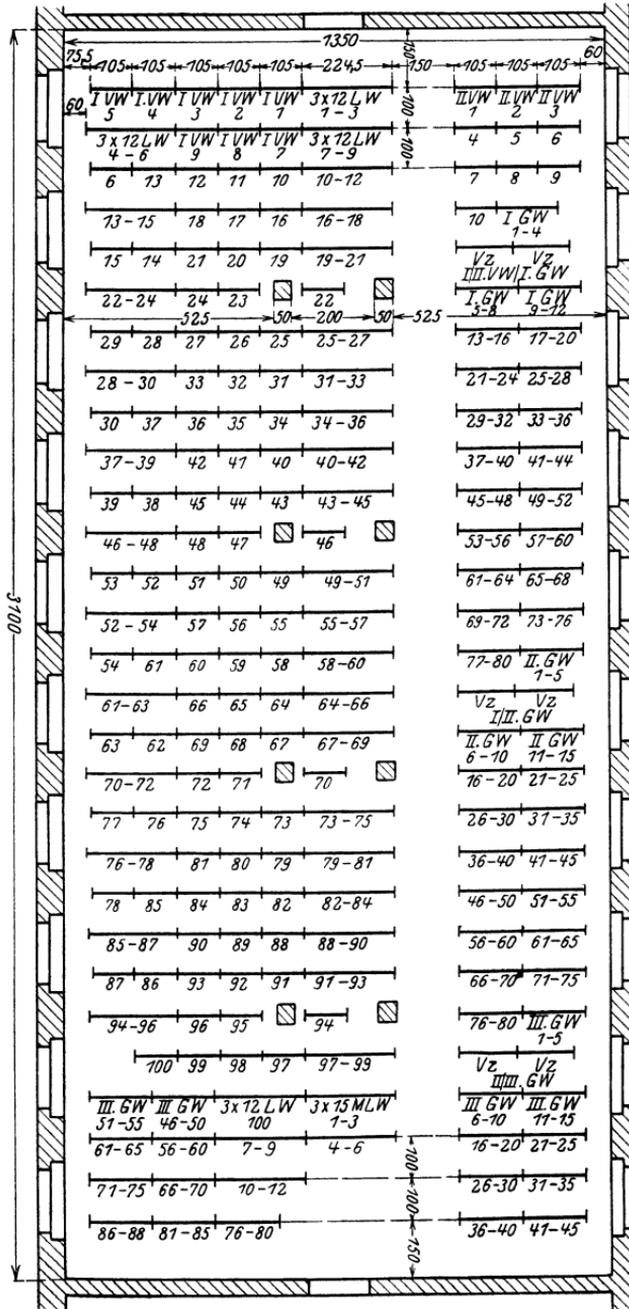


Abb. 1202. Aufstellung der Wähler in großen Ämtern.

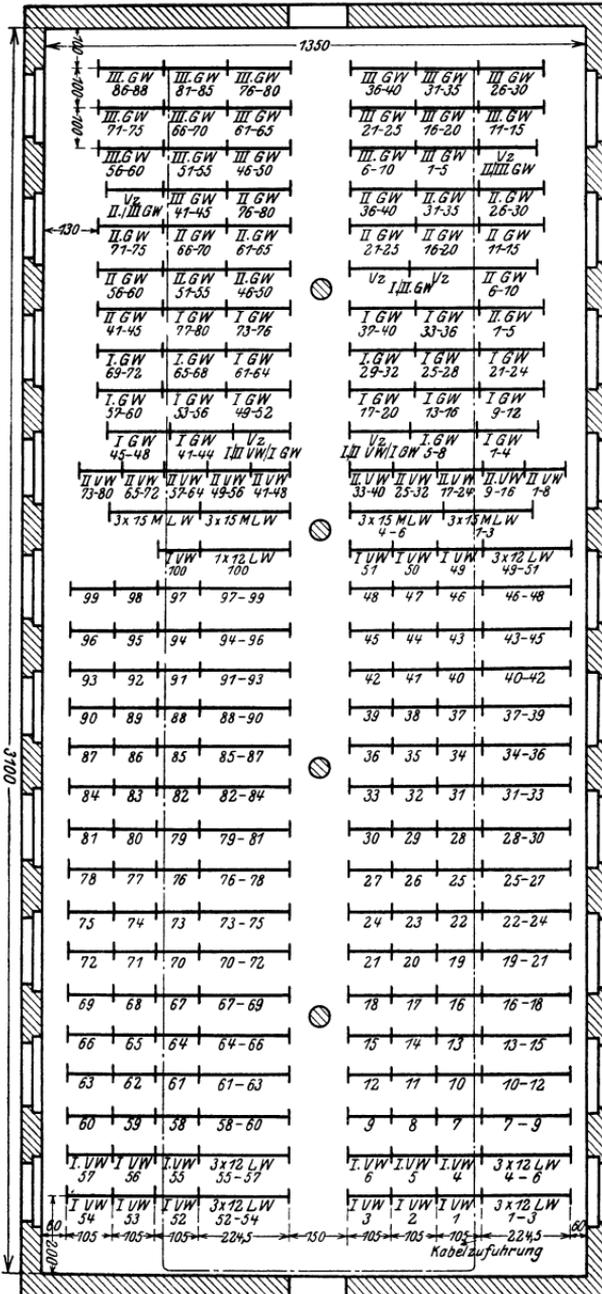


Abb 1203. Anstellung der Wähler in großen Ämtern.

3 I. Vorwählergestellen und 1 Leitungswählergestell bei einem 10000-Amt eine Mindestsaalbreite von rund 13,5 m (vgl. Abb. 1202). In diesen Fällen kommen die II. Vorwähler-, die I. (II./III.) Gruppenwählergestelle hinter die beiden parallelen Reihen I. Vorwähler- und Leitungswählergestelle zu stehen. Angenommen ist hierbei, daß Leitungswählergestelle mit Rahmen bis zu 15 Leitungswählern vorgesehen werden. Erfordert der Verkehr Gestelle mit Rahmen bis zu nur 12 Leitungswählern, so können die Säle um rund 0,80 m schmaler sein, wenn in den zuletzt betrachteten Fällen zwei parallele Reihen von Gestellen mit zusammen 2 Leitungswählergestellen aufgestellt werden sollen.

Sind in den Sälen zwei Reihen Säulen vorhanden, was in solchen von über 10 m Breite in der Regel der Fall ist, so kann die Aufstellung der Gestellreihen an den Säulen nicht glatt durchgeführt werden. An diesen Stellen sind dann zweckmäßig Gestelle mit Gruppenwählern, Mehrfachleitungswählern usw. unterzubringen. Allgemeine Regeln lassen sich indes hierfür nicht angeben.

Können wegen der örtlichen Verhältnisse nicht sämtliche Wählergestelle in einem Saale untergebracht werden, so empfiehlt es sich, in dem einen Raume die Vorwähler- und Leitungswählergestelle, in einem andern Raume, der sich neben, unter oder über diesem ersteren befindet, die I./II. usw. Gruppenwählergestelle aufzustellen, da die Verbindungskabel von den Vorwählern zu den Gruppenwählern und von diesen nach den Leitungswählern von erheblich geringerer Zahl wie die Kabel mit den Anschlußleitungen sind. Naturgemäß muß der Hauptverteiler in geringster Entfernung vom Wählersaale vorgesehen werden.

(1930) Aufstellung der Umschalteneinrichtungen für den Fernverkehr. Bei den kleinsten OB-Ämtern sind für die Abwicklung des Fernverkehrs keine besonderen Umschalter erforderlich, da die Fernleitungssysteme in den Klappenschränken oder den neuerdings an ihrer Stelle verwendeten Vielfachumschaltern OB 02 — ohne Vielfachfeld — selbst untergebracht sind.

In den größeren, mit Vielfachumschaltern ausgerüsteten OB-Ämtern werden besondere Fernschränke — in der Regel OB 05 — aufgestellt, und zwar bei einer geringen Zahl von Vielfachumschaltern im Anschluß an diese in gleicher Reihe oder andernfalls als gesonderte Reihe gegenüber der Reihe von Vielfachumschaltern. Stehen die Vielfachumschalter senkrecht zur Fensterwand — vgl. 1928, a —, so kommen die Fernschränke ebenfalls senkrecht zu dieser Wand in einen Mindestabstand von 2,50 m von der Ortsschrankreihe und in einem Abstand von wenigstens 0,60 m von der Seitenwand zur Aufstellung. Verläuft die Ortsschrankreihe wegen der erheblichen Zahl von Schränken dagegen parallel zur Fensterwand, so erhält die Fernschrankreihe ihren Platz parallel dazu an der gegenüberliegenden Innenwand, ebenfalls mit einem Abstand von 0,60 m von ihr. Bei einer Zimmertiefe von beispielsweise 6 m ergibt sich ein freier Raum zwischen den beiden Schrankreihen von rund 3 m Breite. Eine solche Anordnung der Fernschränke ist in Abb. 1194 dargestellt.

Der Klinkenumschalter wird am Anfang der Fernschrankreihe an der Wand befestigt oder auf einem Tisch aufgestellt (Klinkenumschalter M 24). Der Aufschaltetisch und unter Umständen ein Meldetisch können an der einen Stirnwand des Raums zwischen den beiden Schrankreihen untergebracht werden.

Kleinere ZB-Ämter — bis zu 3000 Anschlüssen — erhalten keine besonderen Fernschränke, wenn die Zahl der eingeführten Fernleitungen gering ist. Wie bereits unter 1928, b erwähnt, enden die Fernleitungen in diesem Falle auf Orts-Vielfachumschaltern (ZB 10 oder ZB 24), die mit besonderen Fernleitungsschnurpaaren ausgerüstet sind. Diese Umschalter stehen in gleicher Reihe mit den zur Abwicklung des Ortsverkehrs dienenden (vgl. Abb. 1195).

In den übrigen, kleinen ZB-Ämtern und in denen mittleren Umfangs ist das Fernamt in der Regel mit dem Ortsamt in einem Saale untergebracht. Die Fernschränke — bisher 2plätzig ZB 10, künftig allgemein Einheitschränke M 24 — bilden alsdann eine oder mehrere Reihen für sich. Hinsichtlich des gegenseitigen Abstands der Reihen und des Abstands der Reihen von den

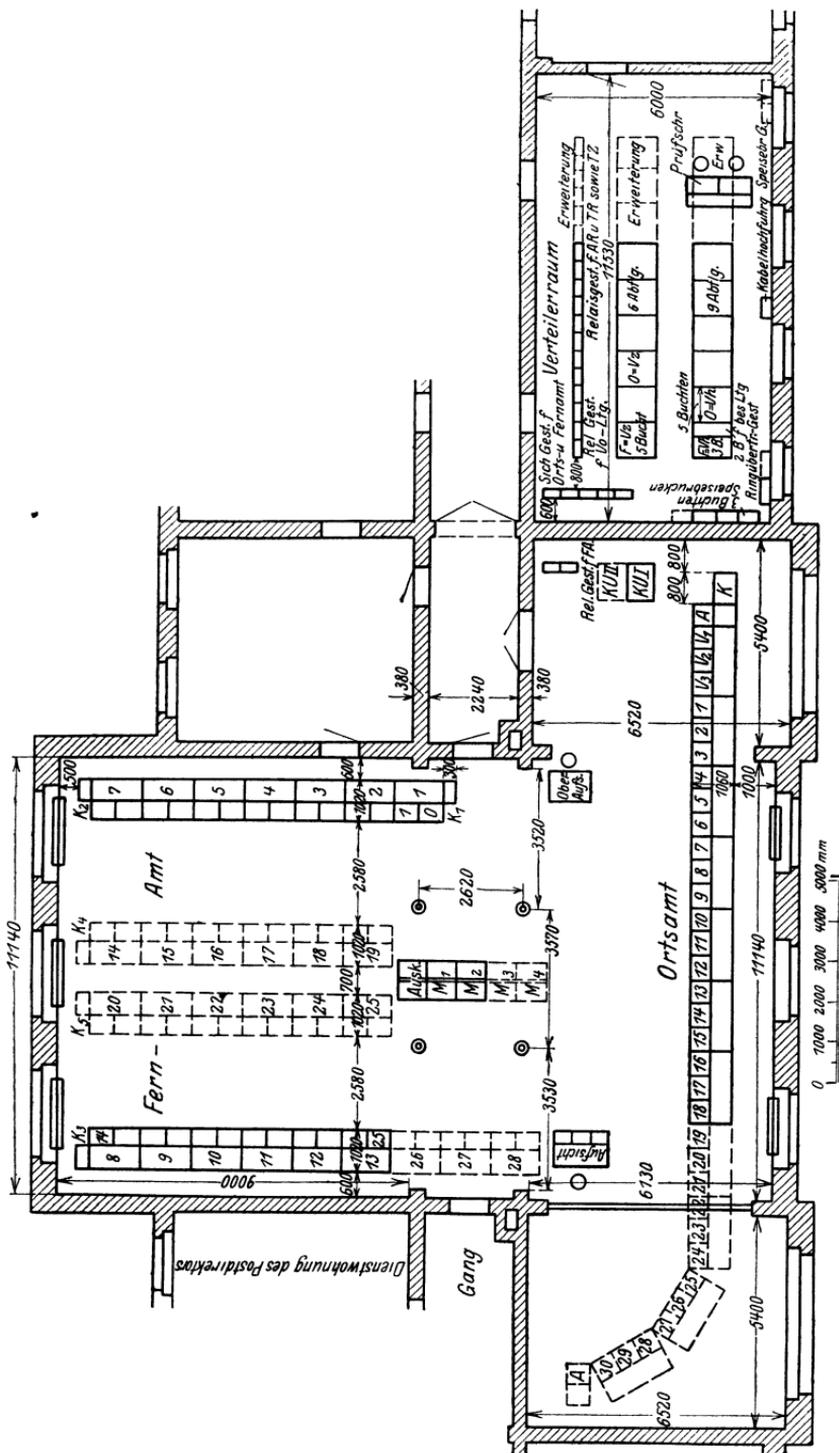


Abb. 1204. Orts- und Fernschranke und Verteilerraum bei einem mittleren ZB-Amt.

Wänden sind die Maße im allgemeinen gültig, die die für die Vielfachschränkreihen aufgestellte Übersicht unter (1928, b; S. 847) ergeben. Wenn die örtlichen Verhältnisse ungünstig sind und die Schrankreihen keine erhebliche Länge haben, können die Mindestmaße noch etwas unterschritten werden. Abb. 1204 läßt die Aufstellung der Ortsschränke und Fernschränke usw. bei einem mittleren ZB-Ämt erkennen. Die Meldetische sind so anzuordnen, daß die Gänge der die Gesprächszettel zwischen dem Meldeamt und den Fernschränken befördernden Boten die geringste Länge erreichen, wenn es nicht wirtschaftlicher und betrieblich vorteilhafter ist, zwischen diesen Dienststellen eine mechanische Zettelbeförderungseinrichtung zu schaffen.

Besondere Fernamtsräume werden bei größeren ZB-Ämtern und bei SA-Ämtern eingerichtet, sofern die Fernverkehrsabwicklung diesen Ämtern zugeteilt ist. Bisher kamen 2plätzigige Fernschränke ZB 10 zur Aufstellung, neuerdings werden auch in großen Fernämtern die Einheitsschränke M 24 als Fernschränke verwendet. Die Schrankreihen sind in Abständen von einander und von den Wänden wie die Vielfachumschalter aufzustellen. Die ersten Fernschränke der dem Fernamts-Verteileram am nächsten gelegenen Reihe nehmen die Sp-Leitungen und die besonderen Anrufzeichen der während der schwächeren Betriebszeiten und während der Nacht auf sie umzuschaltenden Fernleitungen auf (Sammel- und Nachtplätze). Diese Plätze werden außerdem mit gewöhnlichen Fernanrufzeichen wie die übrigen Fernschränke belegt. Etwaige Schnurverstärker sind aus Betriebsrücksichten möglichst nahe den Nacht- und Sammelplätzen anzuordnen, gegebenenfalls am Anfang einer zweiten Fernschrankreihe, so daß sie diesen Plätzen gegenüberstehen (vgl. Abb. 1206).

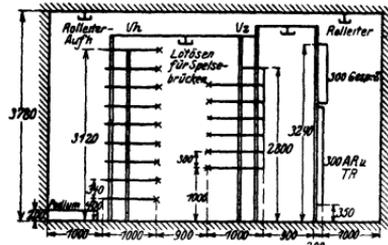


Abb. 1205. Querschnitt durch den Verteilerraum.

Falls das Meldeamt im Fernsaal selbst untergebracht und für die Beförderung der Gesprächszettel eine Rohrpost eingerichtet wird, ist der Rohrpostverteiltisch — oder bei größerem Betrieb die Verteilerstelle mit mehreren solchen Tischen — in der Mitte des Saals aufzustellen. An ihn schließt sich die Leitstelle, an diese die Auskunftsstelle, an diese die Rohrpostsammelstelle und endlich das Meldeamt an. Hierbei ist angenommen, daß vom Meldeamt aus die Gesprächszettel durch Förderbänder der Rohrpostverteilerstelle bzw. der Leitstelle zugeführt werden (für die Leitstelle und jeden Verteiltisch ein Band).

In größeren Betrieben und vor allem dann, wenn mehrere Fernsäle in Frage kommen, erhält das Meldeamt seinen Platz in einem besonderen Raum. Damit in der Zuführung der Gesprächszettel nach den einzelnen Rohrpostverteiltischen Irrtümer möglichst vermieden werden, erfolgt das Sortieren der Zettel nach diesen Tischen häufig nicht mehr durch die Meldeamtinnen selbst, sondern durch wenige mit dem Leitgeschäft besonders vertraute Kräfte an einer Meldesammelstelle. Dieser werden auf nur einem Band von den Meldetischen oder von je einer Meldetischreihe aus die aufgenommenen Gesprächsanmelde- und Auskunftszettel zugeführt. Mit den einzelnen Rohrpostverteiltischen steht sie durch je ein Band oder durch Saugluftrohrpost in Verbindung. Die von den Fernschränken mit Rohrpost (Saugluftbetrieb) oder durch Sammelbänder zurückkommenden erledigten Gesprächszettel sowie die an den Fernplätzen aufgenommenen Durchgangsgesprächszettel, Störungszettel und mit Vermerk versehenen Auskunftszettel gelangen zur Sammelstelle, entweder Rohrpostsammelstelle oder Bandpostsammelstelle (auch Fernsammelstelle genannt), von wo aus die unerledigten Durchgangszettel, die Störungszettel usw. der Meldesammelstelle zur Verteilung auf die einzelnen Rohrpostverteiltische zugehen, sofern

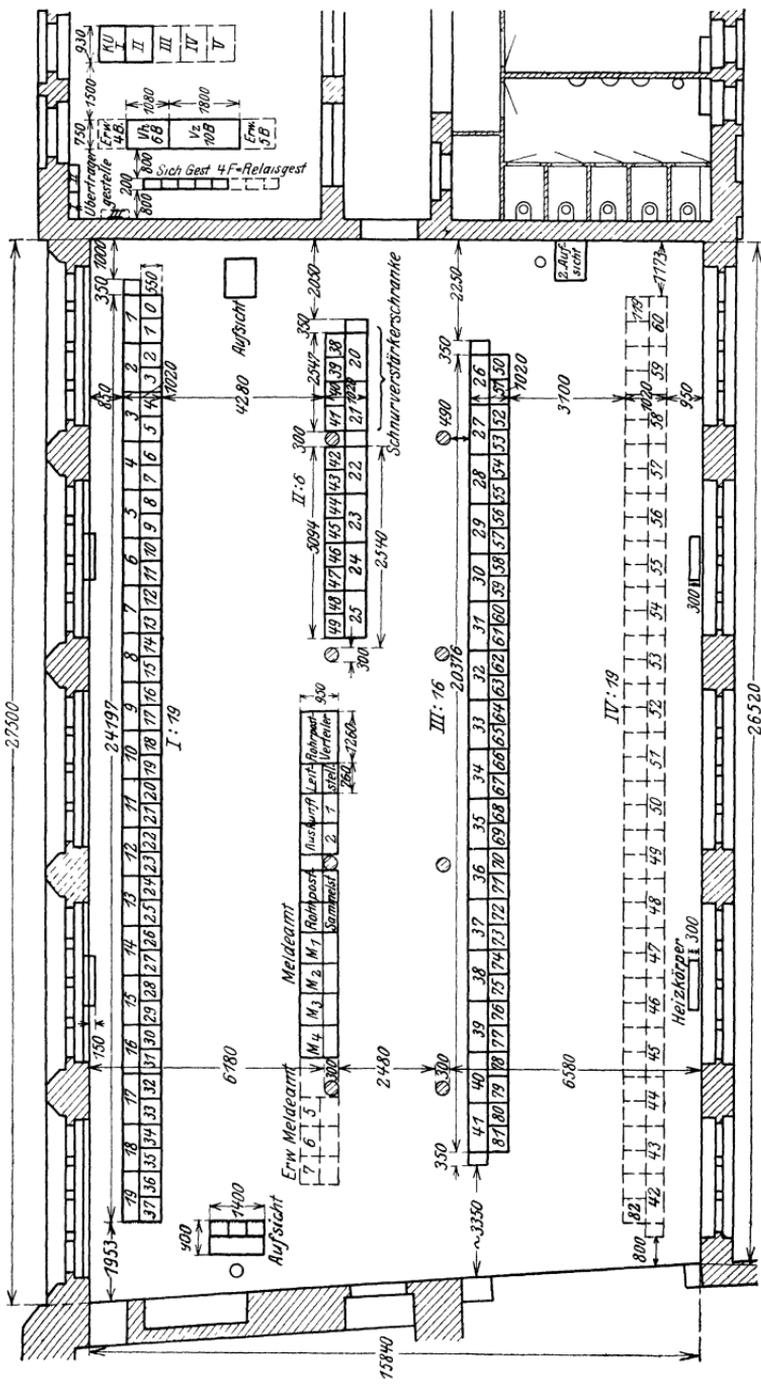


Abb. 1206. Fernamt.

die Bänder nach der Rohrpostverteilerstelle nicht über die Fernsammelstelle hinweggeleitet werden und die Beamtinnen dieser Stelle die weitere Verteilung selbst vornehmen. Die erledigten Anmeldezettel können bei der Fernsammelstelle auch sogleich geprüft werden. Von den Fernplätzen ankommende Auskunftszettel leiten die Beamtinnen der Fernsammelstelle auf einem besonderen Bande zur Auskunftsstelle. Für die Meldesammelstelle und gegebenenfalls für die Bandpostsammelstelle werden gewöhnliche Meldetische — ohne Ausrüstung mit Abfrageapparaten usw. — verwendet. Die Tische der Meldesammelstelle kommen am zweckmäßigsten in der Nähe der Meldetische — entweder rechtwinklig zu ihnen an einer Stirnseite oder als parallele Reihe — zur Aufstellung. Mit Rücksicht auf die einfachste Bandführung werden die Tische der Fernsammelstelle und die Fernauskunftsstelle — mit der häufig die Ortsauskunftsstelle vereinigt ist — je nach den örtlichen Verhältnissen parallel oder in Reihe mit den Meldesammeltischen aufgestellt. Im ersteren Falle muß ein gegenseitiger Abstand von mindestens 2 m eingehalten werden.

Die Klinkenumschalter werden bei kleinen und mittleren Fernämtern im Fernsaale an einer Stelle untergebracht, die am günstigsten zum Fernamts-Verteilerraum liegt. Abstand von der Wand mindestens 0,60 m. In größeren Betrieben finden die Klinkenumschalter im Fernamts-Verteilerraum Platz (1931).

(1931) Anordnung von Gestellen in Verteilerräumen. a) Ortsamts-Verteilerraum. Größere OB-Ämter, ZB-Ämter und größere SA-Ämter erfordern zur Aufstellung des Hauptverteilers einen besonderen Verteilerraum.

In OB-Ämtern nimmt der Verteilerraum in der Regel nur den Hauptverteiler — und unter Umständen die Ladeschalttafel — auf. Der Hauptverteiler V_h — mit Sicherungsleisten (1792) auf der senkrechten und Lötösenstreifen (1758) auf der wagerechten Seite ausgerüstet — hat den Zweck, bei Umlegung von Außenleitungen in andere Linienzüge (z. B. bei Wohnungswechsel des Teilnehmers) ohne Wechsel der Innenleitung oder Nummer des Teilnehmers die alte Außenleitung mit einer neuen Innenleitung zu verbinden. Der Verteiler (Hauptverteiler M 09 mit beispielsweise 4 Sicherungsleisten übereinander) wird gewöhnlich senkrecht zur Fensterwand in einem Abstand von mindestens 1 m von der Seitenwand aufgestellt. Bei einer Zimmertiefe von rund 6 m kann ein solcher Verteiler bei genügendem Abstand vom Fenster und der gegenüberliegenden Wand (Flurwand) — etwa 0,50 bis 1 m — aus insgesamt 25 Buchten bestehen und 2000 Innenleitungen aufnehmen. Vor der wagerechten Lötösenseite des Verteilers muß ein Gang von rund 1 m Breite verbleiben.

Bei ZB-Ämtern ist der Verteilerraum so zu bemessen, daß in ihm der Hauptverteiler, der Zwischenverteiler, die Gestelle für die Anruf- und Trennrelais, für die Zähler, gegebenenfalls für die Relais der Fernvermittlungsleitungen, die Sicherungsgestelle, die Speisebrückengestelle sowie in der Regel die Prüf- und Störungsstelle Platz finden. Der Zwischenverteiler V_z — auf der senkrechten und auf der wagerechten Seite mit Lötösenstreifen (1758) ausgerüstet — ermöglicht, jede Anschlußleitung mit einem beliebigen Anrufzeichen zu verbinden, um so die Verbindungsarbeit gleichmäßig zu verteilen.

An den Fensterpfeilern werden die Speisebrückengestelle aufgestellt, dahinter — also parallel zur Fensterwand — in einem Abstand von rund 1,50 m der Hauptverteiler (vgl. Abb. 1207). Ausnahmsweise Verringerung dieses Abstandes bis auf etwa 1,10 m bei kleineren Ämtern (vgl. Abb. 1204). Der Hauptverteiler hat mindestens 0,80 m von der Seitenwand entfernt zu beginnen, um noch einen freien Gang zu lassen. Die ersten Buchten sind für Aufnahme von Lötösen der Leitungen für besondere Zwecke (Dienstleitungen, Überwachungsleitungen, Fernmeldeleitungen usw.) bestimmt. Zwischen Hauptverteiler und Decke des Verteilerraums soll ein freier Raum von mindestens 0,50 m verbleiben (zur Führung von Kabelstämmen, z. B. des Vielfachstamms zu den Umschaltern). Parallel zum Hauptverteiler kommt in einem Abstand von 0,90 m der Zwischenverteiler zur Aufstellung. Der Anfang dieses Verteilers ist gewöhnlich um die Breite der

schnitt durch den Verteilerraum in der Abb. 1205 erkennen läßt, gestatten bei Benutzung von Zwischenverteilern bis zu 6 Abteilungen übereinander, d. h. in Räumen bis etwa 3,80 m Höhe, die Relaisgestelle auch noch die Unterbringung der TeilnehmergeSprächszähler im oberen Teile. Enthalten die Zwischenverteiler mehr als 6 Abteilungen, d. h. in Räumen über 3,80 m Höhe, so macht sich die Aufstellung besonderer Zählergestelle hinter den Relaisgestellen in einem Abstand von 0,80 bis 0,90 m erforderlich (vgl. Abb. 1207). Diese Gestelle können so belegt werden, daß je 2 Buchten die Zähler von soviel Leitungen aufnehmen als 15 Zwischenverteilerbuchten enthalten, deren Anrufrelais nach dem Vorstehenden also in 3 Relaisbuchten liegen. Die Sicherungsgestelle sollen möglichst zentral in bezug auf die Relaisgestelle angeordnet werden. Sie würden in diesem Falle zweckmäßig zwischen zwei Gruppen Zählergestellen Platz finden. Die Gestelle der Relais für die Fernvermittlungs(Vorschalte-)leitungen lassen sich an einer freien Stelle des Verteilerraums, z. B. parallel zur Stirnwand, d. h. an der Stirnseite des Zwischenvertailers, der Relais- und Zählergestelle aufstellen.

Beim Ericssonssystem müssen in der Regel zwei parallele Gestelle mit Anruf-, Trennrelais und besonderen Speisespulen (für die Nebenstellenspeisung), gegebenenfalls mit besonderen Orts- und Vorschaltentrennrelais, verwendet werden. Die Gesprächszählergestelle werden dann getrennt davon untergebracht.

In kleinen ZB-Ämtern — mit Vielfachumschaltern ZB 10/24 bis zu 3000 Anschlüssen Endausbau — macht man in der Regel Gebrauch von einem vereinigten Haupt- und Zwischenverteiler (Ersparnis an Kabeln). Der Verteilerraum ist dann kleiner (vgl. Abb. 1196).

Um dem Personal das Arbeiten an den im oberen Teile der Verteiler- und Relaisgestelle befindlichen Sicherungsleisten bzw. Lötösenstreifen, Relais und Zählern zu erleichtern, benutzt man bei hohen Verteilergestellen — mit mehr als 5 Abteilungen — und Relais- sowie Zählergestellen (Ablesen des Zählerstands!) Rolllatern, bei geringerer Höhe Rollböcke oder mehrstufige Tritte.

Die Verteilerräume für SA-Ämter nehmen nur den Hauptverteiler, Speisebrückengestelle sowie gegebenenfalls die Prüf- und Störungsstelle sowie unter Umständen die Relaisgestelle für Fernvermittlungsleitungen sowie das zugehörige Sicherungsgestell auf. Zwischenverteiler und Gestelle für Anruf- und Trennrelais sowie Gesprächszähler erübrigen sich, da diese Relais und die Zähler an den Wählergestellen mit untergebracht werden. Wird aus bestimmten Gründen das SA-Amt mit Abfrageplätzen (Tastenplätze) ausgerüstet, z. B. für den Verbindungsleitungsverkehr von Handämtern, so lassen sich die Zahlengeberische ebenfalls im Verteilerraum aufstellen. In einem neben diesem befindlichen Raum sind die Fernvermittlungsschränke mit Rücksicht auf eine möglichst kurze Führung des Vielfachkabelstamms unterzubringen, wenn diese nicht im Fernsaal zur Aufstellung kommen können. Voraussetzung für die Unterbringung der Fernvermittlungsplätze im Fernsaal ist eine günstige Lage dieses Saales zum Verteilerraum des Ortsamts; Vorteil dieser Aufstellungsart: keine besondere Beaufsichtigung des Dienstbetriebs erforderlich, im Nachtdienst und unter Umständen zu Zeiten schwächeren Verkehrs Wahrnehmung des Dienstes durch Beamtinnen des Fernamts nebenbei. Die Fernvermittlungsschränke — in der Regel Vielfachumschalter ZB 11 B — sind je nach der Lage des Hauptverteiler-raums parallel oder senkrecht zur Fensterwand in dem gewöhnlichen Abstand von 0,85 bzw. 0,60 m (von der Seitenwand) so aufzustellen, daß der Kabelstamm möglichst kurz wird. Die Tastentische können in der Nähe der Fernvermittlungsplätze angeordnet werden, wie Abb. 1208 erkennen läßt.

b) Fernamtsverteilerraum. Die Verteilereinrichtungen, Relaisgestelle usw. für das Fernamt sollen, wenn irgend zugänglich, zur Erleichterung der Überwachung im Ortsamtsverteilerraum untergebracht werden. Bei kleineren und mittleren Ämtern können einige Buchten am Anfang des Ortsamtshauptvertailers und -zwischenvertailers zur Aufnahme der Sicherungsleisten und Lötösenstreifen für die Fernleitungen usw. dienen (vgl. Abb. 1204). Das Fernamtsrelais-

gestell und das Ringübertragergestell lassen sich in der Regel mit im Hauptverteilerraum aufstellen. Abstand des Relaisgestells — falls vor einer Wand anzuordnen — mindestens 0,60 m von ihr; das Übertragergestell wird bis an die Wand herangerückt. Hat das Fernamt einen größeren Umfang, so daß der Fernamts-

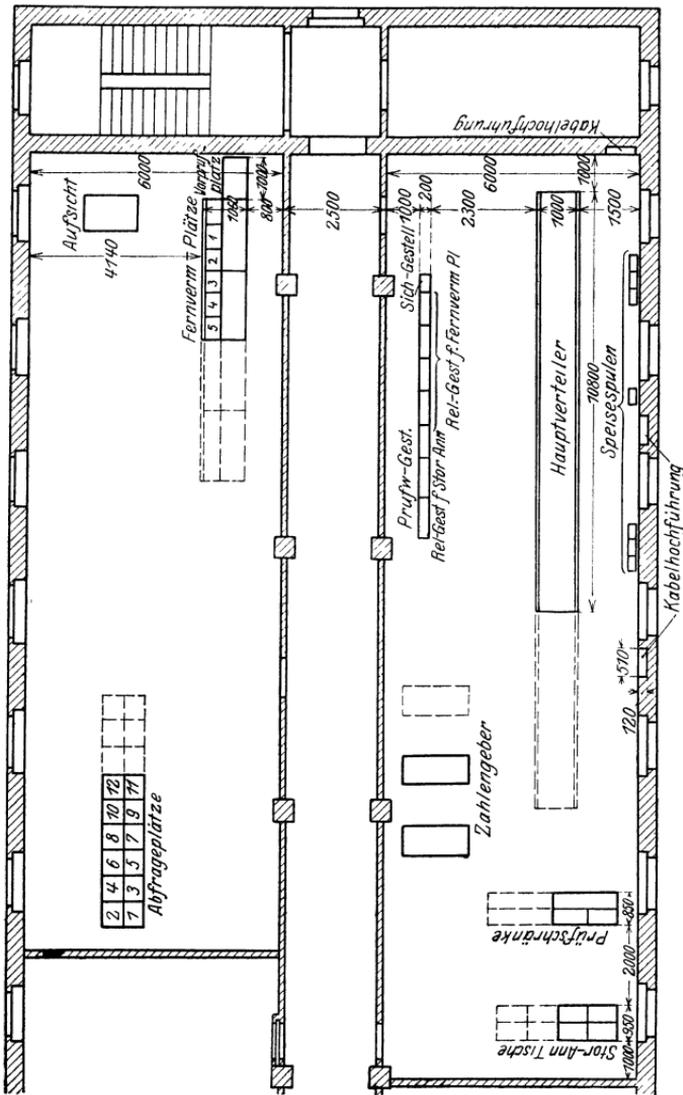


Abb. 1208. Hauptverteiler, Fernschranke usw.

zwischenverteiler mehr als 5 Buchten umfaßt, empfiehlt sich die Aufstellung besonderer Fernamtsaupt- und -zwischenverteilergestelle, so daß beide Gestelle aneinanderstoßen, aber nach beiden Außenseiten erweitert werden können.

Ein besonderer Verteilerraum ist bei solchen Fernämtern vorzusehen, die sich in einem Gebäude ohne Ortsamt befinden, oder wenn in dem Falle, daß

mit dem Fernamt ein Ortsamt vereinigt ist, der Ortsamtsverteilteraum wegen erheblicher Entfernung vom Fernsaal zur Unterbringung der Verteiler usw. für das Fernamt (lange Kabelführung!) nicht in Frage kommt.

Hat der Verteilteraum eine Tiefe von etwa 6 m, so lassen sich bei kleineren und mittleren Fernämtern die Hauptverteiler und der Zwischenverteiler aneinanderstoßend mit der Möglichkeit einer Erweiterung nach den beiden Außenseiten senkrecht zur Fensterwand, davon in einem Abstand von mindestens 0,80 m die Fernamtsrelais- und Sicherungsgestelle aufstellen, deren Abstand von der Seitenwand ebenfalls wenigstens 0,80 m betragen muß. Die Ringübertragergestelle finden in der Nähe des Hauptverteilers, z. B. an Mauerpfeilern der Fensterwand, Platz. Parallel zum Haupt- und Zwischenverteiler werden in mittleren Fernämtern u. U. die Klinkenumschalter aufgestellt. Vor ihnen muß ein Gang von rund 1,50 m und hinter ihnen einer von mindestens 0,60 m Breite verbleiben.

In den Verteilteräumen großer Fernämter empfiehlt sich folgende Aufstellungsweise: Senkrecht zur Fensterwand in einem Abstand von wenigstens 0,60 m von der Seitenwand die Klinkenumschalter, etwa 5 bis 6 nebeneinander, unter Umständen in einem Abstand von mindestens 2,50 m eine zweite Reihe. Die Prüfbeamten sitzen Rücken gegen Rücken. In einem weiteren Abstand von rund 1,50 m (bei einer Reihe Klinkenumschalter) bzw. von etwa 1 m (von der Rückseite der gegebenenfalls vorhandenen zweiten Reihe Klinkenumschalter) folgen die Ringübertragergestelle. Hinter diesen wieder ein freier Gang von etwa 0,80 m bis zum Anfang des Hauptverteilers, des Zwischenverteilers und der Relais- und Sicherungsgestelle. Diese Verteiler und Gestelle sind in drei Reihen mit den üblichen Abständen — wie im Ortsamtsverteilteraum — parallel zur Fensterwand hintereinander anzuordnen. Ihre Länge ist naturgemäß von der Anzahl der übereinander befindlichen Abteilungen und von der Zahl der zum Betrieb und zur Untersuchung eingeführten Fernleitungen, Sp-Leitungen und Vierleitungen abhängig. Anbringung von Rolleitern vor den Gestellen nach denselben Gesichtspunkten wie im Ortsamtsverteilteraum.

Anschlußleitungen und Fernleitungen innerhalb der Ämter. Kabel und Drähte zwischen den einzelnen Teilen der Amtseinrichtungen.

(1932) **Anschlußleitungen.** a) Führung bis zum Sicherungsschrank oder Hauptverteiler. Die oberirdischen Anschlußleitungen werden bei kleinen FVSt, bei denen ausnahmsweise die Abspannung an Querträgern stattfindet, die an einer Seitenwand des Gebäudes angebracht sind, mit einadrigem Bleirohrkabel mit Gummiisolierung (GB-Kabel 0,8 mm Kupferleiter) bis zu Sicherungsschränken — aufnahmefähig bis zu 25 oder 50 Anschlußleitungen — geführt. Steht auf dem Gebäude ein Abspanngestänge, so dienen als Zuführung zu den Sicherungsschränken Gummikabel mit 0,8 mm Kupferleiter und Bleimantel.

Die Sicherungsschränke müssen nahe der Einföhrung, unter Umständen bei kurzer Entfernung im Betriebsraum, untergebracht sein. Sie enthalten 10- bzw. 5teilige Sätze von Grobsicherungen zu 8 A mit vorgeschaltetem Groblitzschutz und Sicherungsleisten gewöhnlicher Bauart (Kohlenblitzableiter und Feinsicherungen zu 5 Ω) und eine Verteilereinrichtung zum Umlegen der Schaltdrähte zwischen den Sicherungsleisten und einer Löt клемmenleiste, von der aus die Anschlußleitungen zur technischen Einrichtung des Amtes weiterführen.

In größeren FVSt werden für die oberirdischen Anschlußleitungen nahe dem Abspanngestänge auf dem Boden Gestelle zur Aufnahme von 10teiligen Grobsicherungssätzen (zu 8 A) angeordnet. Zuföhrung der Anschlußleitungen bis zu diesen Sicherungen ebenfalls in Gummikabeln, von den Sicherungen aus bis zu den Sicherungsleisten an Hauptverteiler in Lackpapierkabeln mit Bleimantel (LPM-Kabel, 0,6 mm Kupferleiter, 25-, 50- oder 100paarig).

Die unterirdisch in Fernsprechanschlußkabeln mit 0,8 mm, bei hochpaarigen mit 0,6 mm starken Kupferleitern eingeföhrten Anschlußleitungen verlaufen nach Aufteilung der Anschlußkabel in Bleimuffen nach den

Sicherungsleisten am Hauptverteiler ebenfalls in LPM-Kabeln (0,6 mm Kupferleiter, 50- oder 100paarig, äußerer Durchmesser 18,5 bzw. 25 mm).

Zur Ausführung von Schaltverbindungen zwischen den Sicherungsleisten und den Lötösenstreifen des Hauptverteilers wird 2adriger Schaltdraht verwendet (Lackpapierverteilerdraht, Bezeichnung: LPV-Draht, 0,6 mm starker Kupferleiter, Farbe der äußeren Baumwollumflechtung für die a-Ader weiß, für die b-Ader braun).

Die Speisebrückengestelle werden mit den besonderen wagerechten Lötösenstreifen des Hauptverteilers durch runde Lackpapierkabel ohne Bleimantel (LP-Kabel, 30adrig, 0,6 mm Kupferleiter, äußerer Kabeldurchmesser 10,5 mm) verbunden.

b) Führung der Anschlußleitungen vom Sicherungsschrank oder Hauptverteiler aus. a) in Handämtern. In OB-Ämtern führen die Anschlußleitungen von den Lötösenstreifen des Sicherungsschranks oder des Hauptverteilers aus zu den Klappenschränken oder den Vielfachumschaltern (Fernvermittlungsplätzen) in 40adrigen — bisher 42adrigen — runden LP-Kabeln (20 × 2adrig, 0,6 mm starker Kupferleiter, äußerer Kabeldurchmesser 12 mm).

In ZB-Ämtern führen in der Regel die Anschlußkabel von den Lötösenstreifen des Hauptverteilers zu den senkrechten Lötösenstreifen des Zwischenverteilers in gleichen 40(42-¹)adrigen LP-Kabeln. Beim Westernsystem zweigen hier die Zuführungskabel zu den Fernvermittlungsplätzen und Teilnehmerplätzen des Ortsamts ab (Vielfachkabelstamm), und zwar 63adrige flache LP-Kabel (20 × 3 + 3adrig, 0,6 mm starker Kupferleiter, äußere Abmessung des Kabels 8 × 22 mm). Führt der Vielfachkabelstamm ausnahmsweise vom Hauptverteiler weg, und zwar mit den gleichen 63adrigen Kabeln, so sind zwischen Hauptverteiler und Zwischenverteiler an Stelle der 40(42-)adrigen Verbindungskabel 60(63-)adrige runde LP-Kabel (20 × 3adrig, 0,6 mm Kupferleiter, äußerer Kabeldurchmesser 14,5 mm) zu verlegen. Im weiteren stehen die senkrechten Lötösenstreifen des Zwischenverteilers in Verbindung mit den Anruf- und Trennrelais, und zwar durch 40(42-)adrige runde LP-Kabel (10 × 4adrig, 0,6 mm Kupferleiter, äußerer Kabeldurchmesser 12 mm). An die wagerechten Lötösenstreifen des Zwischenverteilers sind die 40(42-)adrigen runden Abfragekabel angeschlossen (LP-Kabel gleicher Bauart). Von den Zuführungen zum Trennrelais (c-Ader) werden sie nach den Gesprächszählern abgezweigt. Hierfür benutzt man 30(33-)adrige oder 20(21-)adrige runde LP-Kabel (15 × 2 bzw. 10 × 2adrige, 0,6 mm Kupferleiter, Kabeldurchmesser 10,5 bzw. 9 mm).

Zur Ausführung von Schaltverbindungen zwischen den senkrechten und den wagerechten Lötösenstreifen dienen 4adrige Schaltdrähte (a-, b-Sprechader, c-Prüfader und l-Lampenader, LPV-Draht, 0,6 mm-Kupferleiter, Farben der einzelnen Adern: weiß, braun, rot und blau).

Beim Ericssonssystem mit Parallelklinken an den Fernvermittlungsplätzen ist die Kabelführung ähnlich wie beim Westernsystem. Nur werden als Abfragekabel, da bei diesem System eine besondere Zählerader vorhanden ist, statt 40(42-)adriger 50(52-)adrige runde LP-Kabel verwendet (10 × 5adrig, 0,6 mm-Kupferleiter, Kabeldurchmesser 13,5 mm). Der am Zwischenverteiler zu benutzende Schaltdraht ist infolgedessen 5adrig (LPV-Draht, Farben der Adern: weiß, braun, rot, blau und grün). Beim Ericssonssystem mit Vorschalt- und Ortstrennrelais oder vereinigten Trennrelais führen die Anschlußleitungen von den Lötösen des Hauptverteilers in 40(42-)adrigen runden LP-Kabeln der erwähnten Bauart (20 × 2adrig) zum Relaisgestell. Hier zweigt der Vielfachkabelstamm zum Fernvermittlungsschrank ab unter Verwendung 63adriger flacher LP-Kabel (20 × 3 + 3adrig) der beschriebenen Art. Von den Trennrelais führen ferner nach den senkrechten Lötösenstreifen des Zwischen-

¹) In den folgenden Ausführungen bedeuten die in Klammern beigefügten Zahlen die Aderzahlen der bisher verwendeten LP- oder Baumwollseidenkabel.

verteilers 40(42-)adrige runde LP-Kabel (10 × 4 adrig, a-, b-Sprechader, c-Prüfader, l-Lampenader, 0,6 mm-Kupferleiter, Kabeldurchmesser 12 mm). Außerdem sind an diese Lötösenstreifen die Zuführungskabel mit den Anschlußleitungen nach den Teilnehmerplätzen bzw. den Verbindungsleitungsplätzen angelegt (63 adrige flache LP-Kabel der oben erwähnten Art). Schaltdraht 5 adrig (wie oben).

Für das Teilnehmervielfachfeld innerhalb der Vielfachumschalter OB wird neuerdings 60 adriges rundes LP-Kabel (20 × 3 adrig, 0,6 mm Kupferdurchmesser), früher 63 (20 × 3 + 3) adriges Baumwollseidenkabel benutzt. Bei ZB-Ämtern findet für den gleichen Zweck 63 adriges flaches LP-Kabel (20 × 3 + 3 adrig, 0,6 mm - Kupferleiter, Abmessung des Kabels 8 × 22 mm) Verwendung. Zweiadrige Dienstleitungen sind in 40 (42-)adrigen LP-Kabeln (20 × 2 adrig, 0,6 mm-Kupferleiter, Kabeldurchmesser 12 mm) zu führen. Auch die Meldeleitungen, die besonderen Leitungen (z. B. nach dem Aufsichtstisch, der Störungsstelle) verlaufen in 63 adrigen flachen LP-Kabeln durch die Vielfachumschalter.

β) in SA-Ämtern. In kleinen SA-Ämtern sind die Anschlußleitungen von den Lötstellenleisten der Sicherungsschränke oder von den Lötösenstreifen der Hauptverteiler nach den Vorwählern in 20 (21-)adrigen (10 × 2 adrig) oder in 40 (42-)adrigen LPM-Kabeln (20 × 2 adrig, 0,6 mm-Kupferleiter, Kabeldurchmesser 9 bzw. 12 mm) zu führen. Kabel gleicher Bauart dienen zur Anschließung der Gesprächszähler und der Speisebrücken.

Die Vorwählerrahmen werden mit den Leitungswählerrahmen (Vielfachfeld) durch Drahtkabel fest verbunden von den Firmen geliefert.

In den übrigen SA-Ämtern (über 100 Anschlüsse) werden die Anschlußleitungen von den wagerechten Lötösenstreifen am Hauptverteiler aus zunächst nach den Lötösen an den (I.) Vorwählergestellen geführt, und zwar in der Regel in 60 (63-)adrigen runden LP-Kabeln (20 × 3 adrig, 0,6 mm-Kupferleiter, Kabeldurchmesser 14 mm). Von den genannten Lötösen am Vorwählergestell aus verlaufen 30 (33-) adrige LP-Kabel für je 10 Anschlüsse nach den Lötösen der neben den Vorwählergestellen anzuordnenden Leitungswählergestellen. Diese LP-Kabel sind von der gleichen Bauart wie in den ZB-Ämtern.

Von den Lötösenstreifen am Hauptverteiler aus führen bei den SA-Ämtern, die mit Fernvermittlungsplätzen ausgerüstet sind — in der Regel solche mit über 3000 Anschlüssen — 60 (63-) adrige flache LP-Kabel der wiederholt angegebenen Bauart nach diesen Fernvermittlungsplätzen (je 3 Adern für jede Anschlußleitung). Erfolgt aus örtlichen Gründen die Abzweigung des Vielfachkabelstamms zu den Fernvermittlungsplätzen von den Vor- oder Leitungswählern, z. B. wenn die Entfernung dieser Plätze vom Hauptverteiler erheblich ist oder der Vielfachkabelstamm von diesem aus durch feuchte Räume oder durch Lichtböfe geführt werden müßte, so werden zwischen Hauptverteiler und Vorwählergestell nur 40 (42-) adrige statt 60 (63-) adrige LP-Kabel verlegt. In diesem Falle bietet allerdings die unmittelbare Verbindung zwischen der Innenleitung einer Mehrfachanschlußnummer mit der einer anderen Nummer, über die die betreffende Mehrfachanschlußleitung als gewöhnlicher Einzelanschluß angeufen werden kann, einige Unbequemlichkeiten. Diese Parallelverbindung läßt sich dann nicht am Hauptverteiler — wegen des Fehlens der c-Ader — vornehmen, sondern muß zwischen den beiden Vorwählern mit 3 adrigem Schaltdraht ausgeführt werden oder die c-Adern solcher Anschlüsse sind besonders an Lötösen des Hauptverteilers heranzuführen.

Ausnahmsweise kommt auch in Frage, den Vielfachkabelstamm vom Hauptverteiler aus in 40 (42-)adrigen LP-Kabeln bis zu einer Gabelstelle (besonderes Lötösendgestell) zu verlegen, von wo aus einerseits der Kabelstamm zu den Vorwählern und andererseits ein Kabelstamm zu den Fernvermittlungsplätzen abzweigen. Diese zwei Kabelstämme können, um die vorerwähnten Unbequemlichkeiten bei Herstellung von Parallelverbindungen zwischen zwei Anschlußleitungen zu vermeiden, aus 60 adrigen LP-Kabeln gebildet werden, so daß die Parallelverbindungen sich dann an der Gabelstelle vornehmen lassen.

Bei Ämtern mit einer Stufe Gruppenwähler (1000-Ämter) sind die Vorwähler mit den Gruppenwählern und diese mit den Leitungswählern durch 30-(33-)adrige runde LP-Kabel der wiederholt angegebenen Art zu verbinden.

In Ämtern mit I. und II. Vorwählern und mehreren Stufen Gruppenwählern werden zwischen die I./II. Vorwähler und den I. Gruppenwähler und zwischen die einzelnen Stufen Gruppenwähler Zwischenverteiler eingeschaltet, mit deren Hilfe sich leicht eine anderwertige Verteilung der Verbindungsleitungen vornehmen läßt. Die Zuführung der Leitungen zwischen den einzelnen Vorwählergestellen und den Zwischenverteilern sowie zwischen diesen und den Gruppenwählern erfolgt gleichfalls mit 30(33-)adrigen runden LP-Kabeln der vorher erwähnten Art. Zur Herstellung der Schaltverbindungen an den Zwischenverteilern dient 3adriger Schaltdraht (LPV-Draht) mit weiß-braun-roten Adern.

(1933) Fernleitungen. a) Führung bis zum Klinkenumschalter. Die oberirdischen Fernleitungen werden bei kleinen FVSt entweder wie die Abschlußleitungen durch die Seitenwände von Abspannvorrichtungen auf Mauerbügeln aus oder vom Abspanngestänge auf dem Dach aus mit 1adrigen Bleirohrkabeln und Gummisuloherung (GB-Kabel mit 0,8-mm Kupferleiter) nach dem Sicherungsschrank an 10teilige Sätze von Grobsicherungen zu 8 A mit außenliegendem Grobblitzschutz und von da mit Schaltdraht (GZ-Draht oder LPV-Draht) nach Doppelluftleerblitzableitern mit Feinsicherungen zu 5 Ω geführt. Bisher war hinter den Grobsicherungen noch ein Luftleerblitzableiter ohne Feinsicherung an jeden Leitungszweig angeschaltet. Diese Sicherungsvorkehrung ist nicht mehr erforderlich.

Handelt es sich um eine größere Anzahl von oberirdischen Fernleitungen, so erfolgt die Einföhrung vom Abspanngestänge aus bis zu dem auf dem Boden unterzubringenden Blitzableitergestell in Gummikabeln mit Bleimantel und viererseitigen Adern von 0,8 mm Durchmesser. Das Blitzableitergestell enthält Grobsicherungen zu 8 A mit Grobblitzschutz sowie Luftleerblitzableiter mit Feinsicherungen zu 5 Ω . Bei größeren Anstalten werden auch Luftleerblitzableiter ohne Feinsicherungen verwendet. Die Fernleitungen führen in diesem Falle noch über Sicherungsleisten am Hauptverteiler, an denen nur die Feinsicherungen eingeschaltet und die gewöhnlichen Kohlenblitzableiter entfernt sind.

Bei kleinen F.V.St. werden die Fernleitungen vom Sicherungsschrank aus, wenn er sich in einem trockenen Raume befindet und kein Klinkenumschalter aufgestellt wird, mit Gummizimmerleitungsdraht (GZ-Draht, 0,6-mm-Kupferleiter, 2adrig) unmittelbar an die Klappenschränke, in die die Fernleitungssysteme eingebaut sind, geführt; sind die Leitungen durch feuchte Räume zu verlegen, wird an Stelle des GZ-Drahts für jeden Leitungszweig 1adriges Bleirohrkabel (GB-Kabel) verwendet. Handelt es sich um eine größere Zahl von Fernleitungen, so erfolgt ihre Führung vom Blitzableitergestell aus entweder unmittelbar zum Klinkenumschalter, sofern solche alterer Bauart (V bis VII, auf Tischen aufzustellen oder an der Wand anzubringen) Verwendung finden, oder — bei Ämtern mit Klinkenumschaltern M 14 bzw. M 24 — zum Hauptverteiler in LPM-Kabel, viererseitig, und zwar mit 20 (5 \times 4), 40 (10 \times 4) oder 80 (20 \times 4) Adern von 1 mm Durchmesser. Äußerer Durchmesser des 20adrigen Kabels 13 mm, des 40adrigen 16,5 mm und des 80adrigen 21 mm.

Die unterirdisch eingeföhrten Fernleitungen wurden bisher in Endverschlüssen oder Aufteilungsmuffen mit Abschlußkabeln verbunden, die zu Luftleerblitzableitern mit Feinsicherungen oder zu Sicherungsleisten am Hauptverteiler des Fernamts führten. Neuerdings verwendet man Endverschlüsse mit Grobsicherungen zum Verbinden der Fernleitungskabel mit Abschlußkabeln, die mit den Feinsicherungen der Sicherungsleisten in Verbindung stehen (die Kohlenblitzableiter sind aus diesen zu entfernen). Die Luftleerblitzableiter werden jetzt an den Kabelüberföhrungen, d. h. an den Stellen, wo die Fernleitungskabel mit den oberirdischen Leitungen verbunden sind, angebracht. Rein

unterirdisch von Amt zu Amt verlaufende Fernleitungskabel (Bezirkskabel usw.) erhalten keine Sicherungen mehr. Sie verlaufen beim Amt vom Endverschluß oder der Aufteilungsmuffe aus zu Lötösenstreifen am Hauptverteiler ebenfalls in Abschlußkabeln. Hierzu werden 20-, 40- oder 80adrige LPM-Kabel mit Viererverseilung und 1 mm-Kupferleitern der vorher beschriebenen Art verwendet. Die Führung der Sp-Leitungen erfolgt im allgemeinen in gleicher Weise wie die der Fernleitungen.

Nur zur Untersuchung eingeführte oberirdische Fernleitungen — gesichert durch eine Grobsicherung oder eine Stopselsicherung zu 20 A und einen Luftleerblitzableiter — werden bis zu dem Umschalter am Blitzableitergestell in Gummiaedern mit mehrdrähtigem Kupferleiter geführt (7 Litzendrähte von 1,35 mm Stärke = 30 mm² Querschnitt).

Zur Vornahme von Umschaltungen der Fernleitungen zwischen den Sicherungsleisten oder den senkrechten Lötösenstreifen und den wagerechten Lötösenstreifen dient 2adriger Schaltaht (LPV-Draht) mit 0,6 mm Kupferleiter, a-Ader weiß, b-Ader braun.

Vom Hauptverteiler aus bis zum Klinkenumschalter M 14 werden bei der bisher üblich gewesenen Anordnung der Ringübertrager zwischen Leitungsklinke und Apparatklinke des Klinkenumschalters die Fernleitungen in 40(42-)adrigen, viererverseilten, runden LP-Kabeln (10 × 4 Adern, 0,6 mm Kupferleiter, Kabeldurchmesser 12 mm) geführt. Mit der gleichen Kabelart findet die Einschleifung der Ringübertrager statt. Neuerdings ist die Anordnung der Ringübertrager zwischen dem Hauptverteiler und dem Klinkenumschalter M 14 oder M 24 vorgesehen (Wegfall der Schleife: Klinkenumschalter, Hauptverteiler, Ringübertrager, Hauptverteiler, Klinkenumschalter!). Die Führung der Fernleitungen geschieht nunmehr vom Hauptverteiler bis zu den Ringübertragern und von da zum Klinkenumschalter ebenfalls mit 40adrigen runden LP-Kabel der vorerwähnten Art. Die Abzweigungen aus den Mitten der Ringübertrager (für Simultan- und Viererschaltungen) sind in 8adrigen runden LP-Kabeln (4 × 2 Adern, 0,6 mm Kupferleiter, Kabeldurchmesser 6,5 mm) nach besonderen Lötösenstreifen auf der senkrechten Seite des Hauptverteilers, und zwar je ein Kabel für 4 auf einem Rahmen nebeneinander befindlichen Ringübertrager, zu verlegen.

b) Führung vom Klinkenumschalter nach den Fernschränken. Bei OB-Fernsprechvermittlungsanstalten führen die Fernleitungen vom Klinkenumschalter unmittelbar bis zu den Fernschränken OB 05 oder den Fernleitungssystemen in Vielfachumschaltern OB 02/13 in 8- oder 10adrigen runden LP-Kabeln (4 oder 5 × 2 Adern, 0,6 mm Kupferleiter, 6,5 oder 7 mm Kabeldurchmesser).

In ZB-Fernämtern befindet sich zwischen dem Klinkenumschalter und den Fernschränken der Zwischenverteiler. Zu ihm — und zwar an senkrechte Lötösenstreifen — sind die Fernleitungen von der Apparatklinke des Klinkenumschalters aus in 30(32-)adrigen runden LP-Kabeln (10 × 3 Adern, 0,6 mm Kupferleiter, 10,5 mm Kabeldurchmesser) zu verlegen. Zur Führung der Dienstleitungen zwischen Klinkenumschalter und Zwischenverteiler verwendet man 40(42-)adriges rundes LP-Kabel (20 × 2 Adern, 0,6 mm Kupferleiter, 12 mm Kabeldurchmesser).

Von den senkrechten Lötösenstreifen des Zwischenvertelers aus führen: die Fernleitungen in 40(42)adrigen runden LP-Kabeln der beschriebenen Art nach den Fernanruf- und Ferntrennrelais (10 × 4 Adern, a-, b-Sprechadern, c-Ader zum Trennrelais, d-Ader zur Haltewicklung des Anrufrelais), ferner die Dienstleitungen in 40(42-)adrigem runden LP-Kabel (20 × 2 Adern) zu den Dienstklinkenleitungen in den Fernschränken, und endlich

Leitungen von den Fernklinkentasten, Sammel- und Nachttasten in 40(42-)adrigen runden LP-Kabeln zu den Relais der Fernklinkenleitungen.

Von den wagerechten Lötösenstreifen am Zwischenverteiler verlaufen die Fernleitungen nach den Abfrageklinken und Anrufampfen, die Dienstleitungen

nach den Dienstanruf- und Trennrelais und die Leitung zur Fernklinkentaste (und Fernklinkenschlußlampe) platzweise in 30(33-)adrigen runden LP-Kabeln (10×3 Adern, 0,6 mm Kupferleiter, Kabeldurchmesser 10,5 mm). Im weiteren sind die Sammeltasten und Nachttasten der Fernschränke mit wagerechten Lötösenstreifen am Zwischenverteiler durch 20(22-)adriges rundes LP-Kabel (10×2 Adern, 0,6 mm Kupferleiter, Kabeldurchmesser 9 mm) verbunden.

Zur Herstellung der Schaltverbindungen am Zwischenverteiler dient für 2adrige Leitungen (Dienstleitungen, Sammeltasten- und Nachttastenleitungen) 2adriger LPV-Draht (0,6 mm Kupferleiter, a-Ader weiß, b-Ader braun), für die Fernleitungen nach den Fernanrufzeichen und der Fernklinkenschlußlampe 5adriger LPV-Draht (0,6 mm Kupferleiter, a-Ader weiß, b-Ader braun, c-Ader (Klinkenhülsenleitung) rot, d-Ader (Fernanruf Lampe) blau, e-Ader (Fernklinkenschlußlampe) grün).

(1934) Sonstige Kabel und Drähte. An Kabeln für Innenleitungen in den Fernschränken werden verwendet:

a) für Fernvermittlungsleitungen (Ko-Leitungen) in OB-Ämtern 60(63-)adriges rundes LP-Kabel (20×3 Adern, 0,6 mm Kupferleiter, Kabeldurchmesser 14 mm). Die gleiche Kabelart dient auch zur Verbindung zwischen den Fernvermittlungsplätzen und der Fernschrankreihe. In ZB-Ämtern 63adriges flaches LP-Kabel ($20 \times 3 + 3$ Adern, 0,6 mm Kupferleiter, Abmessung des Kabels 8×22 mm).

b) für Fernklinkenleitungen (Kf-Leitungen) in OB-Ämtern 60(63-)adriges rundes LP-Kabel der vorstehend beschriebenen Art; in ZB-Ämtern 63adriges flaches LP-Kabel wie zu a;

c) für Dienstklinkenleitungen (Kd-Leitungen) in OB-Ämtern 60(63-)adriges rundes LP-Kabel wie zu a; in ZB-Ämtern 40(42-)adriges rundes oder flaches LP-Kabel (20×2 Adern, 0,6 mm Kupferleiter).

d) für Dienstleitungen von den Fernschränken nach den Fernvermittlungsplätzen in OB-Ämtern 40(42-)adriges, in ZB-Ämtern das gleiche oder 60(63-)adriges rundes LP-Kabel. Führen Fernvermittlungsleitungen vom Fernamt nach außenliegenden Ortsämtern, so verlaufen die Dienstleitungen von der senkrechten Seite des Hauptverteilers aus mit in den Kabeln der Fernvermittlungsleitungen.

Besondere Leitungen, z. B. nach der Aufsichtsstelle, der Oberaufsicht, mit 60(63-)adrigen runden LP-Kabeln. Meldeleitungen, Leitungen zur Störungsmeldestelle, zur Auskunftsstelle usw. werden in der Regel in 40(42-)adrigen runden LP-Kabeln (20×2 adrig der erwähnten Bauart) geführt. Die gleiche Kabelart oder 60(63-)adriges LP-Kabel — je nach der Schaltung — wird für Signalleitungen verwendet.

Als Speiseleitungen nach Vielfachumschaltern, Fernschranken, Relaisgestellen usw. kommt gummiisolierter Draht (GB-Draht) mit 1 mm oder 1,8 mm Kupferleiter — je nach der Länge der Leitungen und der Stromstärke — zur Verwendung. Farbe der Ader für negativen Strom: blau; für positiven Strom: rot. Für die Zuführung von Ruf(Wechsel-)strom nach Vielfachumschaltern, Fernschränken, Relaisgestellen usw. wird 2adriger GB-Draht mit 0,8 mm Kupferleiter, Farbe der Adern schwarz-rot, benutzt.

Die Beschaltung der Wähler- und Relaisätze für SA-Ämter erfolgt mit verzinntem Seidenschalt draht (VSS-Draht mit 0,6 mm Kupferleiter) oder mit Lackpapierschalt draht (LPS-Draht mit 0,6 mm Kupferleiter).

Die Platzkabel und einzelne Verbindungen in Vielfachumschaltern, Fernschränken, Meldetischen usw., die Verdrahtung der Relaischienen in Handämtern werden aus Lackpapierverteilerdraht (LPV-Draht mit 0,6 mm Kupferleiter) hergestellt.

Fernsprechgebühren.

(1935) Allgemeines. In Deutschland ist nach der Verfassung das Fernsprechwesen Angelegenheit des Reiches. Durch das Reichspostfinanzgesetz vom 18. 3. 1924 ist der Betrieb als „Deutsche Reichspost“ (DRP) vom Reichspostminister unter Mitwirkung eines Verwaltungsrats zu verwalten. Der Verwaltungsrat beschließt über die Gebührenbemessung im Fernsprechverkehr. Enthalten sind die Gebühren in der Fernsprechordnung. Zu unterscheiden ist Orts- und Fernverkehr.

(1936) Ortsverkehr. Erhoben wird ein einmaliger Apparatbeitrag, Grundgebühr und Gesprächsgebühren. Der Apparatbeitrag beträgt ab 1. 5. 1927 80 Mk. und gilt für Anschlüsse im Umkreis von 5 km, darüber hinaus einmalige Baukostenzuschüsse und laufende Zuschläge. Die Grundgebühr ist nach dem Umfang des Netzes gestaffelt (je 3...8 RM im Monat). Die Gesprächsgebühren sind ungestaffelt und betragen einheitlich 10 Pf. je Gespräch; monatlich sind je nach Größe des Netzes mindestens 20 bis 50 Gespräche zu bezahlen. Von der amtlich ermittelten Gesprächszahl werden 3 bis 5 vH nicht berechnet als Ausgleich für Irrtümer bei der Ausführung oder Aufzeichnung.

Die Hauptarten der Gebührenberechnung sind: Erhebung einer Pauschgebühr mit Zulassung einer beliebigen Gesprächszahl oder einer Grundgebühr in Verbindung mit Einzelberechnung der Gespräche, oder einer Anschlußgebühr mit dem Anrecht auf eine gewisse Gesprächszahl. Am günstigsten ist Einzelberechnung, weil die empfangene Leistung genau bestimmbar ist; sie wird daher wachsend angewandt, obwohl die Aufzeichnung besondere Kosten verursacht.

(1937) Aufzeichnung der Ortsgespräche. a) Strichzählung. Am Vermittlungsplatz liegt ein Vordruck aus mit kleinen Feldern in der Anordnung der Anrufzeichen; für jedes gebührenpflichtige Gespräch macht die Beamtin einen Strich. Mit Hilfe von Nachklebefeldern können für den einzelnen Teilnehmer bis zu 100 Gespräche vermerkt werden. Die Vordrucke reichen an stark sprechenden Plätzen 3 bis 4 Tage, sonst länger aus.

b) Tastenzählung. Zum Abfragestöpsel jedes Schnurpaars am Vermittlungsplatz gehört eine Zähl-taste. Wird sie gedrückt, so spricht ein Zähler Z (Abb. 1209) an, der an der c -Ader der Teilnehmerleitung liegt. Eine Wicklung auf Z (500Ω) ist so bemessen, daß Z vor dem Tastendruck über w nicht anspricht. ZKR zieht seinen Anker erst an, sobald Z angesprochen und die Wicklung von 38Ω eingeschaltet hat. Am Aufleuchten der Zählampe ZKL überwacht die Beamtin, daß Z fortgeschaltet ist. Nach Loslassen von ZT wird Z über die Wicklung von 38Ω und w gehalten, so daß bei nochmaligem versehentlichen Drücken der Taste Z nicht anspricht. Gezählt wird am Schluß des Gesprächs vor dem Herausziehen des Abfragestöpsels AS . Für jede Teilnehmerleitung ist ein besonderer Zähler vorhanden. Die Zähler werden im Verteilerraum — nach der Teilnehmernummer geordnet — an Gestellen vereinigt. Der Stand jedes Zählers wird monatlich einmal abgelesen.

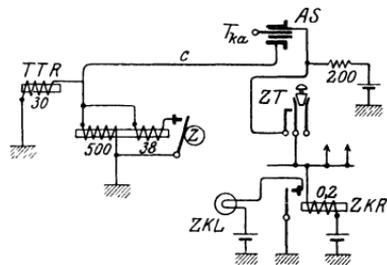


Abb. 1209. Gesprächszählerschaltung.

Die Tastenzählung ist zuverlässiger als die Strichzählung und erfordert weniger Arbeit. Bewertet man die Vermittlungstätigkeit bei Herstellung einer Ortsverbindung ohne Gesprächszählung mit 1, so erhöht sich die Leistung bei Tastenzählung auf 1,05, bei Strichzählung auf 1,17. Die Arbeitersparnis wiegt die Mehrkosten für die Zähler Z auf; bei Tastenzählung ist auch die Rechenarbeit bei der Gebührenabrechnung einfacher.

c) Selbsttätige Zahlung. *ZT* wird fortgelassen und durch eine Schaltanordnung im Schnurpaar ersetzt, die selbsttätig *Z* zum Ansprechen bringt, jedoch mit Hilfe eines Verzögerungsrelais erst 40 s nach Herstellung der Verbindung, um Zeit zur Aufhebung zu gewinnen, falls eine unrichtige Verbindung hergestellt war.

Im SA-Betriebe fällt die Mitwirkung durch Beamtin fort. Der Zähler des anrufenden Teilnehmers spricht an beim Zusammenfallen der Verbindung, aber nur, wenn der verlangte Teilnehmer geantwortet hat.

(1938) Fernverkehr. Die Gebühren werden nach der Entfernung und nach der Zeit gestaffelt. Bei der DRP sind Stufen von 5, 15, 25, 50, 75, 100, 200, 300 usw. km eingeführt; ein Gespräch von 3 min kostet ab 1. 5. 1927 10, 30, 40, 70, 120, 150, 180 Pf., für jede weiteren 100 km um 30 Pf. steigend.

Der Grundpreis gilt meistens für eine Gesprächsdauer von 3 min, bei kurzen Entfernungen auch von 5 min. Bei längeren Gesprächen wird die Dauer auf volle Minuten abgerundet und die anteilige Gebühr nach Minuten berechnet. Ausnahme bei kurzen Entfernungen, bei denen je auf volle 3 oder 5 min abgerundet wird.

Bei der DRP wird für bevorzugte Erledigung der Gespräche höhere Gebühr erhoben: Blitzgespräche zum 10fachen, dringende Gespräche zum 3fachen Satz.

Zur besseren Ausnutzung der Fernleitungen in der geschäftsstilleren Zeit wird vielfach Gebühreennachloß gewährt, in den Abendstunden auf etwa die Hälfte, des Nachts auf ein Viertel der Tagessätze. Die DRP berechnet für Monatsgespräche zur Nachtzeit den halben Preis.

Die Gebühr ist zu zahlen, wenn beide Teilnehmer den Anruf beantwortet haben. Antwortet ein Teilnehmer nicht, so wird als Vergütung für die Inanspruchnahme der Fernleitung und für nutzlose Betriebsarbeit ein Fünftel des Grundpreises erhoben.

(1939) Aufzeichnung der Ferngespräche. Für jedes Gespräch wird ein Zettel benutzt, von 14 × 6 cm, entsprechend den Abmessungen der Rohrpostrohre. Dieser Zettel wird im Meldeamt ausgeschrieben, enthält Amt und Nummer des anrufenden und des verlangten Teilnehmers und gelangt zum Fernplatz, wo eine Beamtin die Zeit der Abwicklung und die Dauer des Gesprächs vermerkt. Die Zeitdauer wird bestimmt nach Taschenuhr, Saaluhr oder besonderer Gesprächsuhren. Letztere werden an der Vorderwand des Fernschanks in Gesichtshöhe angebracht. Die Laufzeit der Uhr beträgt 6 min; die Uhr wird durch Umlegen eines Hebels in Gang gesetzt oder angehalten. Bei 3 und 6 min erfolgt ein Glockenzeichen als Erinnerung für die Beamtin; die Uhr muß nach 6 min mit einem Druckknopfarm wieder aufgezogen werden.

Beim Gebrauch von Uhren werden oft Ablesungs- und Schreibfehler gemacht. Daher ist man zu Zeitstempeln übergegangen, namentlich in größeren Ämtern. Die Stempel enthalten von einer Hauptuhr elektrisch angetriebene Werke, die von 5 zu 5 s die Zeit angeben; für je 2 Plätze wird ein Stempel benutzt. Der Zettel wird am Anfang und Ende des Gesprächs eingeschoben und die Zeiten übereinander abgedruckt, woraus sich die Zeitdauer ergibt. Beim Kalkulagrafen (vgl. Hersen und Hartz, S. 527) entfällt die Rechnung, da ein besonderer Abdruck des Zeigerstandes die seit Gesprächsbeginn verstrichene Zeit anzeigt. Auf Grund der Zeitdauer und sonstigen Vermerke wird die Gebühr berechnet und auf dem Zettel ausgeworfen.

(1940) Die Einziehung der Gebühren erfolgt bei der DRP monatlich. Für jeden Teilnehmer wird ein Kontozettel angelegt, in den die Ortsgebühren nach der Monatsgesprächszahl in einer Summe, die Ferngebühren nach den einzelnen Gesprächszetteln aufgenommen werden; die Monatsabrechnung umfaßt durchschnittlich 20 Zettel. Wenn die Schuld 100 Mk. übersteigt, muß sie zwischen durch beglichen werden. Bei größeren Ämtern wird die Abrechnung über den Monat verteilt, indem sie an jedem Tag etwa $\frac{1}{25}$ der Teilnehmer umfaßt, um die Belastung der Rechnungsstelle gleichmäßiger zu machen. Die durch Konto-

zettel mitgeteilte Schuld hat der Teilnehmer zum Postschalter zu bringen, im Gegensatz zu dem sonst üblichen Holverfahren. Für ländliche Anschlüsse ist das Holverfahren vorzuziehen; in der Stadt ist es zu teuer, wenn auch die Beträge etwas schneller einkommen. Ist innerhalb 8 Tagen nicht gezahlt, so wird Gesprächssperre verhängt. Sonst wird auf Grund der Einzahlung am Postschalter das Konto bei der Rechenstelle ausgeglichen.

Betrieb der Fernsprechämter.

(1941) Gliederung. Bei der DRP ist Fernsprech-, Telegraphen- und Postbetrieb bei derselben Anstalt vereinigt. Ist die Zahl der Teilnehmeranschlüsse größer als 100, so werden getrennte Fernsprechbetriebsstellen, bei etwa 2000 und mehr Anschlüssen besondere Ämter ohne Postbetrieb, eingerichtet. Orts- und Fernbetrieb sind in der Regel räumlich vereinigt, mit Ausnahme großer Ämter (mit 5000 und mehr Anschlüssen), die besonderen Fernsaal haben.

Für den Ortsverkehr findet in steigendem Maße Übergang von dem alteren Handbetrieb zum Selbstanschlußbetrieb statt; im Fernverkehr herrscht der Handbetrieb, abgesehen von dem Verkehr der kleinen selbsttätigen Landzentralen zur Überweisungsanstalt.

Zur Vermittlung der Ortsgespräche reicht bei Netzen bis zu 10000 Anschlüssen ein Amt aus, sonst mehrere Ämter mit Verbindungsleitungsbetrieb (*A B*-Betrieb; die *A*-Beamtin fragt den Teilnehmer ab, die *B*-Beamtin beim zweiten Amt verbindet mit dem verlangten Teilnehmer). Für die Ferngespräche besteht als besondere Betriebsform der Schnellverkehr, bei dem der Teilnehmer, ohne den Hörer anzuhängen, sofort die Fernverbindung erhält.

Neben den Vermittlungsbeamtinnen braucht man besondere Aufsichtsbeamtinnen, die den Betrieb regeln und helfend eingreifen. In großen Ämtern rechnet man eine Aufsichtsbeamtin auf je 12 *A*-, 10 *B*- und 12 Fernbeamtinnen.

Bei größerem Betrieb sind besondere Kräfte nötig: im Ortsverkehr für Fernvermittlung, Auskunft, Störungsanmeldung, Störungsbeseitigung, Austreteablösung, Betriebsüberwachung, Schulamt (Lehrerinnen und Schulerinnen); im Fernverkehr für Meldeamt, Auskunft, Klinkenumschalter, Betriebsüberwachung, Schulamt, Rechenstelle.

(1942) Verlauf und Umfang des Verkehrs. Orts- und Fernverkehr sind in den einzelnen Tagesstunden verschieden stark. Den durchschnittlichen Verlauf zeigt Abb. 1210; man bemerkt eine Hauptspitze am Vormittag zwischen 10 und 11, worauf nach einer Einsattelung etwa um 14 Uhr eine zweite Spitze gegen 16 Uhr folgt. Der Verkehr von 7 bis 14 ist gewöhnlich 33 vH größer als der von 14 bis 21.

Für Bemessung der Betriebsmittel ist der Verkehr in der Hauptverkehrsstunde (HVSt) maßgebend; er beträgt meistens $\frac{1}{8}$ des Tagesverkehrs von 7 bis 21, steigt bei Ämtern in Geschäftsgegend auf $\frac{1}{7}$, sinkt in Wohnvierteln auf $\frac{1}{9}$ und weniger.

Die durchschnittliche Benutzung der Anschlüsse für den Orts- und Fernverkehr richtet sich nach der Größe des Netzes, den Gebührensätzen und den Haupterwerbszweigen des Ortes. Als Durchschnitt gilt folgende Tafel.

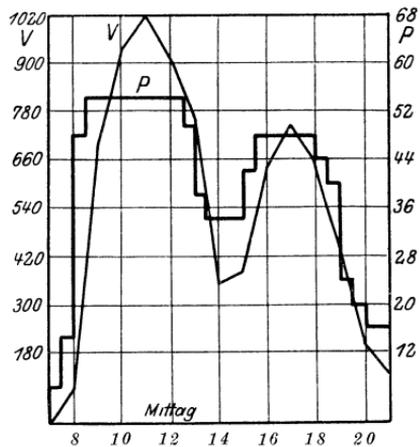


Abb. 1210 Verlauf des Verkehrs

Zahl der Anschluß- leitungen	Zahl der täglich von jedem Anschluß ausgehenden	
	Ortsgespräche	Ferngespräche
0 – 50	0,7	1,1
51 – 100	1,1	1,1
101 – 200	1,8	1,0
201 – 500	1,8	1,0
501 – 1000	3	0,7
1001 – 5000	4	0,6
5001 – 10000	5	0,3
10001 – 50000	5	0,2
über 50000	6	0,1

Der Verkehr wächst mit der Zahl der Anschlußleitungen. Er unterliegt regelmäßigen Schwankungen innerhalb der Woche (Montags stärker, Sonnabends schwächer), schwillt bei besonderen Ereignissen (Wahlen, vor den Festen) an, flaut im Sommer zur Reisezeit ab, nimmt in manchen Orten mit den Hauptzeiten für gewisse Geschäftsweize zu.

(1943) Verkehrsermittlungen. Gezählt werden im Ortsverkehr: die von den Teilnehmern ausgehenden Anrufe gegen Pauschgebühr und gegen Einzelgebühr, die Anrufe von Münzfernsprechern, ferner die auf Fernvermittlungs- und Verbindungsleitungen ankommenden Anrufe. Im Fernverkehr: die abgehenden, ankommenden und Durchgangsgespräche, die Gesprächsanmeldungen. Zählungen zum Zweck der Verkehrsermittlung finden monatlich an zwei aufeinander folgenden Tagen mit normalem Verkehr statt (kein Montag, Sonnabend, nicht am 1. oder letzten im Monat, kein Tag vor Festen). Aus beiden Tagen der Durchschnitt.

Gezählt wird von den Bedienungskräften selbst, immer von Stunde zu Stunde. Hilfsmittel:

a) Elektromagnetische Zähler, die durch Drucken von Zähl-tasten an den Arbeitsplätzen fortgeschaltet werden; sie sind an Gestellen vereinigt und werden stündlich von besonderen Kräften abgelesen,

b) Handdruckzähler, an den Arbeitsplätzen selbst,

c) Strichzählung auf Vordrucken, die an den Arbeitsplätzen ausgelegt werden. Zählregeln: Als Anruf zählt jeder Fall, in dem ein Auftrag entgegengenommen wird, auch wenn nicht ausführbar. Zu zählen ist nach Entgegennahme des Auftrags. Aushilfe am Nachbarplatz zählt die Beamtin für ihren Platz. Richtige Zählung wird von der Aufsicht durch Stichproben überwacht.

Außer dem Verkehr wird die Besetzung der Arbeitsplätze nach Platzstunden ermittelt. Stundenergebnisse werden in Tagesübersichten zusammengefaßt und nach Bildung des Tagesdurchschnitts durch Schaulinien nach dem Muster der Abb. 1210 dargestellt. In Betriebsübersichten (Muster auf S. 36 u. 37 des Anhangs 2 zur ADA V 6) werden die Grundzahlen für Verkehr und Leistung errechnet.

In Ortsnetzen mit mehreren Ämtern werden vierteljährlich besondere Zählungen veranstaltet zur Bestimmung des Anteils des abgehenden Verkehrs. An 2 Tagen von 9 bis 12 und 15 bis 18 wird gezählt: die Gesamtzahl der Anrufe, die Zahl der Anrufe, die über Verbindungsleitungen mit Anrufbetrieb und mit Dienstleistungsbetrieb weitergegeben werden.

Für schnelle Bestimmung der Platzbelastung genügt Stöpselzählung. An 2 Tagen wird von 9 bis 12 von 5 zu 5 min an jedem Platz die Zahl der steckenden Abfragestöpsel festgestellt. Die Summe der 6×12 Ablesungen für denselben

Platz gibt ein Maß für die Platzbelastung (vgl. Telegr. u. Fernspr.-Techn. 1922, S. 94).

(1944) Verkehrsbewertung. Die gesamte Betriebsleistung ist gleich Verkehrsmenge mal Leistungswert der einzelnen Betriebsvorgänge. Als Einheit der Leistung gilt die Herstellung einer Pauschgebühren-Ortsverbindung am dreiplätzigem Glühlampen-Vielfachumschalter bei voller Besetzung aller Plätze mit geschulten Kräften in $\frac{1}{230} \cdot h$ ($h = 15,65$ s). Die Regelleistung einer Vermittlungsbeamtin am Ortsplatz beträgt demnach 230 solcher Verbindungen je Stunde. Für jede Verbindung 15,65 s, davon 8 s für eigentliche Verbindungsarbeit (Abfragen, Verbinden, Rufen), der Rest für Überwachen und Pausen. Verbindungsarbeit soll ($\alpha =$) 0,5 bis 0,6 der Gesamtzeit betragen; bei größerem α Ermüdung des Personals. In der Hauptverkehrszeit kann bis 10 vH Mehrbelastung eintreten. Diese Werte gelten für durchschnittlich begabte Kräfte und gewöhnlichen Betrieb und gewährleisten befriedigende Abwicklung des Dienstes.

Für die hauptsächlichsten Betriebsvorgänge sind folgende Werte ermittelt worden:

Betriebsvorgang	Wert in Einheiten			Bemerkungen
	ohne Zahlung	mit Tastenzahlung	mit Strichzählung	
I. An Teilnehmerplätzen (A-Plätze) Herstellung einer Ortsverbindung:				Zuschlag bei Benutzung von Klappenschranken = 0,3. Zuschlag für Gespräche, die von Münzfernsprechern ausgehen = 2,2.
1. im eigenen Vielfachfeld	1,0	1,05	1,17	
2. über abgehende Verbindungsleitungen:				
a) mit Dienstleistungsbetrieb	1,5	1,55	1,67	
b) ohne „	2,0	2,05	2,17	
II. An Plätzen für ankommende Verbindungsleitungen (B-Plätze): Herstellung einer Verbindung, wenn demselben Amt zugeordnet sind:				
3 B-Plätze	0,40	Einheiten		
2 „	0,41	„		
1 B-Platz	0,46	„		
III. An Fernplätzen: Herstellung einer				
abgehenden Fernverbindung	10—12	Einheiten		
ankommenden „	6	„		
durchgehenden „	14	„		; am Platz, der die Fernleitung abgibt, werden 2 Einheiten je Verbindung gerechnet.
IV. An Meldeplätzen: Für Entgegennahme einer Anmeldung	4	Einheiten.		

Wenn in der verkehrsschwächeren Zeit eine Beamtin mehrere Teilnehmerplätze zu bedienen hat, sinkt die Leistung. (Übersicht hierzu auf S. 35 des Anhangs 2 zur ADA V 6.) Für OB-Ämter mit Vielfachbetrieb und Strichzählung, bei denen als Grundleistung bei Vollbetrieb 180 Anrufe gelten, ergibt sich:

Das Amt umfaßt		7 Orts- plätze	6 Orts- plätze	5 Orts- plätze	4 Orts- plätze	3 Orts- plätze	3 Orts- plätze
Die Grundleistung für 1 h beträgt		180 Anrufe	180 Anrufe	180 Anrufe	180 Anrufe	180 Anrufe	180 Anrufe
Es sind zu besetzen	1 Platz	52	58	70	85	104	133
	2 Plätze	191	209	241	266	309	360
	3 Plätze	378	400	448	497	540	
	4 Plätze	583	619	684	720		
	5 Plätze	810	864	900			
	6 Plätze	1048	1080				
	7 Plätze	1260					

(1945) Platzbesetzung. Sie wird bestimmt durch das Verhältnis der Verkehrsmenge für jede Stunde mal der Bewertungszahl für die Arbeit an den Platzarten, geteilt durch das Stundenmaß 230. Die Bewertungszahl (c) wird nach der Tafel unter (1944) berechnet. Beispiel: Für einen A-Platz mit Tastenzählung, an dem 45 vH der Anrufe im eigenen Vielfachfeld, 40 vH über Verbindungsleitungen mit Dienstleistungsbetrieb, 15 vH. ohne Dienstleistungsbetrieb abgewickelt werden, findet man $c = (45 \cdot 1,05 + 40 \cdot 1,55 + 15 \cdot 2,05) : 100 = 1,4$. Sind für die Hauptverkehrsstunde 2940 Anrufe festgestellt, so sind $2940 : 245 = 12$ Plätze zu besetzen ($245 = 230 + \sim 10$ vH). Die Teilnehmerleitungen, die die 2940 Anrufe gebracht haben, werden mit Hilfe des Zwischenverteilers gleichmäßig auf die 12 Plätze verteilt und die Platzbelastung mit Hilfe der unter 3 genannten Stöpselzählung ausgeglichen. Für die Stunden mit schwächerem Verkehr, in denen eine Beamtin mehrere Plätze zu bedienen hat, ist das Stundenmaß zu verringern.

In Fernämtern richtet sich die Besetzung nach der Wichtigkeit der Leitungen. Zur besseren Ausnutzung von langen Leitungen geringere Belastung der Bedienungsbeamtin. Durchschnittliche Belegung jedes Platzes mit 3 bis 5 Fernleitungen, mit Leitungen über 100 km nur 1 oder 2 je Platz. Die Fernleitungen werden des Abends, Sonntags und Nachts auf Sammelplätze umgelegt. Zahl der Sammelplätze = $\frac{1}{4}$ der in der HVSt besetzten Plätze.

(1946) Betriebsüberwachung. (Vgl. auch Dommerque, Manual Traffic Studies in Telephone Engineer Chicago Bd. 29, Nr. 6, Juni 1925. S. 20). Der Vermittlungsdienst wird ohne Vorwissen der Beamtinnen überwacht; dabei werden Fehler und Betriebszeiten mit der Stoppuhr festgestellt. Im Ortsverkehr gelten für einen befriedigenden Betrieb folgende Werte:

Durchschnittliche Zeit bis zum Abfragen eines Anrufs = 4,3 s

Durchschnittliche Zeit bis zur Beantwortung durch den angerufenen Teilnehmer:

a) bei Verbindungen im eigenen Vielfachfeld = 17 s

b) bei Verbindungen über einen B-Platz = 25 s

Zahl der Besetztfälle = 20 vH.

Durchschnittliche Zeit bis zur Trennung nach beendetem Gespräch = 4 s

Irrtümer der Beamtinnen bei = 2 vH
der Anrufe.

Im Fernverkehr wird der Ausnutzungsgrad der Fernleitungen und die Größe des Zeitverlusts zwischen den einzelnen Gesprächen festgestellt, außerdem wieviel Fehler bei der Zeitbestimmung für die Gespräche unterlaufen sind. Die Überwachung jeder Leitung dauert eine Stunde, in der Zeit von 9 bis 12, 15 bis 18.

Leitungen über 250 km werden alle 2 Wochen, über 100 km alle 3 Wochen, kürzere seltener überwacht. Tägliche Überwachungszeit 1,5 vH. der Platzstunden. Wegen des Vordrucks für Aufzeichnungen siehe Arch. f. Post-Telegraphie Jahrg. 1923, Heft 12. Die durchschnittliche Ausnutzung der Leitungen über 250 km beträgt 67 vH., bis 100 km 60 vH., der kürzeren 50 vH. Bei etwa 4 vH. der Verbindungen unterlaufen Fehler bei der Bestimmung der Gesprächsdauer.

Der Zeitverlust zwischen zwei Gesprächen, der hauptsächlich durch Warten auf den gerufenen Teilnehmer und durch dienstliche Mitteilungen verursacht wird, beträgt bei bester Betriebsführung etwa 40 s, sonst 1 bis 1 $\frac{1}{2}$ min. Im Durchschnitt dauert jedes Gespräch 4 $\frac{1}{2}$ min.

Betriebsverfahren.

(1947) Im Ortsamt mit Handvermittlung wird der vom Teilnehmer ausgehende Anruf der Abfragebeamtin zugeleitet, die für die Verbindung mit dem verlangten Teilnehmer sorgt. Unter einfachen Verhältnissen wird, sobald der Teilnehmer anruft, am Abfrageplatz im *OB*-Betrieb eine Klappe geworfen, im *ZB*-Betrieb eine Glühlampe zum Aufleuchten gebracht. Als Verbindungsmittel dient ein Schnurpaar, aus Abfrage- und Verbindungsstöpsel (*AS*, *VS*) bestehend. *AS* wird in eine der Klappen oder der Glühlampe zugeordnete Abfrageklinke *Ka*, *VS* in eine zur Leitung des verlangten Teilnehmers gehörige Klinke *Kv* gesteckt, die gewöhnlich vom Abfrageplatz unmittelbar erreicht werden kann.

Zur besseren Ausnutzung der Arbeitskraft der Abfragebeamtin und zur Vermeidung längerer Wartezeit, bis abgefragt wird, wird bei Ämtern mit Vielfachbetrieb der Zufluß der Anrufe zum Abfrageplatz besonders geregelt. Als Hauptmittel dient der Zwischenverteiler. An ihm liegen auf der einen Seite die Teilnehmerleitungen nach der Leitungsnummer geordnet, auf der anderen Seite die Zuführungen platzweise nach den Abfrageklinken. Mit Hilfe loser Drähte werden soviel Teilnehmerleitungen, deren Anrufrichte aus den Gebührenrechnungen ermittelt wird, jedem Abfrageplatz zugeschaltet, daß er die richtige Belastung erhält. Bei der Unstetigkeit des Anrufzuflusses können trotzdem — hauptsächlich in der Hauptverkehrszeit — eine größere Zahl von Anruflampen gleichzeitig aufleuchten. Zum Abfangen dieser Spitzen haben die Nachbarplätze auszuhelfen. Wirksamer ist eine Wiederholung der Anruflampen drei Plätze weiter. Dadurch wird jeder Anruf im ganzen 6 Beamtinnen zugänglich und die Unstetigkeit gemildert. Die damit verbundene bessere Ausnutzung der Arbeitskraft der Abfragebeamtin beträgt 6 vH. Behelfsmäßig verwendet man auch Wegwerf schnüre. Es sind dies am Abfrageplatz eingebaute Einzelschnüre mit Stöpseln, mit denen überschüssige Anrufe nach Hilfs-Abfrageplätzen weitergegeben werden. Diese Art der Anrufverteilung läßt sich auch für sämtliche Anrufe durchführen. Sie kommen zunächst an einem zentralen Anruffield an (vgl. die Ortsamteinrichtung in Hamburg, ETZ 1910, S. 1109), von wo sie mit besonderen Verteilerschnüren nach freien Abfrageplätzen weitergegeben werden. Die Zuweisung kann auch mit Hilfe von Wählern auf selbsttätigem Wege erfolgen.

Das Hilfsmittel der Abfragebeamtin zur Herstellung der Verbindungen besteht meistens aus Schnurpaaren, von denen 15 bis 18 am Abfrageplatz eingebaut sind. Zu jedem Schnurpaar gehören, wie oben erwähnt, zwei Stöpsel *AS*, *VS*, ein Sprechumschalter *U*, zwei Überwachungslampen *L* und eine Zähltaste *ZT*. Der Sprechumschalter hat drei Stellungen: eine Mittel- oder Ruhestellung, in dem *AS* mit *VS* verbunden ist, eine Abfragestellung, die durch Umlegen des Sprechumschalterhebels nach vorn eingenommen wird, in der die Abfrageeinrichtung der Bedienungsbeamtin an *AS* angeschaltet ist, und eine Rufstellung — der Hebel ist nach hinten umgelegt —, in der Rufstrom über *VS* entsandt wird. Die Abfragebeamtin hat folgende Handgriffe auszuführen: Einsetzen von *AS* in die Abfrageklinke des anrufenden Teilnehmers, Umlegen von *U* in die Abfragestellung, nach Entgegennahme und Wiederholung der Nummer des verlangten Teil-

nehmers Einsetzen von *VS* in die — vorher auf Besetztsein geprüfte — Klinke *Kv* der Leitung des verlangten Teilnehmers, Entsenden von Rufstrom durch Umlegen von *U* in die Rufstellung. Die beiden Überwachungs Lampen, von denen eine zu *AS* und die andere zu *VS* gehört, zeigen der Beamtin den Stand der Verbindung an. Sie sind dunkel, wenn der Teilnehmer den Hörer abgenommen hat und leuchten auf, sobald der Hörer angehängt wird. Jede Lampe wird unabhängig von der anderen gesteuert. Ist nach der ersten Rufstromentsendung die zu *VS* gehörige Lampe nicht erloschen, so wiederholt die Beamtin den Ruf durch nochmaliges Umlegen von *U*. Den Schluß der Verbindung erkennt die Beamtin am Aufleuchten beider Lampen. Sie hat dann die Zähltaste zu drücken — zur Aufzeichnung des Gesprächs auf dem Zähler, der zur Leitung des anrufenden Teilnehmers gehört — und anschließend beide Stöpsel *AS* und *VS* aus den Klinken herauszuziehen.

Zur Steigerung der Leistungen lassen sich die Handgriffe zum Teil durch selbsttätige Schaltvorgänge ersetzen, ähnlich wie es in den Selbstanschlußämtern geschieht. Hauptsächlich kommt folgendes in Frage. Mit dem Einsetzen von *AS* wird die Abfrageeinrichtung eingeschaltet, so daß *U* nicht in die Abfragestellung umgelegt zu werden braucht. Die Rufstellung von *U* wird dadurch entbehrlich gemacht, daß nach Einführen von *VS* in *Kv* selbsttätig eine Rufstromentsendung einsetzt (alle 5 Sekunden 1 Sekunde lang Rufstrom), die sich selbsttätig abschaltet, sobald der verlangte Teilnehmer den Hörer abnimmt. Auch die Zählung kann selbsttätig herbeigeführt werden, nachdem am Schluß des Gesprächs beide Teilnehmer den Hörer eingehängt haben. An einem Arbeitsplatz, der mit diesen Hilfsmitteln ausgestattet ist, fällt die Bedienung des Sprechumschalters und der Zähltaste fort.

Solange die Klinke *Kv* von der Abfragebeamtin unmittelbar abgereicht werden kann, genügt zur Herstellung der Verbindung eine Beamtin. Befindet sich aber *Kv* an anderer Stelle, wie es in großen Ortsnetzen mit mehreren Ämtern der Fall ist, sei es im eigenen oder in einem anderen Amt, so wird die Mitwirkung einer zweiten Beamtin notwendig. Diese übernimmt die Aufgabe, an ihrem Arbeitsplatz einen zweiten Stöpsel *VS* in die Klinke *Kv* des verlangten Teilnehmers einzuführen. Der erste Stöpsel *VS* wird von der ersten Beamtin in eine besondere Klinke eingeführt, die über „Verbindungsleitungen“ mit dem zweiten Stöpsel *VS* verbunden ist. Näheres über den Verbindungsleitungsverkehr (1740 u. f.).

(1948) Im Fernbetrieb erfolgt die Anmeldung und die Ausführung der Gespräche meistens getrennt, an Melde- und Fernplätzen. Nur bei den kleinen Ämtern (mit 5 und weniger Fernplätzen) nehmen die Fernplätze auch die Anmeldungen entgegen.

a) Betrieb an den Meldeplätzen. Der Teilnehmer, der ein Gespräch anmelden will, wird über besondere Meldeleitungen vom Ortsamt zum Meldeamt verbunden, wo ein Anrufzeichen erscheint (Fallen einer Klappe oder Aufleuchten einer Glühlampe). Die Meldebeamtin schaltet sich in die Meldeleitung ein, läßt sich die Angaben für das Gespräch machen (Ort und Nummer des anrufenden und des gewünschten Teilnehmers, ob gewöhnlich oder dringend usw.) und trägt sie auf einem Gesprächszettel ein, dessen Größe 14 × 6 cm beträgt. Außerdem vermerkt sie die Zeit der Anmeldung. Sie löst die Verbindung mit dem anmeldenden Teilnehmer, gibt den Gesprächszettel zum Fernamt weiter, und hält sich zur Entgegennahme der nächsten Anmeldung bereit.

In großen Ämtern mit zahlreichen Meldeplätzen werden besondere Hilfsmittel angewendet, um die Meldeanrufe den jeweilig empfangsbereiten Meldeplätzen zuzuleiten. Technisch am einfachsten ist eine Vielfachschaltung der Anruflampen an mehreren Plätzen, so daß ein Anruf bei einer Anzahl von Beamtinnen zugleich erscheint; eine unbeschäftigte nimmt ihn auf. Verwickelter ist eine Meldeanrufverteilung mit Handbetrieb. Hierbei erscheinen sämtliche Anrufe an einem Verteilerplatz, der soviel Stöpsel *MS* und Schnüre erhält, als Meldeplätze vorhanden

sind. Jeder *MS* hat Verbindung mit einem Meldeplatz. Die Verteilerbeamtin leitet die eingehenden Anrufe mit unbesetzten Stöpsel *MS* nach den zugehörigen Meldeplätzen. Bei einer dritten Anordnung werden die von dem Ortsamt kommenden, mit Anrufen belegten Meldeleitungen über Wähler selbsttätig mit freien Meldebeamtinnen verbunden.

Die Gesprächszettel werden von den Meldeplätzen zu den Fernplätzen durch Boten oder durch Rohr- oder Bandpost befördert. Zur Verkürzung der Wege für die Beförderung werden die Meldeplätze stets in möglichst günstiger mittlerer Lage zu den Fernplätzen angeordnet.

Die Botenbeförderung ist noch wirtschaftlich in Ämtern bis zu 40 Fernplätzen. Darüber hinaus wird Rohrpost angewendet. Von einem zentral gelegenen Rohrpostverteiler, von dem nach jedem Fernschrank ein besonderer Rohrstrang ausgelegt ist, werden die Zettel mittels Druckluft zugeführt. Für die Rückbeförderung der an den Plätzen erledigten Zettel zum Verteiler dienen andere den Schrankreihen gemeinsame Rohrstränge, in denen mit Saugluft gearbeitet wird. Um die Zettel von den Meldeplätzen schneller zum Rohrpostverteiler zu schaffen, wird häufig eine Bandpost benutzt. Die Meldeplätze sind zu beiden Seiten von Tischen, die in einer Längsreihe stehen, einander gegenüber angeordnet. Über die Tischmitte läuft ein Band ohne Ende, auf das die Gesprächszettel von den Meldebeamtinnen gelegt werden und das sie in einen Empfänger abwirft, der sich unmittelbar am Rohrpostverteiler befindet. Die Rohrpostrohre haben einen rechteckigen Querschnitt von 70×10 mm.

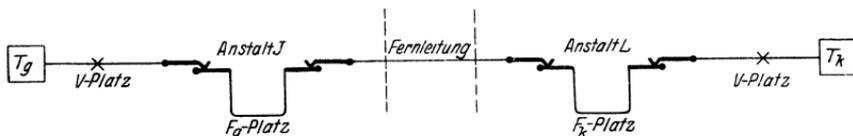


Abb 1211. Fernverbindung.

b) Betrieb an den Fernplätzen. Bei jeder Fernverbindung wirken zwei Fernbeamtinnen mit (Abb. 1211), z. B. bei einem Gespräch von der Anstalt *J* nach *L* eine auf der abgehenden Seite, am *Fg*-Platz, und eine auf der ankommenden Seite, am *Fk*-Platz. Erhält die *Fg*-Beamtin den Gesprächszettel, so ruft sie die Anstalt *L* an, und übermittelt der *Fk*-Beamtin die Nummer des verlangten Teilnehmers *Tk*. Anschließend läßt sie sich von der Fernvermittlungsbeamtin des eigenen Amtes — am *V*-Platz — die Anschlußleitung des Teilnehmers *Tg* geben, der das Gespräch nach *L* zu führen wünscht, und ruft *Tg* an. In ähnlicher Weise holt die *Fk*-Beamtin über ihren *V*-Platz den Teilnehmer *Tk* heran und legt ihn mit einem Schnurpaar auf die Fernleitung. Sind beide Teilnehmer bereit, so schaltet die *Fg*-Beamtin in ihrem Schnurpaar die Verbindung durch. Das Gespräch beginnt. Die weitere Überwachung der Verbindung, insbesondere die Bestimmung von Anfang und Ende des Gesprächs und die Aufzeichnung der Zeiten hierfür liegt dem *Fg*-Platz ob. Der *Fk*-Platz hat keine Vermerke zu führen; seine Arbeit ist daher einfacher als die des *Fg*-Platzes. Am Schluß des Gesprächs lösen beide Plätze ihre Schnurpaare und geben die Teilnehmerleitungen über die *V*-Plätze wieder frei.

Bei Leitungen von über 100 km Länge kommt es auf restlose Ausnutzung der Fernleitung an, während bei kürzeren der Bedienungsaufwand die größere Rolle spielt. Im ersteren Falle muß die Zeit vom Ende des einen bis zum Beginn des nächsten Gesprächs (der Zeitverlust *Z*) möglichst kurz gehalten werden. Dazu ist notwendig, daß die Beamtin genügend Zeit zum Überwachen hat, um sofort ein neues Gespräch einleiten zu können. Sie darf daher nur eine oder zwei Leitungen bedienen. Um die dienstlichen Mitteilungen, die sich auf die Gespräche beziehen, ohne größeren Aufenthalt zu erledigen, werden knapp gehaltene Rede-

wendungen und Abkürzungen benutzt. Der Verlust Z läßt sich durch Anwendung des Summermeldebetriebs weiter verringern. Bei diesem Betrieb werden während des laufenden Gesprächs auf einer Summer- oder Klopferleitung, die meistens durch Simultanschaltung der zum Sprechverkehr benutzten Leitung gewonnen wird, die dienstlichen Mitteilungen ausgetauscht. Besonders wichtig ist es, die Zeit zu verkürzen, die zum Heranholen der Teilnehmer T_g und T_k nötig ist. Sie setzt sich zusammen aus der Zeit, die mit der Zuschaltung der Teilnehmerleitung am V -Platze vergeht, und der Zeit, bis der Teilnehmer nach dem Anruf sich meldet. Am günstigsten ist, die Teilnehmerleitung für die nächste Fernverbindung während des laufenden Gesprächs beim V -Platz anzufordern, sie dadurch besetzt zu machen und dem Ortsverkehr zu entziehen. Es kann auch der Teilnehmer vorbenachrichtigt werden durch die Aufforderung, er möge sich bei abermaligem Anruf zu einer Fernverbindung bereithalten. Damit alle diese Vorbereitungen während des laufenden Gesprächs getroffen werden können, müssen die Fernbeamtinnen vorher die Angaben für die nächsten Gespräche besitzen. Bis zu drei Gesprächen im voraus werden daher die Angaben ausgetauscht.

Wenn die Anstalt L von J aus nicht unmittelbar, sondern über eine Durchgangsanstalt K erreicht wird, so haben in K zwei weitere Beamtinnen mitzuwirken, um die Verbindung der Leitungen $J-K$ und $K-L$ herzustellen. Die Sorge hierfür und die Überwachung der Verbindung fällt in K der Beamtin zu, die die längere und daher wichtigere Leitung, z. B. $J-K$, zu bedienen hat. Die andere Beamtin in K , die an der Leitung $K-L$ sitzt, gibt ihre Leitung für die Dauer der Verbindung ab und erhält die Verfügung darüber erst nach Schluß des Gesprächs zurück.

Sind zwischen zwei Orten mehrere Fernleitungen vorhanden, so wird der Betrieb auf ihnen nach abgehenden, ankommenden und durchgehenden Gesprächen geteilt.

Nebenstellenanlagen¹⁾.

(1949) Wesen und Einteilung. Eine Nebenstellenanlage ist ein selbständiges Fernsprechnetzz für eine kleinere oder größere Zahl von Sprechstellen eines geschlossenen Geschäftsbereichs eines Fernsprechteilnehmers mit Anschluß an das öffentliche Netz über eine oder viele Anschlußleitungen (Amtsleitungen). Der Vorteil solcher Anlagen für den Betrieb des öffentlichen Netzes besteht in der besseren Ausnutzung der Anschlußleitungen und dem Fortfall der Vermittlungsarbeit für den inneren Verkehr der Anlagen; für den Inhaber der Nebenstellenanlage in der Gebührenfreiheit des inneren Verkehrs. Die ankommenden Amtsanrufe gehen bei einer bestimmten Stelle, der Hauptstelle, ein. Alle andern Sprechstellen sind Nebenstellen. Die Weiterverbindung der Amtsleitung mit der gewünschten Nebenstelle vermittelt die Bedienungsperson der Hauptstelle. Der abgehende Amtsverkehr der Nebenstellen sowie die Gespräche der Nebenstellen untereinander (Nebenstellenverkehr) können je nach Art der Anlage ebenfalls durch die Hauptstelle vermittelt oder durch die Nebenstellen allein abgewickelt werden. Die Hauptstelle besitzt Vermittlungseinrichtungen ähnlich denen eines Fernsprechamtes. Die Speisung der Nebenstellen im Amtsverkehr erfolgt gewöhnlich über die Amtsleitung als Schleife. Zur Speisung im Nebenstellenverkehr dient eine besondere beim Teilnehmer aufgestellte Batterie. Ihre Aufladung erfolgt aus dem Starkstromnetz, bei kleineren Anlagen auch aus der Amtsbatterie. Nur die ganz kleinen Anlagen mit wenigen Nebenstellen nehmen eine Sonderstellung ein, sie werden vollständig aus der Amtsbatterie gespeist. Die sonstige Einteilung der Nebenstellenanlagen ergibt sich aus der Art

¹⁾ Eckert: Fernsprech-Nebenstellenanlagen der Deutschen Reichspost mit Bildtafeln. Bd. 61 u. 61a der Sammlung Post und Telegraphie in Wissenschaft und Praxis, 3. Auflage. R. v. Deckers Verlag, Berlin 1926.

ihrer Vermittlungseinrichtungen. Es sind folgende drei Grundarten zu unterscheiden:

- A. Schrankanlagen,
- B. Reihenanlagen,
- C. SA-Nebenstellenanlagen.

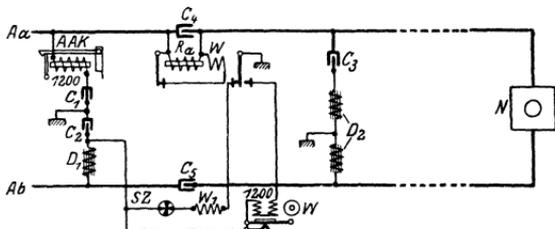
A. Schrankanlagen.

(1950) Kleine Anlagen mit Speisung aus der Amtsbatterie. Die kleinste Nebenstellenanlage überhaupt besteht aus einer Hauptstelle und einer Nebenstelle. Die Umschalteinrichtungen (Schalter und Tasten) sind in einem erweiterten Tischgehäuse untergebracht, für welches sich der Name Zwischenstellenumschalter erhalten hat. Für Hauptstellen mit 2 Nebenstellen dient ein kleiner Klappenschrank mit Tasten, für solche mit 5 Nebenstellen ein Schrank mit Tasten und Schnüren. Erstere dienen zur Vermittlung der Amts-, letztere der Nebenstellengespräche. In der gleichen Ausführung gibt es noch einen Klappenschrank für 2 Amts- und 5 Nebenstellenleitungen. Die Speisung der Mikrophone ist abweichend sowohl von der einer gewöhnlichen Sprechstelle als auch von der einer größeren Anlage mit eigener Batterie. Sie erfolgt aus der Amtsbatterie, und zwar im Amtsverkehr für Haupt- und Nebenstellen über den *a*-Zweig der Amtsleitung und Erde, im Verkehr der Hauptstelle mit den Nebenstellen und der Nebenstellen untereinander über den *b*-Zweig und Erde. Dies wird ermöglicht durch eine besondere Schaltung der Anschlußleitung solcher Anlagen im Amt (Speisebrücke) und eine Erde bei der Hauptstelle.

Amtsverkehr. Abb. 1212 zeigt den Schaltzustand eines Klappenschanks

ZB 13 für 3, 6 oder 7 Abb. 1212. Klappenschrank ZB 13 Gespräch Amt—Nebenstelle.

Leitungen beim Gespräch Amt—Nebenstelle. Auf beiden Zweigen der Amtsleitung *Aa* und *Ab* liegt der Minuspol der geerdeten Amtsbatterie. Der Anruf vom Amt über *Aa* betätigt die Amtsanrufklappe *AAK*, welche einen Gleichstromwecker *W* einschaltet. Die Hauptstelle fragt ab und stellt die Verbindung mit der gewünschten Nebenstelle *N* her, welche mit einem Induktor angerufen wird. Wenn *N* abhebt, ist der Schaltzustand der Abbildung hergestellt. *N* erhält Speisung über *Aa*, Überwachungsrelais *Ra*, welches erregt wird, *N*, Drossel *D₂* untere Hälfte, Erde. Die Sprechströme finden ihren Weg über *Aa*, *C₄*, *N*, *C₅*, *Ab*. Relais *Ra* hat seinen Arbeitskontakt geschlossen und einen Widerstand seiner Wicklung parallel gelegt. Dadurch wird der Widerstand für den Speisestrom auf die Hälfte herabgesetzt und ferner das Relais abfallverzögernd gemacht, so daß es im abgehenden Amtsverkehr bei den kurzen Wählunterbrechungen der Schleife durch die Nebenstelle nicht abfällt. Ferner hat *Ra* seinen Umlegekontakt in die gezeichnete Arbeitsstellung gebracht und dadurch Erde an das Sternschauzeichen *SZ* gelegt. Es spricht über *Ab*, *D₁* (Speisedrossel), *SZ*, *w₁*, Kontakt *Ra*, Erde an und kennzeichnet die Amtsleitung als besetzt. Legt *N* nach beendetem Gespräch auf, so wird die Schleife zum Amt unterbrochen, *Ra* fällt ab, *SZ* verschwindet, der Wecker ertönt dauernd über *Ab*, *D₁*, *W*, Ruhekontakt *Ra*, bis die Hauptstelle die Verbindung trennt. Die Anrufbrücke ist mit der Speisedrossel und einem Kondensator *C₂*, die Doppeldrossel *D₂* mit einem Kondensator *C₃* zu je einer abgeglichenen Brücke zwischen *a* und *b* vereinigt, mit Rücksicht auf die elektrische Symmetrie der Schaltung.



Nebenstellenverkehr (Abb. 1213). Hebt N_1 ab, so spricht sein Anrufrelais R_1 bei der Hauptstelle an, über Ab , D_1 , R_1 obere Wicklung, N_1 , R_1 untere Wicklung, Erde. Das Gitterschauzeichen SZ erscheint und der Wecker ertönt bei der Hauptstelle, bis diese abfragt. Sie stellt darauf die Verbindung mit der gewünschten Nebenstelle N_2 her und ruft sie mit Induktor an. Hebt N_2 ab, so besteht die gezeichnete Schaltung. R_2 hat jetzt ebenfalls angesprochen. Die Erde der SZ am Arbeitskontakt von R_1 und R_2 wurde bei der Herstellung der Verbindung fortgenommen. N_1 und N_2 erhalten ihre Mikrophonspeisung auf

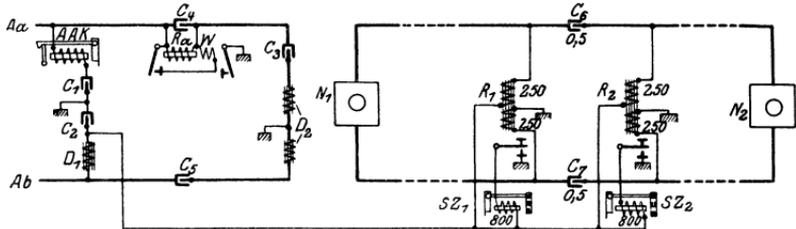


Abb. 1213. Klappenschrank ZB 13. Gespräch Nebenstelle—Nebenstelle

dem schon genannten Wege über ihre R -Relais, die also zugleich Speisereais sind. Die Sprechströme nehmen ihren Weg über C_6 und C_7 . Legt eine Nebenstelle auf, so fällt ihr R ab, SZ erscheint und schaltet den Wecker ein (nicht dargestellt), bis die Verbindung durch die Hauptstelle getrennt wird.

Die Speisung der Nebenstellen aus der Amtsbatterie kann auch über eine besondere Speiseader erfolgen. Dies geschieht wegen der hohen Kosten einer Kabelader jedoch nur in besonders günstigen Fällen.

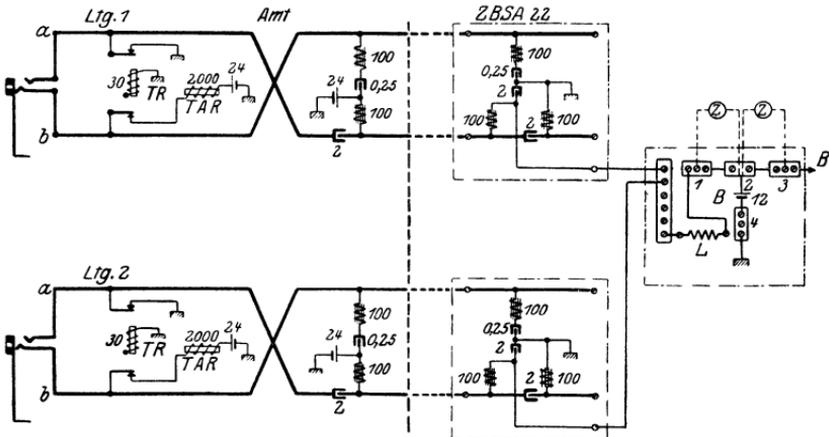


Abb. 1214. Aufladung der Schrankbatterie über die Amtsleitungen.

(1951) Aufladung der Schrankbatterie über die Amtsleitungen. Von einer ähnlichen Schaltung wird bei kleinen Schrankanlagen, bei denen Netzstrom zur Aufladung der Schrankbatterie nicht zur Verfügung steht, Gebrauch gemacht, um die Batterie über den b -Zweig einer oder mehrerer Amtsleitungen aufzuladen. In diese Amtsleitungen werden auf dem Amt ebenfalls Speisebrücken eingeschaltet, und beim Teilnehmer werden vor den Schrank in die Leitungen Zusatz-einrichtungen $ZBSA 22$ eingeschaltet (Abb. 1214). In diesen ist die Erde für die Speisung im Amtsverkehr über die a -Ader, die Speisedrossel an der b -Ader, der

Kondensator im *b*-Zweig für die Sprechströme und die Symmetrieabgleichung enthalten. Abb. 1214 zeigt zwei derartig ausgerüstete Amtsleitungen; links wird das Amt, rechts der Schrank angeschlossen. Hinter den Speisedrosseln sind die Ladeleitungen zur Batterie abgezweigt. Der Ladewiderstand wird nach dem Stromverbrauch der Anlage und dem Widerstand der Amtsleitungen bemessen. Anschlüsse für Stromverbrauchszähler (*Z*). Die Batterie *B* steht unter Dauerladung und arbeitet in Pufferschaltung.

(1952) Allgemeine Schrankanlage. Bei einer Schrankanlage endigen sowohl die vom Amte kommenden Anschlußleitungen (Amtsleitungen) als auch die Anschlußleitungen der Nebenstellen (Nebenstellenleitungen) auf einem oder mehreren Schränken bei der Hauptstelle (Zentralschaltung, Abb. 1215). Die Bedienung der Hauptstelle fragt ab, verbindet mit Schnurpaaren, überwacht und trennt, genau wie im Handamt. Es gibt in verschiedenen Abstufungen Schrankarten bis zur Aufnahmefähigkeit des einzelnen Schrankes von 20 Amts- und 100 Nebenstellenleitungen

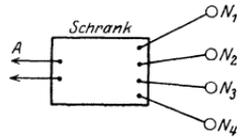


Abb 1215 Schrankanlage.

Bei Aufstellung mehrerer Schränke nach Art eines Handamts ist diese Verkehrsart für Anlagen beliebigen Umfangs geeignet. Für die Bemessung der Zahl der Schnurpaare (*s*) eines Schrankes ist die Formel üblich: $s = a + \frac{n-a}{10}$ (*a* = Zahl der Amtsleitungen, *n* = Zahl der Nebenstellen). Für Anlagen mittlerer Größe sind auch schnurlose Schränke ausgeführt worden, bei welchen die Verbindung der Amts- und Nebenstellenleitungen durch Tasten erfolgt; das ergibt ein Tastenfeld von *s* · *n* Tasten.

Die Bestandteile einer Schrankanlage sind: Verteiler, Anschlußorgane für die Amts- und Nebenstellenleitungen, Schnurpaare, Abfrageeinrichtung (Sprechzeug) mit Nummernscheibe, Gleichstrom- und Rufstromquelle. Die Einrichtung entspricht der eines Handamts, bei Vorhandensein mehrerer Schränke findet Vielfachführung der Leitungen statt. Abweichungen sind bedingt durch die Verbindung verschiedenartiger Anschlußorgane und weitergehende Anforderungen an die Vermittlungstätigkeit der Bedienung als im Ortsverkehr.

Verteiler: Es kommt nur für große Anlagen mit mehr als 3 Schränken ein Hauptverteiler in Frage. Bei Rückstellklappenschränken und Glühlampenschränken sind Verteilereinrichtungen an den Sicherungs- und Relaisstellen vorgesehen.

Anschlußorgan: Es besteht aus einer Klinke, vielfach mit Doppelunterbrechungsfedern und zusätzlichen Kontakten und einem Anrufzeichen. Als solches dient: 1. eine Rückstellklappe. Ein Elektromagnet, der über die Nebenstellenschleife eingeschaltet wird, löst eine Fallklappe aus. Ihre Rückstellung erfolgt mechanisch bei Einführung des Abfragestößels. Die Klappe löst auch bei Wechselstromanruf vom Amte her aus. 2. eine Glühlampe. Anruf- und Trennrelais entsprechend der Abtrennschaltung bei Handämtern. Für Amtsanruf dient ein Drosselrelais mit Haltewicklung, deren Kreis beim Stecken des Stößels unterbrochen wird. Bei Vielfachführung der Amtsleitungen in großen Anlagen werden die Vielfachlinken mit Besetztlampen ausgerüstet (optische Besetztanzeige). Diese kann so eingerichtet werden, daß die Besetztlampe erst erlischt, wenn auch das Amt die Verbindung getrennt hat.

Schnurpaar: Es enthält zwei Schauzeichen (Sternschauzeichen, Schlußzeichenrelais mit Lampen) zur Überwachung des Gesprächszustandes. Speisung im Nebenstellenverkehr erfolgt meist über die Schlußzeichenrelais und eine Speisedrossel. Für den Amtsverkehr wird bei Rückstellklappenschränken die Speisung abgeschaltet und die Nebenstelle über das Schnurpaar zum Amte durchgeschaltet (durchgehendes Schlußzeichen). Beim Glühlampenschrank *ZB 20*

ist die Amtsleitung durch einen Übertrager abgeschlossen, die Speisung erfolgt auch im Amtsverkehr aus der Schrankbatterie. Das Schlußzeichen wird durch ein Relais zum Amte übertragen (durchgehendes Schlußzeichen), oder erst bei Trennung am Schrank zum Amte weitergegeben (Steuerung des Schlußzeichens von der Hauptstelle). Bei SA-Betrieb des Ortsnetzes muß durchgehendes Schlußzeichen gegeben werden, auch muß das Sprechzeug mit einer Nummernscheibe versehen sein, zur Besorgung von Ortsverbindungen durch die Schrankbedienung. Die Hauptstelle erhält im Nebenstellenverkehr zweiseitiges Schlußzeichen. Jedes Schnurpaar enthält ferner einen vereinigten Abfrage- und Rufschalter, meist auch einen Rückfrageschalter, oder er ist für sämtliche Schnurpaare gemeinsam. Er dient dazu, vor Zusammenschaltung der Amtsleitung mit einer Nebenstelle bei letzterer geheime Rückfrage zu halten; er schaltet an die Amtsleitung eine Haltebrücke und an die Nebenstelle die Batteriespeisung.

Sprechzeug: Es besteht aus einer Sprechstrombrücke aus Fernhörer, Induktionsspule und Kondensator in Reihe. Das Mikrophon liegt im Ortsstromkreise der Schrankbatterie. Die Gleichstrombrücke zum Amt wird in neueren Schaltungen durch eine besondere Drossel hergestellt, welche bis zur Meldung der Nebenstelle eingeschaltet bleibt, um im Verkehr mit SA-Ämtern die Verbindung bis zu diesem Zeitpunkt zu halten, ohne daß die Bedienung genötigt ist, solange in der Verbindung zu bleiben. Mithören des Schranks erfolgt in der Abfragestellung unter Verengerung des Sprechstromweges durch einen Kondensator kleiner Kapazität ($0,1 \mu F$), oder es wird nach Bedarf durch ein Mithörverhinderungsrelais verhindert. Prüfung der Nebenstellenklinken erfolgt durch Berührung ihrer Hülse mit der Stöpselspitze (Knackprüfung).

Gleichstromquelle für das Schrankmikrophon, den Polwechsler, die Nebenstellenanrufzeichen und für die Speisung im Nebenstellenverkehr ist eine Sammlerbatterie von 12 V bei Rückstellklappenschränken, von 24 V bei Glühlampenschränken. Sie wird entweder über den *b*-Zweig der Amtsleitung in Pufferschaltung aus der Amtsatterie (Abb. 1214) oder aus dem Starkstromnetz aufgeladen. Im letzteren Falle findet eine Ladeschalttafel mit Ladewiderstand oder ein Gleichrichter Aufstellung. Die kleinste verwendete Batterie hat eine Kapazität von 3,5 Ah. In großen Anlagen werden die ortsfesten Sammlerbatterien des Amtsbaues aufgestellt.

Rufstromquelle ist bei kleinen Anlagen ein Kurbelinduktor, bei mittleren ein Polwechsler, bei sehr großen auch eine Rufmaschine.

(1953) Glühlampenschrank ZB 20 mit durchgehendem Schlußzeichen¹⁾ (Abb. 1216).

Amt ruft an: *A* spricht an, *AL* leuchtet, *A* hält sich über *a*, Haltewicklung 400, *t*₁.

Abfragestöpsel *AS* in *AK*: *T*, *S*₁ sprechen an, *A* fällt ab, *AL* erlischt, *t*₂ schließt die Schleife zum Amt über *ah*, *t*₃ schaltet Besetztlampe *ABL* ein. Abfrageschalter *Abf* legt Sprechbrücke an *a*- und *b*-Zweig über *WU*, *m*, *MU*. Knackprüfung mit *a*-Spitze von *VS* durch Entladung des Kondensators *C*₂, wenn an Klinkenhülse Minusspannung durch *c* eines andern Stöpsels liegt. Verbindungsstöpsel *VS* in *NK*: *NT* spricht an, *SL*₂ leuchtet. Ruf durch Umliegen von *Rf*, welcher zugleich den Polwechsler einschaltet.

Rückfrage: Vor Herstellung der Verbindung kann die Schrankbedienung bei der angerufenen Nebenstelle geheime Rückfrage halten, oder auch während eines Gesprächs zu demselben Zweck in die Verbindung eintreten, indem sie den Rückfrageschalter *Rckf* zieht (*Abf* in Ruhe). Durch diesen wird das Schnurpaar doppelpolig aufgetrennt, die Relais *T* und *S* aber, und damit die Schleife zum Amt, durch besondere Erden am *Rckf* gehalten. Das Sprechzeug wird an die *VS*-Seite des Schnurpaares angeschaltet, und die Nebenstelle erhält Speisung aus der Schrankbatterie über *S*₂ und *D*₃, da *H* in Ruhe bleibt.

¹⁾ Über die Schaltungsdarstellung s. (1815).

Gespräch: Nebenstelle hebt ab, S und S_2 sprechen über Nebenstellenschleife an. Wegen s_2 erlischt SL_2 und spricht H an über AH (welches selbst noch nicht anspricht), w_1, s_1, H, s_2 , parallel dazu w_2, NT , Erde. h_1 schaltet die Speisedrossel D_3 von b ab, h_2 schaltet SL_1 und SL_2 für später parallel, h_3

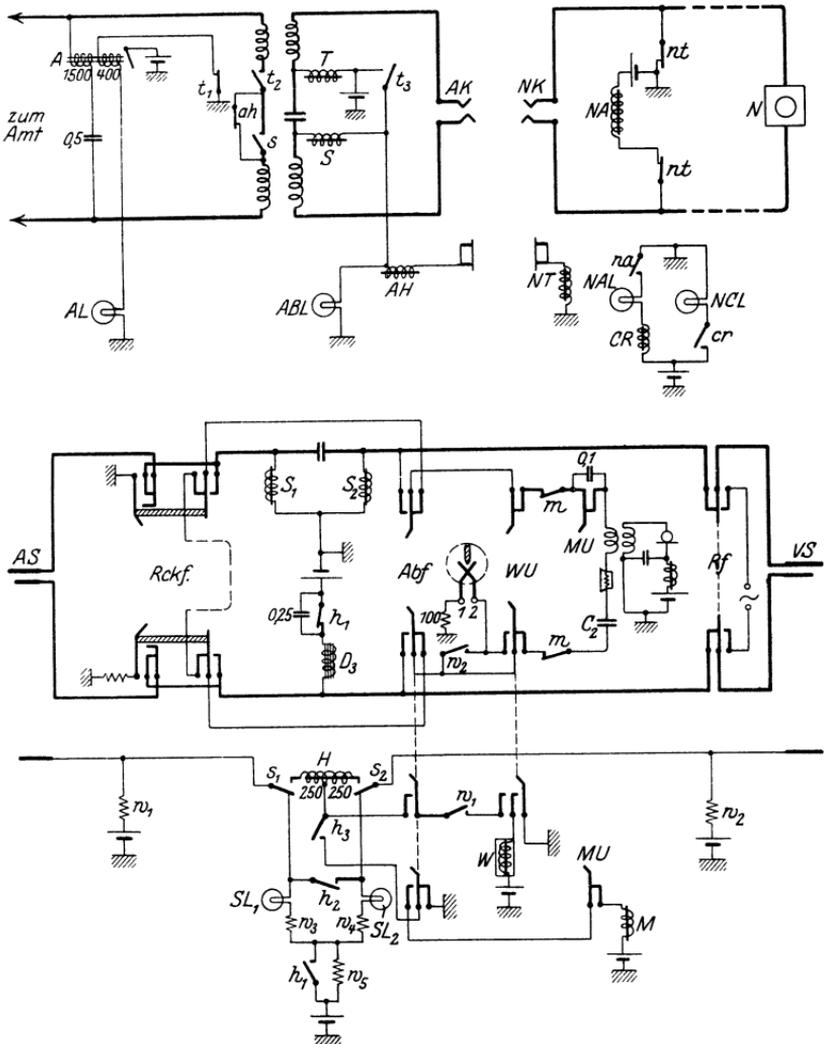


Abb. 1216. Glühlampenschrank ZB 20, Schaltung.

erdet die Mitte von H , welches sich hält. Jetzt spricht AH infolge Stromverstärkung an. Die Gleichstrombrücke zum Amt wird nun von s , also in Abhängigkeit von der Nebenstellenschleife, gehalten.

Gesprächsschluß: Nebenstelle legt auf, S und S_2 fallen ab, s gibt Schlußzeichen zum Amt, s_2 schaltet SL_1 und SL_2 ein. H hält sich über die halbe Wick-

lung und s_1 , AH ebenfalls. AS und VS werden gezogen, alle Relais fallen ab, alle Lampen erlöschen.

Nebenstelle ruft an: Sie hebt ab, NA spricht an, NAL leuchtet. Abfragestößel AS in NK . NT spricht an über w_1 , c , NT , Erde und schaltet NA ab, NAL erlischt. S_1 spricht an über h_1 , Speisedrossel D_3 , Nebenstellenschleife, S_1 , Erde.

a) Amtsverkehr: VS in AK , T und S_2 sprechen an, Schleife zum Amt. S spricht an über t_3 , S , b , Nebenstellenschleife, S_1 , Erde. H spricht an über t_3 , AH , s_2 , H , s_1 , NT , Erde. AH spricht an durch h_3 infolge Stromverstärkung. Läßt die Nebenstelle die Nummernscheibe ablaufen, so überträgt S die Wählunterbrechungen durch s zum Amt.

b) Nebenstellenverkehr: Prüfen, Verbinden und Rufen wie beim ankommenden Amtsverkehr.

Gespräch: Nebenstelle hebt ab. S_2 spricht an über h_1 , Speisedrossel D_3 , Nebenstellenschleife, S_2 , Erde. SL_2 erlischt, H spricht nicht an, es liegt als Brücke zwischen zwei Punkten gleicher Spannung (Wheatstonesche Brücke). Beim Einhängen der ersten Nebenstelle fällt S_1 ab, SL_1 leuchtet über w_5 , w_3 , SL_1 , s_1 , parallel dazu w_1 , c , NT , Erde. Beim Einhängen der zweiten entsprechend S_2 und SL_2 .

Mithörverhinderung bei Amtsverbindungen durch Fortfall des Mithörschalters MU . Wird nach hergestellter Verbindung (H erregt) der Abfrageschalter gezogen, so spricht M an über Abf , h_3 , H , s_1 oder s_2 , NT , Erde, und trennt durch m das Sprechzeug doppelpolig ab. Wird Mithören gewünscht, so wird Abf und MU gezogen. Dann wird der Kreis für M durch MU unterbrochen, in die Brücke wird ein Kondensator von $0,1 \mu F$ geschaltet.

Wählen vom Schrank aus: AS in AK . T und S sprechen an. t_2 schließt die Amtsschleife, das Amtszeichen wird in der Abfragestellung gehört. Wählumschalter WU gezogen, Relais W spricht an. Es legt den Nummernschalter 1—2 mit Erde an den b -Zweig des Schnurpaares. S spricht an über b -Zweig, Abf , WU (w_2), 1—2, 100 Ohm, Erde. AH und H sprechen an über c -Ader, s_1 , $H250$, Abf , w_1 , Erde. Läuft die Nummernscheibe ab, so überträgt S die Wählunterbrechungen zum Amt, da ah geöffnet ist.

B. Reihenanlagen.

(1954) Wesen und Einteilung. Bei einer Reihenanlage sind die Amtsleitungen durch sämtliche Sprechstellen (Reihenstellen) hindurchgeführt, so daß jede ein-

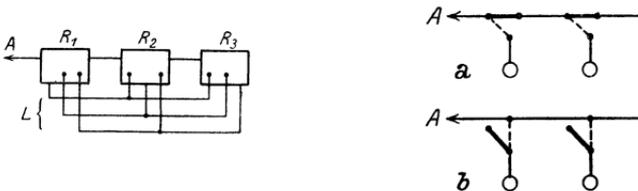


Abb 1217. Reihenanlage.

zelle in der Lage ist, sich selbst an eine freie Amtsleitung anzuschalten (Abb. 1217). Den andern Reihenstellen wird das Besetztsein der Amtsleitung durch Schauzeichen angezeigt, oder sie wird elektrisch gesperrt. Ankommende Anrufe aller Amtsleitungen gehen bei einer bestimmten Reihenstelle, der Hauptstelle, ein, welche abfragt und die gewünschte Reihenstelle auffordert, sich einzuschalten. Diese Aufforderung, wie auch der ganze Nebenstellenverkehr überhaupt, erfolgt über einen Strang sogenannter Linienwählerleitungen. Jede Reihenstelle ist mit ihrem Sprechzeug und ihrem Wecker an eine bestimmte Linienwählerleitung angeschlossen, welche vielfach durch alle andern Reihenstellen geführt ist, und in welche sich jede Reihenstelle durch Druck einer zugeordneten Taste einschalten kann. Bei Amtsgesprächen ist Rückfrage im Linienwählerverkehr möglich,

ebenso Mithören bestimmter Stellen durch eine Mithörtaste für jede Amtsleitung. Reihenanlagen werden in der Größe von 1 Amtsleitung und 6 Reihenstellen bis zu 6 Amtsleitungen und 31 Reihenstellen gebaut. Jede Reihenstelle erhält ein Tischgehäuse besonderer Art (Reihen-Tischgehäuse) mit Tastenfeld oder Drehschaltern für die Amts- und Linienwählerleitungen, Schauzeichen und Induktor (Abb. 1218). Die Hauptstelle (HS in Abb. 1219) besitzt außerdem noch einen Amtsleitungswecker bzw. Klappen- oder Schauzeichenkasten bei mehreren Amtsleitungen (K in Abb. 1219).

Die Anschaltung einer Reihenstelle an die Amtsleitung erfolgt auf zwei Arten:

a) unter Abschaltung der nachfolgenden Reihenstellen und Sperrzeichengebe an alle Stellen (sogenannte Hintereinanderschaltung), bei Anlagen bis zu 3 Amtsleitungen und 16 Reihenstellen (Abb. 1217 a);

b) unter elektrischer Sperrung der Amtsleitung für alle übrigen Reihenstellen (sogenannte Parallelschaltung), bei Anlagen mit 4 bis 6 Amtsleitungen und bis zu 31 Reihenstellen (Abb. 1217 b).

Die Speisung der Reihenstellen erfolgt zu a) vom Amte aus, und zwar wie unter A. entweder über den *b*-Zweig der Amtsleitung oder über besondere Speiseleitungen; zu b) aus einer besonderen Batterie.

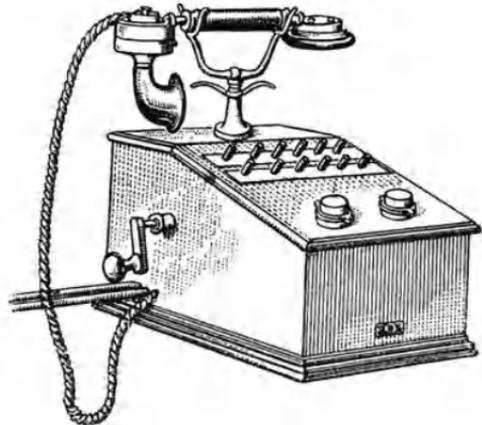


Abb. 1218 Reihen-Tischgehäuse.

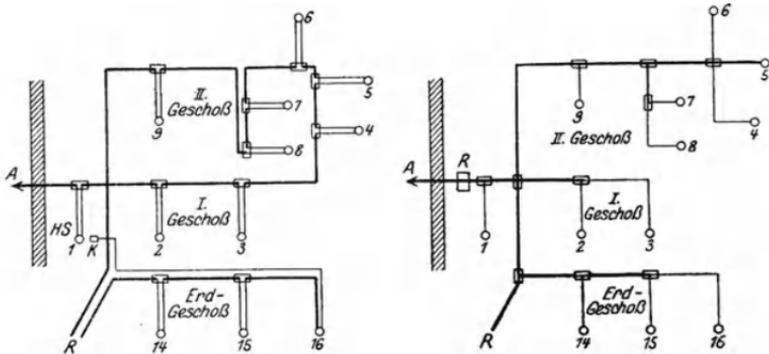


Abb 1219. Reihenanlage, Kabelführung.

Der Linienwählerverkehr ist schaltungsmäßig bei beiden Arten gleich, jedoch erfolgt die Einschaltung in eine bestimmte Amts- oder Linienwählerleitung zu a) durch Tasten, zu b) durch Drehschalter. Alle Tasten und Schalter lösen sich durch mechanische Kupplung gegenseitig aus. Sämtliche zwischen den einzelnen Reihenstellen verlaufenden Leitungen werden in einem Kabel zusammengefaßt. Die einzelnen Teilstrecken endigen bei jeder Reihenstelle an einem Lötösenstreifen, mittels dessen die Stelle entweder in das Kabel eingeschleift oder von ihm abgezweigt wird (Abb. 1219).

(1955) Schaltung einer Reihenanlage zu 1 Amtsleitung und 3 Reihenstellen (Abb. 1220).

Linienwählerverkehr: *H* drückt Taste N_1 , ruft mit Induktor an über

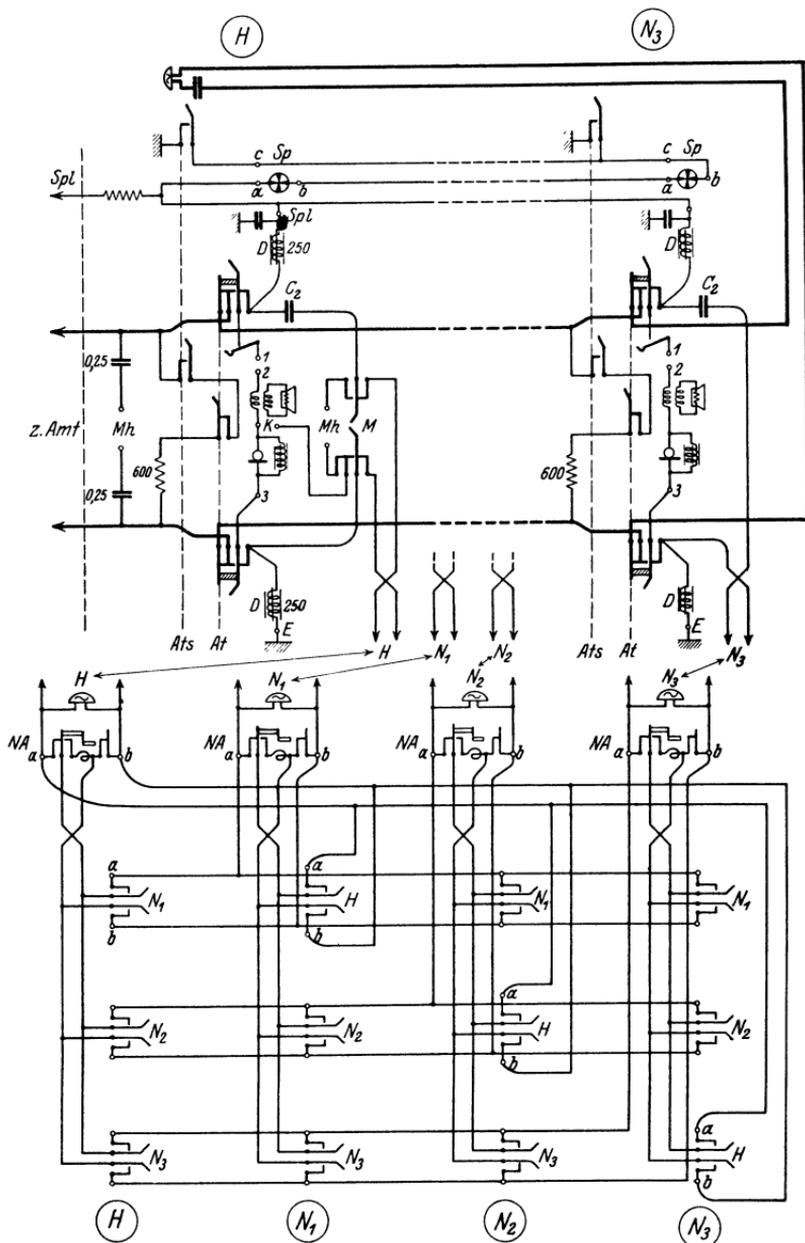


Abb 1220. Reihenanlage, Schaltung.

N_1 (a, b), Wecker N_1 . N_1 hebt ab. Speisung für beide: Minuspol der Amtsbatterie über Speiseleitung $Sp1$, $D 250$, At , Hakenumschalter, Sprechzeug, At , $D 250$, Erde. Sprechverbindung über At , C_2 , (M), Na (a, b), Taste N_1 nach Na (a, b) der Stelle N_1 .

Reihenstelle wünscht Amt: N_1 drückt At einer freien Amtsleitung, deren Sperrzeichen Sp nicht sichtbar ist und schaltet dadurch sein Sprechzeug in die Amtsschleife. Der Seitenschalter Ats schließt den Stromkreis für sämtliche Sperrzeichen Sp . Alle folgenden Reihenstellen sind durch At von der Amtsleitung abgeschaltet, die vorhergehenden erkennen sie als besetzt. Rückfrage über Linienwählertaste; At löst aus, damit wird durch den Seitenschalter Ats , welcher in Arbeitsstellung bleibt, eine Haltebrücke über 600Ω für das Amt eingeschaltet.

Amt ruft an: Wecker ertönt bei H . H drückt At , fragt ab, drückt Taste der gewünschten Reihenstelle N_1 (Rückfrage) und benachrichtigt sie. N_1 drückt At und erhält die Amtsverbindung, sobald H auflegt.

Mithören: Wird M gedrückt, so liegt Sprechzeug über zwei Kondensatoren zu $0,25 \mu F$ (Mithörkästchen), M und C_2 an a und b der Amtsleitung. Soll Mitsprechen ausgeschlossen sein, so wird das Mikrophon bei k kurzgeschlossen.

Nummernwahl: Anschluß der Nummernscheibe an 1, 2 und 3 der Sprechbrücke.

(1956) Andere Reihenanlagen. Bei Anlagen mit Speisung über die Amtsleitung wird im Amt eine Speisebrücke und vor die erste Reihenstelle eine Zusatzeinrichtung $ZBSA 22$ (Abb. 1214) in die Amtsleitung geschaltet. Hinter der Speisedrossel wird dann die Speiseader abgezweigt, welche den Sprechzeugen und den Sperrzeichen den Strom zuführt. Bei den größeren Anlagen mit Ortsbatterie sind die Speisedrosseln, ein Anrufrelais für jede Amtsleitung, je ein Relais einer durch alle Reihenstellen geführten c -Ader sowie ein Polwechsler in einem besonderen Kasten (R in Abb. 1219) untergebracht. Der Beikasten jedes Reihengehäuses enthält ein Schaltrelais mit einer Wicklung von hohem und einer von niedrigem Widerstand. Dieses Relais schaltet nach Einstellung der Drehschalterarme auf eine Amtsleitung nur dann durch, wenn die Leitung frei ist. Die Prüfschaltung entspricht der im Leitungswähler des SA-Amtes üblichen.

C. SA-Nebenstellenanlagen.

(1957) Vermittlungsarten des Amtsverkehrs. In einer SA-Nebenstellenanlage wird zur Vermittlung des Nebenstellenverkehrs ein SA-Amssystem (Hausamt) aufgestellt. Der Amtsverkehr wird in beiden Richtungen oder nur in ankommender Richtung durch eine Hauptstelle vermittelt. Die Vermittlungsarten sind sehr mannigfaltig, die hauptsächlichsten werden im folgenden beschrieben. Die Verbindung mit dem Amt kann erfolgen:

1. durch Schnurpaare eines Vermittlungsschranks,
2. über besondere Schrittschalter in Sucherschaltung,
3. über die Wähler für den Nebenstellenverkehr.

Im Falle 2 und 3 findet die selbsttätige Auswahl einer freien Amtsleitung im abgehenden Verkehr statt.

(1958) Handvermittlung des Amtsverkehrs. 1. Schrank mit Schnurpaaren. Für den Nebenstellenverkehr sind die Nebenstellen an das Hausamt angeschlossen, sie erwählen sich wie in einem SA-Amt. Zur Verbindung mit dem Amt muß jede Nebenstelle noch an eine Klinke des Schranks herangeführt sein. Dies kann mittels einer zweiten Leitung geschehen, welche an einem gewöhnlichen Anschlußorgan des Schranks endigt. Die Nebenstelle erhält einen Rückfrageapparat, die Schrankleitung liegt an der Amtstaste, die SA-Leitung an der Rückfrage-taste. Beim Erscheinen des Anrufzeichens verbindet der Schrank mit dem Amt A , ohne abzufragen. Der Nebenstellenverkehr (auch Rückfrage bei Amtsgesprächen) erfolgt selbsttätig nach Druck der Rückfrage-taste. Es besteht also vollkommen getrennter Amts- und Nebenstellenverkehr. Zum unmittelbaren Verkehr zwi-

schen Nebenstellen und Schrank sind ein oder mehrere Anschlußorgane des Schrankes an das Hausamt angeschlossen. Abb. 1221 stellt den Plan der Anlage sinnbildlich dar; das Anrufzeichen ist durch ein kleines Viereck angedeutet. Der Schrank ist ein üblicher Handschrank, das SA-Amt nach dem 100- oder 1000-System. Im letzteren Falle kann der Schrank mit der „0“ erwählt werden.

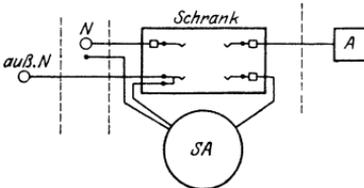


Abb 1221. SA-Nebenstellenanlage, Handvermittlung des Amtsverkehrs.

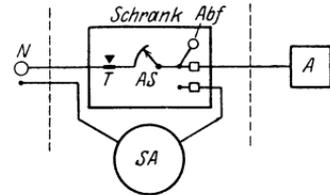


Abb. 1222. SA-Nebenstellenanlage, halb-selbsttätige Vermittlung des ankommenden Amtsverkehrs, 2 Leitungen.

Soll nur eine Leitung zur Nebenstelle gezogen werden, so wird diese über eine Vorschaltklinke am Schrank geführt; das Anrufzeichen fällt fort (Abb. 1222). Infolgedessen muß bei abgehenden Amtsgesprächen die Nebenstelle zuerst den Schrank erwählen, der dann die Klinke der Nebenstelle mit einer Amtsklinke verbindet, unter Auslösung der bestehenden Wählerverbindung. Im ankommenden Verkehr kann durch Knackprüfung festgestellt werden, ob die Nebenstelle im Hause spricht. Ist die Klinke gesteckt, so ist *N* für Hausanrufe besetzt. Diese Schaltung wird allgemein für außenliegende Nebenstellen (auß. *N*) angewandt, für die nur eine Leitung verfügbar ist.

(1959) Selbsttätige Auswahl einer freien Amtsleitung im abgehenden Verkehr.

2. Amtsvermittlung über besondere Schrittschalter in Sucherschaltung. Die Rolle der Schnurpaare in 1. übernehmen Anrufsucher. Jeder Amtsleitung ist ein 50- bis 100 teiliger Anrufsucher *AS* fest zugeordnet (Abb. 1222). Die Nebenstellenleitungen sind durch deren Kontakte vielfach geführt. Die Nebenstelle hat zwei Leitungen und Rückfrageapparat. Bei Druck der Amtstaste sucht der Anrufsucher einer freien Amtsleitung die anrufende Nebenstelle

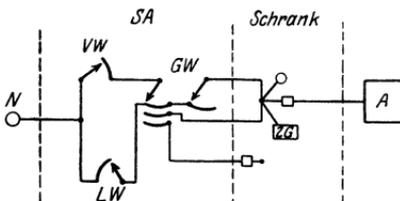


Abb. 1223. SA-Nebenstellenanlage, halb-selbsttätige Vermittlung des ankommenden Amtsverkehrs, 1 Leitung.

auf und schaltet sie zum Amte durch. Besetztlampen für Amts- und Nebenstellenleitungen. Selbsttätige Auslösung der Verbindung. Bei Erscheinen eines Amtsanrufs fragt die Hauptstelle ab und drückt eine der gewünschten Nebenstelle zugeordnete Taste *T*. Dadurch wird der Anrufsucher der Amtsleitung ange-reizt, diese Nebenstelle aufzusuchen und stellt die Verbindung her. Bei Anschluß an Handämter erfolgt die Gesprächsschluß, um neue Belegung der Hauptstelle. Nebenstellenverkehr wie vor.

Die zu bedienende Vermittlungseinrichtung besteht aus einem Pultaufsatz mit Lampen, Schaltern, Tasten, dem Sprechzeug und einer Nummernscheibe. In dieser einfachen Form können bis zu 100 Nebenstellen bedient werden. An Stelle der den Amtsleitungen zugeordneten Anrufsucher können auch den Nebenstellenleitungen zugeordnete Freisucher (Vorwähler) mit Kontaktbank entsprechend der Zahl der Amtsleitungen benutzt werden. Im ankommenden Verkehr arbeiten diese ebenfalls als Anrufsucher.

3. Amtsvermittlung über die Wähler für den Nebenstellenverkehr. Die Nebenstelle wird lediglich mit einer Leitung an das Hausamt angeschlossen. Die selbsttätige Auswahl einer freien Amtsleitung erfolgt nach Wahl der „0“ über den entsprechenden Höhengradd der Gruppenwähler *GW* (1000-System). Für den ankommenden Verkehr ist jeder Amtsleitung ein besonderer Gruppenwähler zugeordnet. Die Hauptstelle fragt ab und wählt mittels eines Zahlengebers *ZG* die gewünschte Nebenstelle über das Hausamt (Abb. 1223). Auslösung der Verbindung erfolgt rückwärts von der angerufenen Nebenstelle aus. Anruf des Schrankes über einen anderen Höhengradd der Gruppenwähler. Nebenstellenorgane sind bei der Hauptstelle nicht vorhanden. Diese Vermittlungsart ist für Anlagen mit mehr als 100 Nebenstellen geeignet.

Fernsprechgehäuse.

(1960) Bauart der Fernsprechgehäuse. Die in (1715) bis (1734) beschriebenen, für eine Sprechstelle notwendigen Apparate werden in einem Fernsprechgehäuse vereinigt. Man unterscheidet der Bauart nach: Wandgehäuse und Tischgehäuse. Jene werden fest an der Wand angebracht, diese werden auf dem Tisch so aufgestellt, daß ihr Standort verändert werden kann. Die Wandgehäuse können noch in zwei Formen — pultförmig und schrankförmig — hergestellt werden. Bei diesen Gehäusen ist das Mikrofon entweder fest eingebaut oder an einem beweglichen Arm befestigt. Der Fernhörer hängt an einem seitlich angebrachten Haken. Die Tischgehäuse besitzen einen aus Mikrofon und Fernhörer bestehenden Handapparat (Abb. 1224 a). Den gleichen Handapparat haben auch die neuen Wandapparatstypen für den Selbstanschlußbetrieb, weil die Vorderseite des Gehäuses für die Anbringung der Wahl-



Abb. 1224 a. Tischapparat mit Induktor (OB)

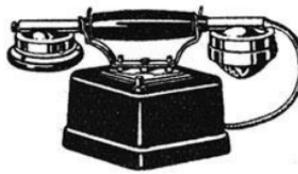


Abb. 1224 b. Tischapparat ohne Induktor (ZB).



Abb. 1225. Wandapparat mit Wahlscheibe (SA).

scheibe gebraucht wird. Die älteren Wandgehäuse waren durchweg aus poliertem Nußbaumholz gefertigt. Alle Zubehöerteile waren in diese Gehäuse, die mit einer verschließbaren Tür nach Art eines Schränkchens versehen waren, eingebaut; die außen angebrachten Klemmen für die Anschließung der Leitungen und der Batteriezuführungen waren mit Holzbrettchen abgedeckt. Die neueren Wandgehäuse werden jedoch allgemein wie die Tischgehäuse aus Metall hergestellt. Ein erheblicher Vorteil dieser Ausführungsform besteht in der geringeren Raumbeanspruchung. Man konnte die Einzelapparate gedrängter anordnen und sie leichter zugänglich machen. Außerdem ist das Metall gegen Temperatureinflüsse widerstandsfähiger, dazu von geringerem Gewicht und nicht zuletzt auch bedeutend billiger als Holz, da in der Hauptsache nur Maschinenstanzarbeit bei der Herstellung in Frage kommt.

Der Betriebsart nach unterscheidet man Gehäuse für OB-Betrieb, ZB-Betrieb und SA-Betrieb. Die OB-Gehäuse sind mit Mikrofon (Kapsel), Fernhörer, Induktionsspule, Wechselstromwecker, Induktor und Hakenumschalter ausgerüstet. Die Tischgehäuse besitzen wie auch alle anderen derartigen Gehäuse als Einschaltvorrichtung einen Gabelumschalter. Bei den ZB-Gehäusen fällt

der Induktor weg, bei den SA-Gehäusen kommt die Nummernscheibe zu den Einzelapparaten noch hinzu. Die neuesten ZB-Apparate sind so gebaut, daß die Nummernscheibe ohne Schwierigkeit angebracht werden kann, sobald vom ZB-Betrieb zum SA-Betrieb übergegangen werden soll. Die Einzelapparate und die Gehäuse haben im Laufe der Entwicklung mancherlei Wandlung erfahren. Die jeweilige Form wird besonders gekennzeichnet (Fernhörer M 8693, Induktor M 98, Tischgehäuse SA 19 usf.). Die Abb. 1224 a, b und 1225 geben die neuesten gebräuchlichen Typen von Wand- und Tischfernsprechern wieder.

(1961) Nummernschalter, Wählscheibe (Abb. 1226 a u. b). An den Fernsprechgehäusen neuester Form für SA-Betrieb ist ein sehr wichtiger Teil der Nummernschalter. Seine gute Durchbildung in elektrischer und mechanischer Beziehung ermöglicht erst die einwandfreie Betätigung der Wählorgane. Man unterscheidet an der Nummernschaltereinrichtung im wesentlichen 4 Teile: Einstellglied, Antrieb, Bremse und Kontaktgeber. Das Einstellglied ist fast überall

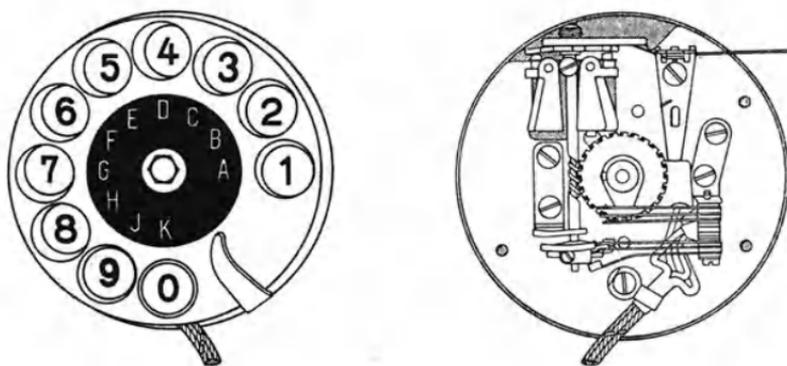


Abb. 1226 a u. b. Nummernschalter oder Wählscheibe.

eine Fingerscheibe *b* mit bezifferten Löchern, in die der Teilnehmer den Finger steckt, um die Scheibe bis zu einem Anschlag *c* zu drehen. Dann wird der Finger zurückgezogen und die Scheibe läuft in die Anfangslage zurück. Beim Drehen der Scheibe ist ein Uhrwerk mit Feder *a* — das Antriebswerk — aufgezogen worden, das beim Rücklauf der Scheibe abläuft und die Impulskontakte — den Kontaktgeber *i* — betätigt. Da die Stromstöße möglichst unmittelbar unter Vermeidung aller unnötigen Widerstände der Strombahn in die Leitung gesandt werden sollen und besonders der unsichere Widerstand des Mikrophons ausgeschaltet werden muß, ist im Nummernschalter ein Kurzschlußkontakt vorgesehen, der während des Wahlvorgangs den *a*- mit dem *b*-Zweig der Leitung kurz schließt. Sehr viel Sorgfalt ist auf die Ausbildung der Bremse gelegt worden, da sie allein einen gleichmäßigen Ablauf der Feder gewährleistet und damit die Stromstöße so gestaltet, daß sie das richtige Verhältnis von Öffnung und Schließung des Stromes zeigen, das für die ordnungsmäßige Betätigung der Wähler die Voraussetzung ist. Daher werden die Nummernschalter vor dem Einschalten mehrfach in elektrischer und mechanischer Beziehung einer Prüfung mit besonders gebauten Apparaten unterworfen. Meist soll die Stromstoßgabe erst bei abgenommenem Hörer erfolgen, wenn also der Mikrophonstromkreis bereits geschlossen ist (Ruhestromschaltung). In diesem Falle ist der Nummernschalter durch eine besondere Feder während der Ruhelage des Fernhörers auf der Gabel oder am Haken gesperrt. Die Ablaufzeit der Scheibe beträgt 1 s, so daß auf einen Stromstoß 0,1 s entfällt (Ziffern 1—0). Die Öffnungsdauer soll sich zur Schließungsdauer des Stromstoßes verhalten wie 1,3 zu 1 bis 1,9 zu 1, im Mittel also 1,6 zu 1. Der Kurz-

schlußkontakt, der den Sprechstromkreis während des Ablaufs der Wählerscheibe überbrückt, muß sich zur gleichen Zeit öffnen, zu der der Stromstoßkontakt zum letztenmal geschlossen wurde. In den Abb. 1226 a und b sind die äußere Ansicht des Nummernschalters und die Anordnung seiner Teile anschaulich gemacht.

(1962) Schaltung der OB-Fernsprechgehäuse (Abb. 1227). Jede Sprechstelle erhält eine besondere Ortsbatterie, die aus ein oder zwei Trockenelementen besteht.

Es sind folgende Stromkreise zu unterscheiden:

a) Mikrophonstromkreis mit Mikrophon, Batterie, primärer Wicklung der Induktionsspule und Haken- oder Gabelumschalter. Der Stromkreis wird durch Abnahme des Fernhörer, wodurch der Schalter umgelegt wird, geschlossen.

b) Fernhörerstromkreis mit Fernhörer, sekundärer Wicklung der Induktionsspule, Haken- oder Gabelumschalter. Schließung des Stromkreises wie zu a.

c) Weckerstromkreis mit Wechselstromwecker, der bei angehängtem Fernhörer geschlossen wird.

d) Rufstromkreis mit dem Induktor. Beim Andrehen der Kurbelachse wird der Kurzschluß des Ankers über die Achse aufgehoben. Der im Anker erzeugte Wechselstrom fließt über die *a*-Leitung und kehrt über die *b*-Leitung und den Arbeitskontakt am Induktor zurück.

Besteht im OB-Amt selbsttätige Schlußzeichengebung, so muß zwischen Fernhörer und *b*-Leitung ein Sperrkondensator von $2 \mu\text{F}$ eingeschaltet werden, um den Schlußzeichenstrom (Gleichstrom) während des Gesprächs abzuriegeln.

(1963) Schaltung der ZB- und SA-Fernsprechgehäuse (Abb. 1228). Im ZB-Betrieb ist für den Orts-Mikrophonstromkreis keine besondere Mikrophonbatterie mehr vorhanden. Der Speisestrom wird aus einer gemeinsamen Batterie beim Amte geliefert. Beim Abnehmen des Fernhörer erhält das unmittelbar in die Anschlußleitung eingeschaltete Mikrophon den Speisestrom. Ferner fällt der Kurbelinduktor zum Anrufen des Amtes fort. Beim Abnehmen des Fernhörer wird eine Anrufvorrichtung (Relais) betätigt (1759), die aus der ZB des Amtes gespeist wird. Das Relais schließt einen Ortsstromkreis mit eingeschaltetem Anrufzeichen (Lampe). Das Amt selbst ruft die Sprechstelle mit Wechselstrom aus einer Rufmaschine (1765).

Hiernach bestehen nur noch folgende 3 Stromkreise:

a) Mikrophonstromkreis mit ZB, *a*-Außenleitung, Mikrophon, Hakenumschalter, erster Wicklung der Induktionsspule, *b*-Außenleitung.

b) Fernhörerstromkreis mit der zweiten Wicklung der Induktionsspule und dem Fernhörer.

c) Weckerstromkreis mit Wecker von hohem Widerstand und Kondensator von $1 \dots 2 \mu\text{F}$ in Reihe geschaltet in Brücke zwischen der *a*- und *b*-Leitung.

Bei der in Abb. 1228 dargestellten Schaltung, wie sie ursprünglich angewendet wurde, fallen die Stromkreise unter *a* und *b* zusammen. Hakenumschalter, Mikrophon und Fernhörer sind in Reihe geschaltet. Der Strom der ZB durchfließt hierdurch dauernd den Fernhörer und beeinflußt einseitig die Membran, wodurch die Sprechverständigung herabgesetzt wird. Bei dieser Schaltungsart verursachen aber außerdem Störungen in den Zuleitungen (Schadhaftwerden der Hörer-

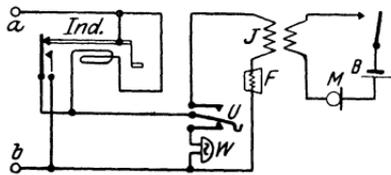


Abb. 1227. Schaltung des OB-Fernsprechgehäuses.

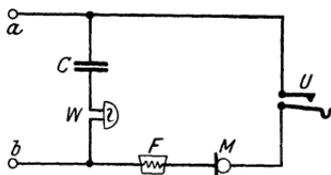


Abb. 1228. Schaltung der ZB- und SA-Fernsprechgehäuse.

schnüre usw.) unangenehme Geräusche im Stromkreis, unter denen die Verständigung erheblich leidet. Man hat daher später allgemein den Fernhörer wieder in einen besonderen Ortsstromkreis geschaltet (vgl. Abb. 1233), bei dem die Sprechströme durch eine Induktionsspule aus der Leitung auf den Fernhörer übertragen werden. Ein anderes Mittel zur Beseitigung der störenden Nebengeräusche bildet die Vorschaltung eines Kondensators vor den Hörer. Schließlich kann man das Ziel auch durch eine Anordnung nach Art der Wheatstoneschen

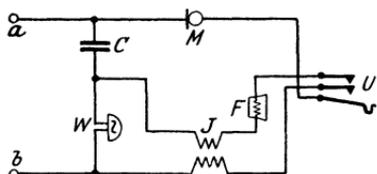


Abb. 1229. Western-Schaltung für ZB und SA-Gehäuse.

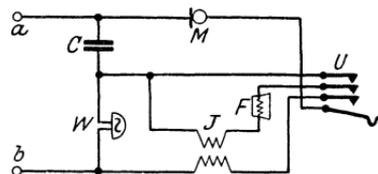


Abb. 1230. Schaltung des ZB-Fernsprechgehäuses nach Zwietusch.

Brücke erreichen. Am weitesten verbreitet ist die erstgenannte Art der Schaltung. Sie ist bei allen nachstehend angegebenen Schaltungen zur Anwendung gekommen.

In der Western-Schaltung (Abb. 1229) liegt in der *a*-Leitung das Mikrofon und der Hakenumschalter, der bei abgehängtem Fernhörer den Speisestrom über die erste Wicklung der Induktionsspule schließt. Der Fernhörer liegt mit der zweiten Wicklung der Induktionsspule und dem Kondensator parallel zum Mikrofon. Bei dieser Anordnung ist der Fernhörer nicht ganz stromfrei; wegen des hohen Widerstandes des Weckers, der zweiten Wicklung der Induktionsspule und des Fernhörers selbst im Vergleich zu der ersten Wicklung der Induktionsspule ist der Zweigstrom aber nur sehr gering. Bei der Schaltung von Zwietusch (Abb. 1230) ist im Hakenumschalter noch ein besonderer Kontakt hinzugekommen, der es ermöglicht, den Fernhörer nach Abnahme mit der zweiten Wicklung der Induktionsspule zu einem besonderen Stromkreis zu vereinigen. Beide Schaltungen — Western und Zwietusch — sind gegen Nebengeräusche immer noch recht empfindlich.

Vollständig frei von Gleichstrom bleibt der Fernhörer nach der Ericsson-Schaltung (Abb. 1231), wo er in einem besonderen Stromkreis mit der einen

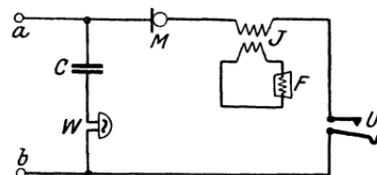


Abb. 1231. Schaltung des ZB-Fernsprechgehäuses nach Ericsson.

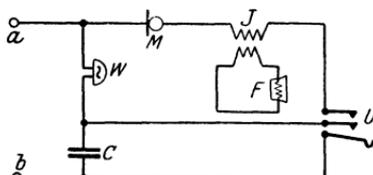


Abb. 1232. Tischfernsprecher ZB 08.

Wicklung der Induktionsspule eingeschaltet ist. Mikrofon, andere Wicklung der Induktionsspule und Hakenumschalter liegen in Reihe in der Leitung. Sehr vorteilhaft ist, daß hier der Hakenumschalter nur einen Kontakt braucht, was diesen Apparatteil wesentlich einfacher und betriebssicherer macht.

Eine bei der RTV sehr verbreitete Schaltung, die bei allen neueren Apparaten verwendet wird, wird in Abb. 1232 dargestellt. Es ist im allgemeinen die oben angegebene Ericsson-Schaltung. Doch ist durch einen weiteren Kontakt am Hakenumschalter ein Parallelkreis über den Wecker zum Mikrofon geschaffen worden, der verhindern soll, daß beim Stromloswerden des Mikrophons

der ZB-Kreis unterbrochen und dadurch das Ansprechen des Schlußzeichens beim Amte hervorgerufen wird. Das Mikrophon kann stromlos werden, wenn der Handapparat vorübergehend hingelegt oder stark zur Seite geneigt wird. Aus diesem Grunde wird auch bei allen anderen Apparaten, bei denen ein Handapparat mit Fernhörer und Mikrophon verwendet wird, das Mikrophon durch eine Drosselspule überbrückt.

Noch empfindlicher gegen Stromunterbrechung als der ZB-Betrieb ist der SA-Betrieb. Daher sind bei Schaltungen für diese Betriebsart besondere Vorkehrungen gegen Stromunterbrechungen zu treffen. In Abb. 1233 ist die Schaltung für den Wand- und Tischfernsprecher ZBSA 19 dargestellt. Grundschialtung ist wieder die bekannte Ericsson-Schaltung mit gesondertem Sendekreis. Zum Mikrophon ist bei abgehängtem Fernhörer die halbe Wicklung des Weckers parallel geschaltet. In einem zweiten Parallelkreis liegt der nsa -Kontakt

(Arbeitskontakt) der Wählscheibe, der sich in dem Augenblick schließt, in dem der nsi -Kontakt (Impulskontakt) der Wählscheibe betätigt wird. Hierdurch werden a - und b -Leitung über nsa -Kontakt und Haken- oder Gabelumschalter kurz geschlossen und die Impulsgabe sichergestellt. Der in der Schaltung angegebene Kondensator ist hier nicht im Gehäuse selbst untergebracht, sondern in einem Beikasten, der gleichzeitig als Anschlußkästchen für die Leitungszuführung und unter Umständen für die Anschaltung eines zweiten Weckers dient (Abb. 1225). Der Fernhörer hat 2×30 Ohm Widerstand, die Induktionsspule im Mikrophonkreis 29 und im Fernhörerkreis 32 Ohm Widerstand. Es werden entweder Wechselstromwecker ZB 23 mit 2×750 Ohm oder ZB 06 mit gleichem Widerstand verwendet. Der Gabelumschalter ist dreifedrig, 2 Federn dienen zum Schließen des Mikrophonstromkreises, die dritte Feder schaltet eine Elektromagnetrolle des Weckers zum Mikrophon parallel, um Stromunterbrechung im Mikrophonkreis aus oben erörterter Ursache zu vermeiden und ferner die Spannung der ZB am Mikrophon zu vermindern.

Bei dem Tischfernsprecher ZBSA 24 ist der Kondensator aus dem Beikasten in den Apparat selbst verlegt worden. Statt des Beikastens hat er nur eine Anschlußrosette, die mit einer Schraube oder einem Stahldubel an der Wand befestigt werden kann. Aus dieser Unterbringung des Kondensators ergibt sich eine kleine Änderung des Stromlaufs, der sonst dem des Tischfernsprechers ZBSA 19 entspricht, wie aus Abb. 1234 zu ersehen ist. Der Wecker hat 2×300 Ohm Widerstand und ist zur Herabsetzung der Spannung am Mikrophon und zur Verhinderung von Unterbrechungen im Gleichstromkreis dem Mikrophon mit beiden Wicklungen parallel geschaltet. Die Induktionsspule ist die gleiche wie bei dem oben genannten Modell 19. Im übrigen sind alle äußeren Abmessungen etwas kleiner gehalten, wodurch die Form gefälliger wirkt.

(1964) Fernsprechgehäuse mit Rückfrageeinrichtung. Rückfrageapparate — auch Mehrfachanschlußapparate genannt — sind zur Aufnahme von 2... 3 Leitungen eingerichtet. Sie sollen die Möglichkeit geben, während eines Gesprächs in einer Leitung eine Rückfrage in einer anderen Leitung bei einer Sprechstelle (Herbeiholen einer Auskunft oder dgl.) halten zu können, ohne daß die erste

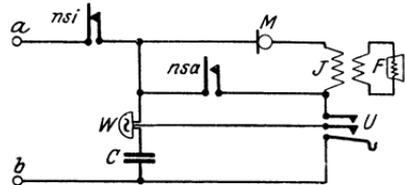


Abb. 1233. Wand- und Tischgehäuse ZBSA 19.

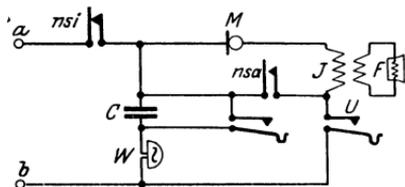


Abb. 1234. Tischfernsprecher ZBSA 24.

Verbindung eine Unterbrechung erfahren darf. Zu diesem Zwecke führen die Leitungen über Drucktasten und enden im Ruhezustande wie bei den gewöhnlichen Gehäusen auf einem Wechselstromwecker. Die Anschaltung des für beide Leitungen gemeinsamen Handapparats geschieht durch Niederdrücken der zur Leitung gehörenden Taste. Die Taste der Hauptleitung ist mit einem Seiten-

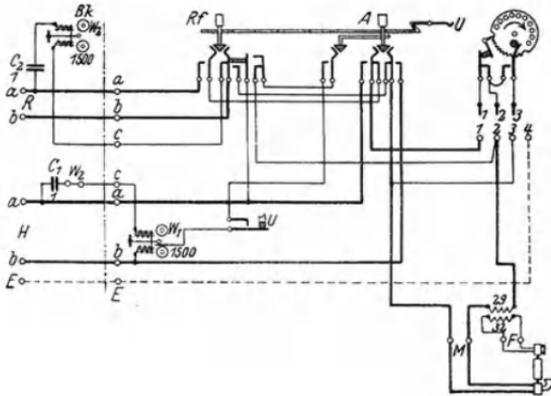


Abb. 1235. Tischapparat mit Rückfrageeinrichtung.

schalter versehen, der beim Übergang auf die zweite Leitung (Rückfrageleitung) unter Umschaltung des Handapparats auf diese den Wechselstromwecker oder bei einigen Apparatarten auch nur die Hälfte seiner Wicklung parallel zwischen die *a*- und *b*-Zweige der Hauptleitung schaltet und auf diese Weise das Erscheinen des Schlußzeichens beim Amte oder das Zusammenfallen des Wählers verhindert. Nach beendeter Rückfrage wird durch Druck der Taste der Hauptleitung der Handapparat wieder zurückgeschaltet und das Gespräch kann fortgesetzt werden. Die nebenstehende Stromlaufzeichnung (Abb. 1235) veranschaulicht die einzelnen Schaltvorgänge. Abb. 1236 gibt eine Darstellung eines derartigen Tischapparats mit Rückfrageeinrichtung.



Abb. 1236. Tischapparat mit Rückfrageeinrichtung.

Bei den neuesten Rückfrageapparaten (Modell 26), dessen Stromverlauf in Abb. 1237 dargestellt wird, ist auch die Taste der Rückfrageleitung mit einem Seitenschalter versehen, so daß bei Gesprächen in der Nebenleitung Anrufe aus der Hauptleitung beantwortet werden können, ohne daß die Verbindung in der Rückfrageleitung unterbrochen wird. Auch bei diesen Apparaten wird wie bei den älteren Arten gleich beim Zurückgehen in die erste Leitung das Schlußzeichen in der zweiten Leitung gegeben.

(1965) Anschlußdosenanlagen dienen dazu, ein tragbares Fernsprechgehäuse an beliebig vielen Stellen ein und derselben Anschlußleitung anschalten zu können. Sie bestehen aus einer Anschlußdose und dem dazugehörigen Anschlußstöpsel mit der Verbindungsschnur zu dem Fernsprechgehäuse. In der Dose sind die Kontaktfedern zur Anschließung der Leitungszweige, der Zuführungen zu an-

deren Anschlußdosen, zu der Mikrophonbatterie und unter Umständen zu besonderen Weckern untergebracht. Durch den Deckel der Dose führen die metallisch ausgefütterten Stößellocher. Entsprechend der Zahl der Stößellocher besitzt

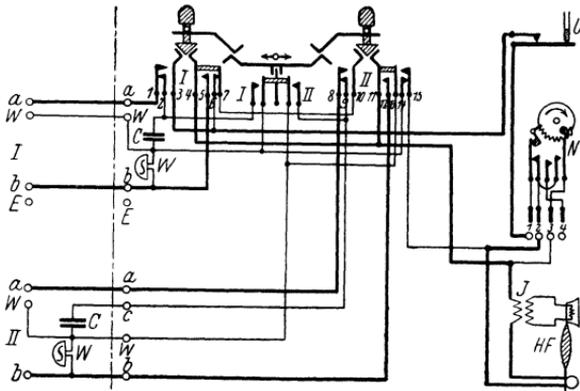


Abb. 1237. Ruckfrageapparat Modell 26.

der Anschlußstoppel Metallstifte. Die Schnur wird seitlich in den Anschlußstoppel eingeführt. Um die richtige Anschaltung sicherzustellen, hat bei sechsteiligen Anschlußdosen ein Kontaktstift größeren Durchmesser, und dementsprechend

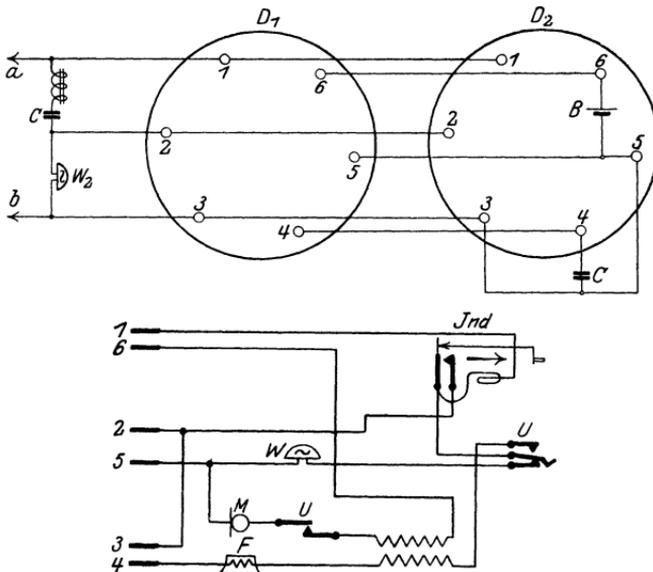


Abb. 1238. Sechsteilige Anschlußdose nebst Gehäuse (für OB-Netze).

ist das dazugehörige Führungsloch der Dose von größerer lichter Weite. Außerdem ist die richtige Stellung durch ein weißes Zeichen markiert. Die sechsteiligen Anschlußdosen sind nur in OB-Netzen notwendig. Wie der Stromverlauf zwischen Anschlußdose und Fernsprecher ist, ergibt sich aus Abb. 1238. Alle zur Verwen-

dung kommenden Dosen sind hintereinandergeschaltet. Gemeinsam ist die Mikrofonbatterie. Der besondere Wecker, der notwendig ist, wenn das Fernsprechgehäuse nicht angeschaltet ist, liegt vor den Anschlußdosen in Brücke mit Kondensator und Drosselspule.

Im ZB-Betrieb ist die Anschaltung des Fernsprechers an die Anschlußdose sehr einfach, wie aus der Stromlaufzeichnung in Abb. 1239 hervorgeht.

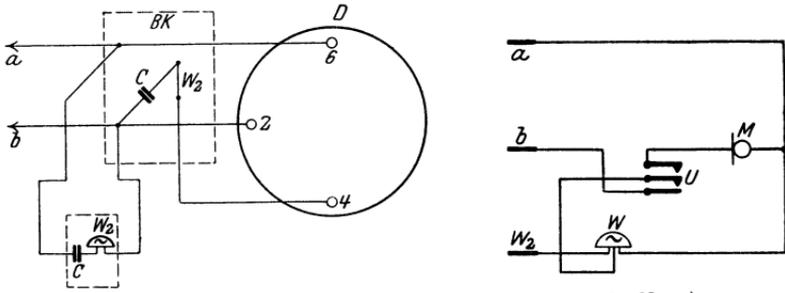


Abb. 1239. Dreiteilige Anschlußdose nebst Gehäuse (für ZB-Netze).

Im SA-Betrieb muß Vorsorge getroffen werden, daß die Stromimpulse des *nsi*-Kontaktes ohne Schwächung in die Leitung gelangen. Daher ist der *a*-Kontakt der Dose, wie aus der Abb. 1240 ersichtlich ist, mit einer Unterbrechungsfeder versehen worden, die den besonderen Weckerstromkreis abschaltet und

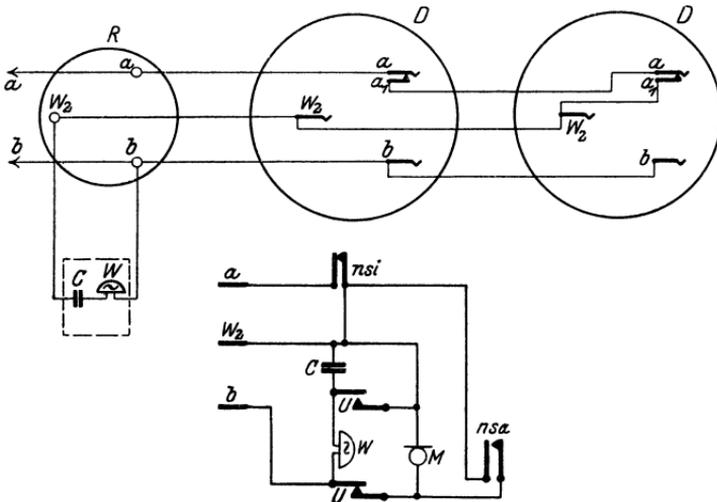


Abb. 1240. Dreiteilige Anschlußdose nebst Gehäuse (für SA-Netze).

die *a*-Leitung unmittelbar an den Impulskontakt legt. In beiden Abbildungen ist der besondere Senderkreis (Fernhörer) der Einfachheit halber weggelassen worden.

(1966) Münzfernsprecher. Um jedermann Gelegenheit zu geben, in einem Fernsprechnetz den Fernsprecher benutzen zu können, ohne selbst angeschlossen zu sein oder eine öffentliche Sprechstelle bei den Verkehrsanstalten benutzen zu müssen, sind an dem Publikum leicht zugänglichen Stellen (auf Bahnhöfen, in Kiosken an Straßenkreuzungen, in Warenhäusern usw.) Sprechstellen nach Art

der Warenautomaten eingerichtet worden, bei denen nach Zahlung der vorgeschriebenen Gebühr ein Gespräch geführt werden kann. Dies geschieht auf die Weise, daß — im OB-Betrieb durch Induktoranruf, beim ZB-Betrieb durch Abnehmen des Hörers — das Amt angerufen und der gewünschte Teilnehmer genannt wird. Die Beamtin bringt den Teilnehmer und stellt, nachdem der Benutzer des Fernsprechautomaten nach Aufforderung die Gebühr bezahlt hat, die Verbindung her. Die Gebühr kann entweder in der gängigen Münze oder durch eine Fernsprechwertmarke, die an den Schaltern der Verkehrsanstalten zu kaufen ist, entrichtet werden. Die Kontrolle, ob das Geldstück eingeworfen wurde, wird dadurch ausgeübt, daß die Münze beim Eingleiten in den Zahlkanal gegen eine Glockenschale oder einen Gong schlägt und dieses Geräusch auf den Hörer der Beamtin übertragen wird. Bei anderen älteren Apparaten wird die erfolgte Zahlung dadurch kenntlich gemacht, daß das durch die Rinne gleitende Geldstück einen Nebenschluß zum Mikrophon herstellt, der ein kratzendes Geräusch im Mikrophon hervorruft.

Man unterscheidet zwei Arten von Fernsprechapparaten mit Geldeinwurf: Kassiovorrichtung (Mod. 08/10 und 14), bei der jedes beliebige Fernsprechgehäuse verwendet werden kann, und der eigentliche Münzfernsprecher, bei dem Fernsprecher und Kassiovorrichtung in einem Gehäuse zusammen untergebracht sind.

Im ersten Falle sind Sprechgehäuse und Kassiovorrichtung auf einer gemeinsamen Grundplatte angebracht. Anruf erfolgt, wie gewöhnlich, durch Drehen der Kurbel oder Abheben des Fernhörers. Hat die Beamtin den gewünschten Teilnehmer erreicht, so fordert sie zum Zahlen auf. Der Anrufer muß das Geldstück oder die Wertmarke in die Zahlöffnung stecken und dann einen Hebel herabdrücken. Hierbei wird die Gleitrinne mit dem Geldstück gedreht. Bei der Lageveränderung der Rinne nimmt das Geldstück zwei Arme mit, die später freigegeben werden und gegen zwei Klängefedern schnellen. Der Doppelklang dieser Federn wird über die gemeinsame Grundplatte auf das Mikrophon des Wandgehäuses übertragen. Die Münze fällt in einen Behälter. Vorrichtungen sind getroffen, um schlechte und zu schmale Geldstücke auszuwerfen. Außerdem wird durch eine Alarmvorrichtung verhindert, daß die Tür der Kassiovorrichtung unbefugt geöffnet werden kann. Die auswechselbare Sammelbüchse, in die die Münzen gleiten, befindet sich am Boden der Kassiovorrichtung.

Eine für den SA-Betrieb eingerichtete Kassiovorrichtung hat die Firma Lorenz entwickelt. Sie ist ebenso wie die oben beschriebene auf gemeinsamer Unterlage mit dem Wandapparat untergebracht und mit einer besonders eingerichteten Nummernscheibe versehen. Sie hat 4 Einwürfe für 5-, 10-, 50-Pf.- und 1-Markstücke und zwei Tasten, von denen die eine die Vereinnahmung des Geldes bewirkt, die andere die Rückgabe bei nicht zustande gekommenen Gesprächen ermöglicht. Die Nummernscheibe im Wandapparat hat einen Zusatzkontakt, der für jedes OFN besonders eingestellt werden kann. Dieser Kontakt wird geschlossen, wenn z. B. in einem 100000er-Amt die 4. Ziffer gewählt worden ist. Wenn Dienststellen Anrufnummern von 1—4 Ziffern haben, so können sie gewählt werden, ohne daß eine Münze eingeworfen werden muß; der Sprechverkehr mit den Dienststellen ist also frei. Weiter kann diese Einrichtung aber auch dazu benutzt werden, um Gespräche im Schnell- und Fernverkehr zu führen und Telegramme aufzugeben. In diesen Fällen muß die Beamtin ein Zeichen erhalten, daß der Anruf von einem Münzfernsprecher ausgeht und sie die Gebühr vereinnahmen lassen muß. Dieses Zeichen wird durch Flackern der Anruflampe gegeben, das durch eine besondere Schaltung des 1. Gruppenwählers veranlaßt wird. Die Überwachung der Vereinnahmung geschieht durch ein besonderes Mikrophon, das die Zeichen von einem Gong und einer Glocke aufnimmt. Während der Übermittlung des Zeichens durch dieses Hilfsmikrophon wird das Mikrophon kurz geschlossen und erst durch Drücken des Zahlknopfes wieder geöffnet.

Soll nun ein Gespräch mit einem Teilnehmer des SA-Netzes geführt werden, so muß der Anrufende zunächst die entsprechende Münze einwerfen. Die Münze legt den A-Kontakt (Abb. 1241) um, wodurch das Mikrophon geschlossen wird und der MWK-Kontakt geöffnet wird. Der Weg zum Wählen ist nun frei. Wenn die 5. Ziffer gewählt wird, hört der Anrufende den Teilnehmer, kann aber selbst noch nicht sprechen, da ja das Mikrophon noch kurzgeschlossen ist. Der Kurzschluß wird durch Drücken der Zahltaсте aufgehoben und das Gespräch kann ausgeführt werden. Merkt der Anrufende, daß nach Wahl der 5. Ziffer die Verbindung falsch ist, kann er durch Drücken des Rückgabeknopfes die Rückgabe der eingeworfenen Münze erreichen und trennt damit gleichzeitig die Verbindung. Der Münzfernsprecher kann auch angerufen werden.

Von der zweiten Art von Fernsprechapparaten mit Geldeinwurf, dem eigentlichen Münzfernsprecher, sind auch verschiedene Typen im Gebrauch. Sehr verbreitet ist der Münzfernsprecher M 22, der zum Anschluß an ZB- und ZBSA-Netze eingerichtet ist. Er besteht aus einem Gehäuse, das durch eine Querwand

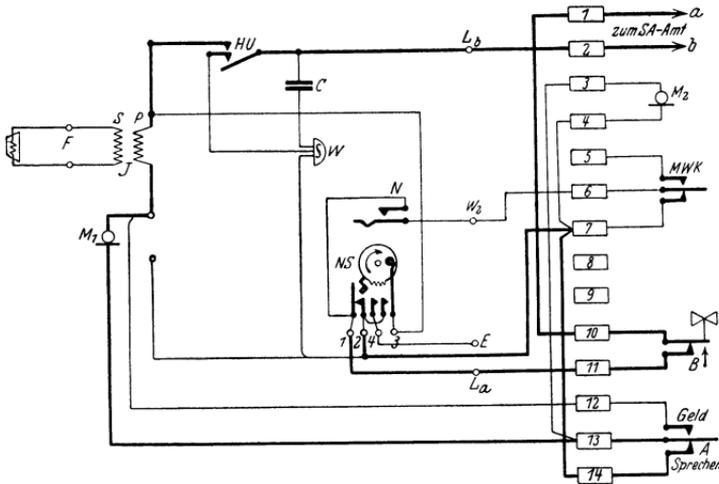


Abb. 1241. Kassiovorrichtung für SA-Netze.

in zwei ungleich große Räume geteilt ist. Der kleinere untere Raum nimmt den Geldbehälter auf. An der Vorderseite des Gehäuses ist der rote Zahlknopf, die Einwurfsöffnung, die Nummernscheibe und ein kleines Glasfenster, hinter dem der Zähler zu sehen ist, angebracht. In dem oberen Raum befinden sich alle zur eigentlichen Kassiovorrichtung gehörigen Einzelteile und die Klemmen. Am seitlich herausragenden Hakenumschalter hängt ein Handapparat, der mit Rücksicht darauf, daß sein Gewicht beim Anhängen die Umschaltung der mechanischen Teile bewirken muß, in der Ausführung schwerer gehalten ist als die sonst üblichen Handapparate. Er hat eine sogenannte Kugeleinsprache, die weniger verschmutzt als die Sprechtrichter und dauerhafter ist. Der Einwurf ist für Fernsprechwertmarken eingerichtet, kann aber jederzeit auf einfache Weise für Geldmünzen umgebaut werden.

Der Stromverlauf des Apparats ist in Abb. 1242 wiedergegeben. Der Betrieb gestaltet sich in folgender Weise: Wird der Handapparat abgenommen, und die Wertmarke eingeworfen, so wird durch den Münzkontakt *U* das Mikrophon ausgeschaltet und dafür die Nummernscheibe eingeschaltet. Der *nsa*-Kontakt schließt während des Wählens alle stromführenden Teile kurz und bewirkt hierdurch eine ungeschwächte Weitergabe der Stromimpulse. Meldet sich

der Teilnehmer, so kann der Anrufer, da jetzt der *nsa*-Kontakt wieder geöffnet ist, wohl hören aber noch nicht sprechen, da das Mikrophon noch ausgeschaltet ist. Durch Drücken des Zahlknopfes wird der Kontakt *U* umgelegt und *z* geschlossen und das Mikrophon wieder eingeschaltet. Ist die Verbindung falsch oder die Leitung besetzt, so wird die eingeworfene Münze zurückgegeben. Gleichzeitig werden alle Kontakte in die Ruhelage zurückgeführt. Für besondere Zwecke kann im ZB-Betrieb die erfolgte Zahlung angezeigt werden. Während des Zahlvorgangs, der gleichzeitig einen Gesprächszähler in Bewegung setzt, kann eine Feder in schwingende Bewegung gesetzt werden. Die schwingende Feder berührt eine andere, die während der Berührung dem Handapparat einen Widerstand von 220 Ω parallel schaltet, wodurch im Sprechstromkreis ein Surren hervorgerufen wird.

In Ortsnetzen, in denen sich SA-Ämter und ZB-Ämter nebeneinander befinden und betrieben werden, ist der Münzfernsprecher M 22 nicht brauchbar. An seiner Stelle wird der Münzfernsprecher M 26 verwendet. Er gleicht in seinem Aufbau dem Modell 22, unterscheidet sich von ihm nur durch die Schaltung. Wie bei der oben beschriebenen Kassiovorrichtung kann auch hier eine Dienststelle ohne Einwurf einer Münze angerufen, ein Schnell- oder Ferngespräch geführt, außerdem der Münzfernsprecher auch angerufen werden. Die Abwicklung des Gesprächs mit einem Teilnehmer geschieht wie beim M 22. Wesentlich

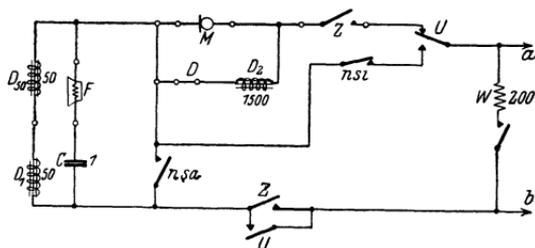


Abb.1242. Münzfernsprecher M 22 für ZB- und SA-Netze.

ist bei M 26, daß zur Unterbrechung des Mikrophonstromkreises nach Wahl von 3 Ziffern beim SA-Amt eine Eingangsübertragung mit einer Relaiskette eingeschaltet werden muß.

(1967) **Streckenfernsprecher** sind tragbare Fernsprechapparate, die den Störungssuchern und Fernsprechbautrupps zur Verbindung mit den Ämtern von der Strecke aus über Anschluß- oder Fernleitungen dienen. Sie müssen ihrem Zwecke entsprechend möglichst leicht und handlich gebaut sein. Ursprünglich benutzte man den Fernhörer gleichzeitig zum Sprechen und Hören. Da aber hierbei die Verständigung meist sehr mangelhaft war, besonders wenn es sich, wie meistens, um gestörte Leitungen handelte, rüstet man jetzt die Apparate mit einem Mikrophon aus. In einem handlichen Kasten ist ein Handapparat, ein Trockenelement, Induktionsspule, Induktor und Gleichstromwecker untergebracht. Der Handapparat läßt sich ineinanderschieben, um Raum zu gewinnen. An ihm befindet sich eine Taste, die den Haken- oder Gabelauschalter der gewöhnlichen Fernsprechgehäuse ersetzt und durch deren Betätigung sowohl der Ortsstromkreis für das Mikrophon eingeschaltet als auch die Leitung von dem Wecker auf den Sprechstromkreis umgeschaltet wird. Wecker und Induktor sind hintereinandergeschaltet. Mit dieser Schaltanordnung kann man die Leitungen auf Stromfähigkeit und Unterbrechung prüfen. Schlägt der Wecker beim Drehen der Kurbel an, so ist die Leitung stromfähig. In SA-Netzen wird der Apparat noch mit einer Nummernscheibe ausgerüstet. Auch ist die Notwendigkeit hervorgetreten, den Apparat noch mit kleinen Spannungs- und Strommessern auszurüsten. Ein derartiger allen Anforderungen genügender Streckenfernsprecher ist in Vorbereitung.

Private Fernsprechanlagen.

(1968) Telefon und Mikrophon werden im allgemeinen von derselben Bauart wie bei größeren Anlagen verwendet, nur kann man leichtere und einfachere Ausführungsformen wählen. Häufig werden beide zum Mikrotelephon vereinigt. In den einfachsten Anlagen erhält die rufende Stelle einen Druckknopf mit festem Haken für das Mikrotelephon und Doppelstößelkontakte zum Einfügen der Leitungsschnur des Mikrotelephons. Die zu rufende Stelle erhält einen beweglichen Haken zum Abschalten des Weckers. Bei dieser einfachen Anlage kann die eine Sprechstelle (z. B. Speisezimmer) nur die andere (z. B. Küche) anrufen und nicht umgekehrt. Oft werden auch die Mikrotelephone mit einer Umschalttaste im Handgriff ausgeführt. Ruftaste und Hakenschalter sind dann entbehrlich.

Sollen beide Sprechstellen sich gegenseitig anrufen können (Korrespondenzanlage), so muß jede von ihnen eine Ruftaste, einen Wecker und Hakenschalter (bzw. Taste im Handgriff) haben. Es sind drei Leitungen erforderlich.

(1969) Die direkte Schaltung empfiehlt sich für Anlagen von geringer Leitungslänge wegen der größeren Einfachheit; es entfällt besonders die Mikrophonbatterie. Bei Anlagen dieser Art ergibt sich jedoch bei größerem Leitungswiderstand der Nachteil, daß die durch die Sprache hervorgerufenen Schwankungen des Mikrophonwiderstandes nur eine unwesentliche Änderung des Gesamtwiderstandes des Stromkreises (zwei Mikrophone, zwei Fernhörer, Batterie und die ganze Leitungslänge) ausmachen. Die durch diese Widerstandsänderungen hervorgerufenen Stromschwankungen sind relativ zum Dauerstrom sehr gering, die Sprache wird also sehr leise. Auch eine Erhöhung der Batteriespannung ergibt kein wesentlich besseres Resultat und ist mit unwirtschaftlichen Kosten verknüpft. Zudem fließt bei der direkten Schaltung der Dauerstrom durch den Fernhörer, was bei Verwendung von permanenten Magneten im Fernhörer nicht erwünscht ist.

(1970) Übertragerschaltung. Um den Gleichstrom von der Leitung und den Fernhörern abzuhalten, trennt man den Mikrophonstromkreis von der Leitung durch Zwischenschaltung kleiner Transformatoren (Induktionsspulen, 4732). Die Induktionsspule transformiert bei entsprechendem Übersetzungsverhältnis in den Wicklungen die Schwankungen auf hohe Spannung und niedrigen Strom. In jeder Sprechstelle bildet dann die Mikrophonbatterie, das Mikrophon und die Primärwicklung der Induktionsspule einen Ortsstromkreis. Jede Sprechstelle erhält eine Mikrophonbatterie und eine Rufbatterie. Die Rufbatterie kann auch für beide Sprechstellen gemeinsam sein, dann sind jedoch zur Verbindung der Sprechstellen drei Leitungen erforderlich.

Für Anlagen mit drei Sprechstellen, die wechselseitig miteinander verkehren sollen, muß jeder Apparat noch einen Umschalter für zwei Stellungen erhalten, um das Gerät beliebig auf eine der beiden abgehenden Leitungen schalten zu können. Um jeden Teilnehmer ohne Rücksicht auf die Stellung des Umschalters von beiden Richtungen aus anrufen zu können, erhält jede Sprechstelle zwei Wecker.

(1971) Linienwähler werden bei mehr als zwei abgehenden Sprechrichtungen verwendet. Es sind Umschalter, die die Verbindung der Ruf- und Sprechvorrichtung jeder Sprechstelle mit so viel anderen Teilnehmern ermöglichen, wie Kontaktgeber im Linienwähler vorhanden sind. In der Ruhelage ist der Linienwähler auf Empfang geschaltet, d. h. der Wecker ist mit der eigenen Linienleitung verbunden. Nach Schluß des Gesprächs muß die rufende Stelle ihren Linienwähler wieder in die Ruhelage bringen. Dies erfolgt zweckmäßig durch das Aufhängen des Fernhörers auf den Haken.

a) Stößellinienwähler enthalten Buchsen und Stößel mit Schnüren. Die Buchsen werden entweder in einem Holzbrett eingelassen, das neben jeder wählenden Stelle angeordnet wird, oder sie werden in das Gehäuse eingebaut.

Die Buchsen werden an die abgehenden Leitungen, die Stöpsel an den eigenen Apparat angeschlossen. Die erste Buchse des Wählers führt zur eigenen Linienleitung. Nach Schluß des Gesprächs muß der Stöpsel in diese Buchse gesteckt werden. Selbsttätige Rückstellung ist nicht möglich. Stöpsellinienwähler werden nur für Einfachleitung gebaut.

b) Kurbellinienwähler. Die abgehenden Leitungen werden an kreisförmig angeordnete Kontakte angeschlossen, über denen ein drehbarer Hebel schleift. Die erste Stellung ist die Ruhestellung. Kurbellinienwähler werden für Einfach- und Doppelleitung gebaut. Die Kontakte und der Hebel liegen meist offen, bei einer neueren Ausführung sind Hebel und Kontakte verdeckt im Inneren des Gehäuses angeordnet, aus der Vorderwand des Gehäuses ragt nur ein Knebel mit Zeiger heraus. Die Achse des Knebels ist durchbohrt und dient zur Durchführung des Rufknopfes. Die Rückstellung erfolgt selbsttätig beim Auflegen des Mikrotelephons auf den Gabelträger.

c) Druckknopflinienwähler für Einfachleitung enthalten für jede Verbindungsmöglichkeit einen Druckknopf (Taste). Beim Niederdrücken der Taste erfolgt selbsttätig der Anruf der gewünschten Sprechstelle. Wird nach Schluß des Gesprächs der Fernhörer an den Haken gehängt, so schnellt der nieder-

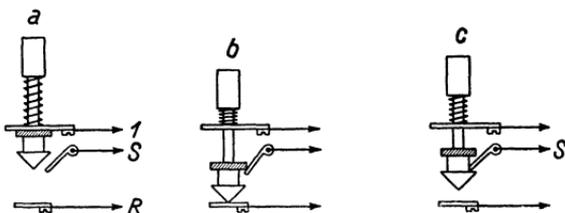


Abb. 1243. Linienwählertaste.

gedrückte Knopf selbsttätig in seine Ruhelage zurück. Abb. 1243 zeigt einen solchen Druckknopf in drei Stellungen. *a* ist die Ruhelage. An die Klemme 1, die durch die Spiralfeder mit dem Körper der Taste verbunden ist, wird die Leitung zum fremden Teilnehmer angeschlossen, die bewegliche Schiene *S* führt zum Fernhörer des Apparates und an der festen Schiene *R* liegt ein Pol der geerdeten Rufbatterie. Wird die Taste bis zum Anschlag heruntergedrückt (Stellung *b*), so berührt die Spitze des Tastenkörpers die Rufschiene *R*. Der Rufstrom geht nun durch den Tastenkörper zur Leitung 1 zum gewünschten Teilnehmer, dort über den Hakenschalter zum Wecker und über Erde zur Rufbatterie zurück. Die aus Isolierstoff bestehende Scheibe am Kegel trennt hierbei den Sprechstromkreis von dem Körper der Taste. Wird die Taste losgelassen, so federt sie in die Sprechstellung zurück (*c*). In dieser Stellung legt sich die mit dem Fernhörer verbundene Schiene *S* in den Rand am Kegel des Tastenkörpers, hält die Taste in dieser Lage fest und schaltet den Sprechstromkreis an die Leitung des gewünschten Teilnehmers. Nach Beendigung des Gesprächs wird der Fernhörer an den Haken gehängt und hierdurch die bewegliche Schiene aus der Rast am Kegel herausgedreht. Die Taste federt in die Ruhelage zurück.

Sprechen in einer Linienwähleranlage mit Einfachleitung mehrere Teilnehmer gleichzeitig, so sind die Sprechkreise aller dieser Teilnehmer durch die gemeinsame Rückleitung (bzw. Erde) einpolig zusammengeschaltet. Da die anderen Zweige der Sprechkreise meist im Kabel oder im Rohr dicht beieinander liegen, ergibt sich hierbei ein induktives Nebensprechen, d. h. das Gespräch zweier Teilnehmer kann von anderen Teilnehmern mitgehört werden. Durch Verwendung von induktionsfreiem Kabel, bei dem jede Ader mit Stanniol umwickelt ist, und Vergrößerung des Querschnittes der gemeinsamen Rückleitung (Erdung) kann zwar das Übersprechen in mäßigen Grenzen gehalten werden, macht sich aber bei längeren Leitungen oft störend bemerkbar.

d) Druckknopflinienwähler für Doppelleitung leiden bei sachgemäßer Verlegung nicht an vorstehendem Übelstand. Sie erfordern jedoch neben einem Kabel mit größerer Aderzahl (verdralte Leitungen) doppelte Kontakte in den Linienschaltern. Durch Drücken auf die Taste *T* (Abb. 1244) wird der Kegel *K* zwischen die langen Federn 2 und 3 hineingeschoben und biegt diese Federn nach außen, so daß die Kontakte 1/2 und 3/4 geschlossen werden. Die Taste wird in dieser Lage durch den Kegel und eine bewegliche Schiene in derselben Weise festgehalten, wie dieses in Abb. 1243 *a, b, c* erläutert worden ist. Die Auslösung der gedrückten Taste erfolgt mechanisch vom Hakenumschalter oder von einer anderen Linientaste. Diese Tasten besitzen meist keine gemeinsame Rufschiene, wie die Einfachleitungslinienwähler. Es ist dann zum Rufen des gewünschten Teilnehmers eine besondere Ruftaste (ohne Arretierung) erforderlich.

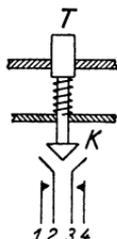


Abb. 1244.
Linienwähler-
taste für
Doppelleitung.

e) Hebellinienwähler. An Stelle der Drucktasten verwendet man zum Betätigen des Federsatzes auch Hebel. Die Federn werden betätigt, indem durch Umlegen des Hebels ein rundes oder keilförmig ausgebildetes Isolierstück zwischen die längeren Federn geschoben wird (Winkelhebel). Eine Nase des Hebels greift hierbei in eine bewegliche Schiene, die den Hebel in der umgelegten Stellung festhält, bis die Falle durch Betätigung eines anderen Hebels oder (beim Schluß des Gesprächs) durch den Hakenumschalter zurückgezogen wird.

Auch diese Hebellinienwähler werden meist mit besonderer Ruftaste versehen. Bei einer neuen Ausführung der Hebellinienwähler werden die nebeneinander liegenden Federpaare durch den Hebel zusammengedrückt. Die Hebel sind mechanisch derart miteinander verbunden, daß beim vollständigen Niederdrücken ein allen Hebeln gemeinsames Gestänge selbsttätig den Rufedersatz betätigt. Bei diesen Apparaten ist daher ein besonderer Rufhebel nicht erforderlich. Diese Hebellinienwähler werden in Metallgehäusen ausgeführt, die nicht

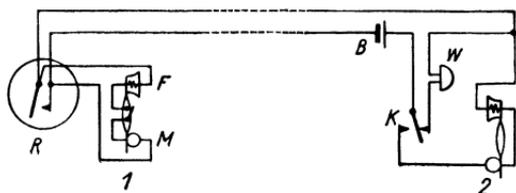


Abb. 1245. Anlage mit einseitigem Verkehr.

größer sind als ein normales ZB-Teilnehmergehäuse und dabei doch bis zu 20 Linienhebel fassen.

(1972) **Schaltungen.**
a) Einfache Hausanlagen für einseitigen Verkehr mit direkter Sprachübertragung. An Stelle des sonst in Klingelanlagen üblichen Druckknopfes verwendet man einen Taster *R* mit Anschlußbuchsen für den Fernsprecher (Abb. 1245). Dieser besteht meist aus einem Handapparat mit Fernhörer *F* und Mikrophon *M*. In der Nähe des Weckers *W* wird ein Umschaltkontakt *K* angeordnet, z. B. in Form eines beweglichen Hakens, auf dem in der Ruhelage das Mikrotelephon 2 hängt. Beim Druck der Taste *R* läutet der Wecker *W*. Beim Abheben des Handapparates 2 wird der Kontakt *K* umgelegt, und an Stelle des Weckers *W* das Mikrotelephon 2 an die Leitung geschaltet. Bei dieser einfachsten Anordnung kann nur von 1 nach 2 gerufen werden.

Sollen die beiden Sprechstellen sich gegenseitig anrufen können (korrespondierender Verkehr), so muß jede Sprechstelle eine Ruftaste und einen Wecker erhalten.

b) Korrespondenzanlage mit getrennter Rufbatterie und indirekter Schaltung (Abb. 1246). Für die Batterien B_1 und B_2 genügt meist je ein Trockenelement. Bei Betätigen der Taste *T* der Sprechstelle 1 verläuft der Rufstrom von Batterie B_2 über den Arbeitskontakt der Taste *T*, Klemme *La* über die

Anruf von *III*. Die Ortsstromkreise sind in der Schaltung zur besseren Übersicht fortgelassen. — Solche Anlagen werden auch für Doppelleitung und gemeinsame Rufbatterie gebaut.

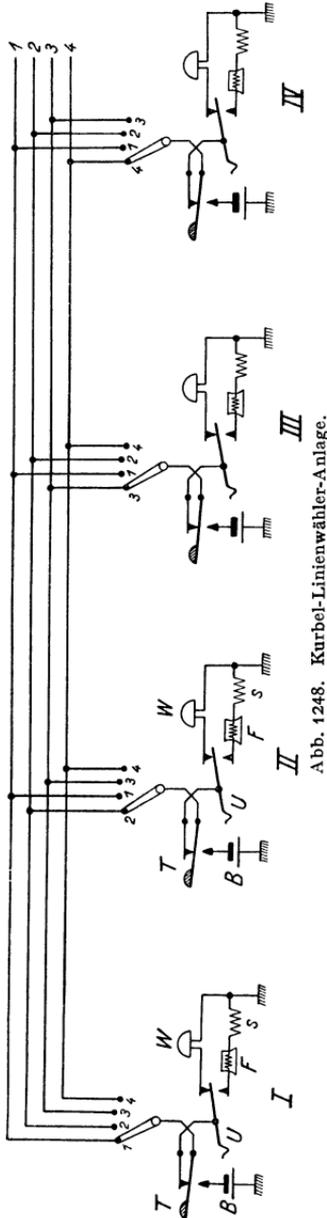


Abb. 1248. Kurbel-Linienwähler-Anlage.

d) Kurbellinienwähleranlage für Einfachleitung mit getrennten Rufbatterien (Abb. 1248). In der gezeichneten Lage befinden sich alle Teilnehmer in der Empfangsstellung. Der Teilnehmer *I* kann durch Drehen seiner Linienwählerkurbel sich wahlweise mit den Sprechstellen *II*, *III* oder *IV* verbinden und jeden dieser Apparate mit seiner Taste *T* anrufen. Der gerufene Teilnehmer nimmt den Fernhörer vom Haken und meldet sich, ohne seine Linienwählerkurbel zu drehen. Nach Schluß des Gespräches muß der rufende Teilnehmer die Kurbel seines Apparates wieder in die Ruhelage zurückstellen, da er sonst von den anderen Teilnehmern nicht angerufen werden kann. Die Linienwählerkurbeln werden daher zweckmäßig mit einer selbsttätigen Rückstellung in die Ruhelage versehen (Spiralfeder, Auslösung durch den Hakenumschalter).

Beim Anruf von der Sprechstelle *I* nach *II* verläuft der Rufstrom zur Batterie *B* über den Arbeitskontakt der Ruftaste *T*, Kurbel in Stellung 2, Leitung 2 zum Teilnehmer *II*, hier über Kurbel, Ruhekontakt der Taste *T*, oberer Kontakt des Hakenumschalters *U*, Wecker *W* und Erde zur Batterie *B* zurück. Der Sprechstrom verläuft von Erde der Station *I*, Sekundärspule *s*, Fernhörer *F*, unterer Kontakt des Hakenumschalters *U*, Ruhekontakt der Ruftaste *T*, Kurbel in Stellung 2, Leitung 2 zum Teilnehmer *II*, hier über Kurbel, Ruhekontakt der Taste *T*, unterer Kontakt des Hakenumschalters *U*, Fernhörer *F*, Sekundärspule *s* zur Erde. Der Mikrophonstromkreis verläuft lokal und ist in der Zeichnung fortgelassen. Soll eine für alle Teilnehmer gemeinsame Rufbatterie verwendet werden, so sind die Arbeitskontakte der Ruftasten untereinander zu verbinden und die Rufbatterie zwischen diese Rufleitung und Erde zu legen. Man braucht also für eine solche Anlage soviel Leitungen, wie Apparate vorhanden sind, plus gemeinsame Rufleitung und Erde (bzw. Rückleitung).

e) Druckknopflinienwähleranlage für Doppelleitung mit gemeinsamer Rufbatterie. Abb. 1249 zeigt die Schaltung zweier Linienwähler mit Doppelleitung und

gemeinsamer Rufbatterie. *RT* sind die Ruftasten, 1, 2, 3, 4 die Linientasten. Der Teilnehmer *I* hat, um mit dem Teilnehmer *II* zu sprechen, seine Taste 2

in die gezeichnete Lage geschaltet. Drückt nun der Teilnehmer I seine Ruf-taste *RT*, so fließt der Rufstrom vom + Pol der gemeinsamen Rufbatterie über den oberen Arbeitskontakt *RT*, Taste 2, *a*-Leitung zum Teilnehmer *II*, *a*-Leitung, Ruhekontakt der Ruf-taste Hakenumschalter *HU*, Wecker *W*, Lei-tung *b*, zum Teilnehmer *I* zurück, Leitung *b*, Taste 2, unterer Arbeitskontakt von *RT* zum Minuspol der Batterie. Der Wecker des Teilnehmers *II* läutet. Der Sprechstrom für beide Teilnehmer verläuft auf demselben Wege, jedoch beiderseits über die Ruhekontakte der Tasten *RT*, Hakenumschalter, Sekundär-spule und Fernhörer.

In derselben Weise können die Teilnehmer 3, 4 usw. gerufen werden. Die Schaltung der Hebellinienwähler erfolgt in gleicher Weise. Für das Leitungsnetz ist die benötigte Aderzahl gleich der doppelten Anzahl der Sprechstellen plus zwei Adern für die Rufbatterie.

Linienwähler können auch mit Induktoranruf gebaut werden. An Stelle der Ruf-taste sind alsdann Induktoren, an Stelle der Gleichstromwecker polarisierte Wechselstromwecker zu verwenden. Induktoranruf wird jedoch bei Linienwäh-lern nur selten verwendet, da der Hauptvorteil des Induktorbetriebes (große

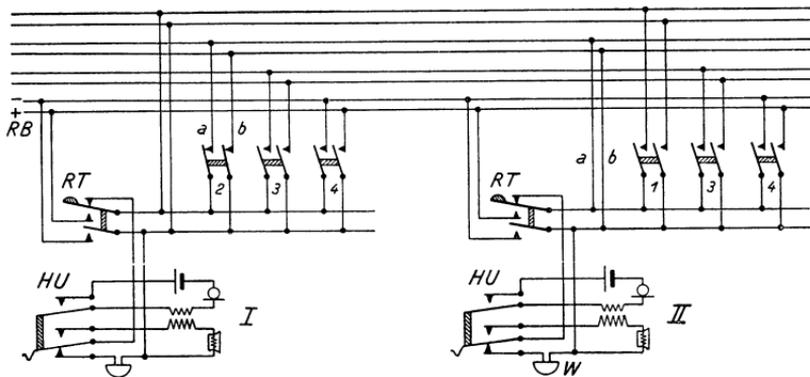


Abb. 1249. Druckknopf-Linienwähler-Anlage.

Reichweite) für Hauslinienwähler nicht in Frage kommt. Außerdem müssen die Gehäuse mit Rücksicht auf den Raumbedarf der Induktoren größer gebaut werden als bei Verwendung von Batterieruftasten. Solche großen Gehäuse sind jedoch unbequem und teuer.

Mit Rücksicht auf die Abmessungen des Gehäuses und die Aderzahl des Verbindungskabels baut man Linienwähleranlagen nur für etwa maximal 20...25 Teilnehmer. Bei größeren Anschlußzahlen sind Zentralen für Handbetrieb oder Selbstanschluß vorteilhafter (1587, 1735, 1794).

Die Linienwähler haben wegen der parallelen Abzweigung der Teilnehmerleitungen die Eigentümlichkeit, daß jeder Teilnehmer sich auch dann mit einem anderen verbinden kann, wenn dieser zweite bereits anderweitig spricht. Die Bedingung des Geheimsprechens läßt sich bei paralleler Abzweigung der Linien-tasten nicht durchführen. Wird Geheimsprechen verlangt, so muß die eigene Linienleitung des Apparates über Trenntasten oder Trennrelais geführt werden. Die Bedienung solcher Anlagen ist umständlich und man zieht in diesen Fällen sogenannte Kleinautomaten, d. h. Anlagen für Selbstanschluß vor.

Bei Benutzung von Linienwähleranlagen ist es meist nicht erforderlich, alle Apparate mit einer gleich großen Anzahl von Linientasten auszurüsten. Es ist nicht immer notwendig, jedem Teilnehmer die Möglichkeit zu geben, mit jedem anderen derselben Anlage zu sprechen. Oft sollen auch Teilnehmer nur von ande-

ren angerufen werden, aber nicht selbst anrufen. Für solche Teilnehmer können dann einfache Batterierufstationen verwendet werden.

Linienwähleranlagen werden oft mit Amtsanschlüssen kombiniert. Sie gelten dann als Nebenstellenanlagen (1949) und unterliegen den Postvorschriften.

(1973) Verlegung von Linienwähleranlagen. Für Linienwähleranlagen mit Einfachleitung verwendet man meist induktionsfreies Kabel mit oder ohne Bleimantel.

Kabel mit blankem Bleimantel, Einfachleitung. Die massiven 0,6 oder 0,8 mm starken Kupferleiter der Kabel sind einzeln mit zwei Lagen Papier bewickelt, mit einer Lage farbiger Baumwolle besponnen und darauf mit einem Stanniolband spiralförmig bewickelt. Die so gebildeten Adern sind in der erforderlichen Anzahl zusammen mit einem blanken Kupferleiter als gemeinsame Rückleitung zur Seele verseilt und mit Papierband bewickelt. Bei Kabeln mit mehr als sechs Adern erfolgt die Verseilung in konzentrischen Lagen von abwechselnder Richtung. Die Kabelseele wird unter Vakuum getrocknet und mit einem nahtlosen, vollkommen wasserdichten Bleimantel umpreßt.

Die Kabel mit 0,6 mm starkem Kupferleiter haben einen Leitungswiderstand von $65 \Omega/\text{km}$ und einen Isolationswiderstand von $500 \text{ M}\Omega/\text{km}$.

Anzahl der Adern	Äußerer Durchmesser des Kabels mm	Stärke des Bleimantels mm	Gewicht kg/km
3	5	0,7	130
5	6	0,7	170
7	6	0,7	190
12	7	0,7	270
16	8	0,7	320
25	10	0,8	460

Beim Ausformen des Kabels in den Verteiler- und Anschlußkästen ist die Stanniolumspinnung der Adern mit der gemeinsamen Rückleitung und dem Bleimantel gut leitend zu verbinden. Die Kabel werden auch mit imprägnierter Isolation verwendet.

Kabel mit blankem Bleimantel, Doppelleitung. Die massiven 0,6 oder 0,8 mm starken Kupferleiter der Kabel sind einzeln mit zwei Lagen Papierband bewickelt und mit einer Lage farbiger Baumwolle besponnen. Je zwei so isolierte Adern sind zu einem Aderpaar verseilt. Die Aderpaare werden miteinander zur Seele verseilt und mit Papierband bewickelt. Bei Kabeln mit mehr als sechs Aderpaaren erfolgt die Verseilung in konzentrischen Lagen von abwechselnder Richtung. Die Kabelseele ist unter Vakuum getrocknet und mit einem nahtlosen, vollkommen wasserdichten Bleimantel umpreßt.

Die Kabel mit 0,6 mm starken Kupferleitern haben einen Leitungswiderstand von $65 \Omega/\text{km}$ und einen Isolationswiderstand von $500 \text{ M}\Omega/\text{km}$.

Anzahl der Aderpaare	Äußerer Durchmesser des Kabels mm	Stärke des Bleimantels mm	Gewicht kg/km
2	6	0,7	140
4	7	0,7	180
7	8	0,7	240
10	10	0,8	340
14	11	0,8	390
20	12	0,8	460

Verdrallte Doppelleitung wird meist in Rohr verlegt. Man verwendet in trockenen Räumen Wachsdraht, Kupferader 0,8 oder 1 mm Durchmesser, mit doppelter Baumwollisolation, gewachst, in verschiedenen Farben. Besser ist Zimmerleitungsdraht ZD, bestehend aus verzinnem Kupferleiter 0,8 oder 1 mm Durchmesser, gummisoliert, mit Baumwollbeflechtung, gewachst. Diese Leitung kann offen oder unter Putz, in Rohr und auch in feuchten Räumen verlegt werden. Die Befestigung der Rohre oder Kabel erfolgt meist durch Schellen und Dübel. Für die Abzweigstellen benutzt man Verteilerkästen mit Klemmschrauben, die das Auffinden von etwaigen Störungen rasch und sicher erlauben.

(1974) Stromquellen. Für die Mikrophone verwendet man zweckmäßig ein bis zwei Trockenelemente je Apparat. Neuerdings geht man dazu über, die Mikrophonspeisung zu zentralisieren und benutzt dann große Beutelemente oder Sammler. Die Spannung einer solchen Zentralbatterie beträgt 12 bis 24 V; in jeden Apparat wird eine Speisebrücke (Drossel und Kondensator) eingebaut. Dieselbe Batterie kann bei entsprechender Bemessung der Wecker auch als gemeinsame Rufbatterie verwendet werden.

Literatur: Niendorf: Telephon- und Fernsprechtechnik. 1915. — Winkelmann: Das Fernsprechwesen. — Beckmann: Telephon- und Signalanlagen. — Goetsch: Taschenbuch für Fernmeldetechniker. — Esselborn: Lehrbuch der Elektrotechnik, 2. Bd. Telegraphie und Fernsprechwesen. — Lindner: Schaltungsbuch.

Mehrfache und bessere Ausnutzung der Fernsprechleitungen. Mehrfachsprechen.

(1975) Aufbau der Ringübertrager und Abzweigsulen. Die Mehrfachschaltungen für Fernsprechbetrieb werden mit Hilfe von Ringübertragern hergestellt. Daneben bestehen von früher noch Schaltungen mit Abzweigsulen. Der Ringübertrager hat als Kern einen aus dünnen (0,3 mm starken) Eisenblechen gebildeten Eisenring mit rechteckigem Querschnitt. Um diesen Kern sind zwei durch Isolierpapier voneinander getrennte Lagen, die primäre und die sekundäre Spule, gewickelt. Jede Spule wird aus zwei nebeneinander liegenden, gleichzeitig aufgebrauchten isolierten Kupferdrähten gebildet, die auf der primären Spule einen Durchmesser von 0,36 mm, auf der sekundären einen von 0,4 mm besitzen. Die so entstandenen Wicklungen haben je 1200 Umwindungen und 20 Ω Gleichstromwiderstand. Der Wellenwiderstand jeder Spule beläuft sich auf etwa 1200 Ω , die Dämpfungszahl des losen Übertragers ist mit einem Dämpfungsexponenten von 0,07 anzusetzen. In den Leitungsverbindungen wirkt der Übertrager mit einer Dämpfungszahl in dem Bereich von 0,01 bis 0,1.

Die Abzweigsulen tragen auf einem zylindrischen stabförmigen Kern aus 0,2 mm starkem Weicheisendraht vier Wicklungen, wovon zwei nebeneinander auf dem Kern, die beiden andern über den ersten liegen. Jede Wicklung zählt etwa 1900 Windungen eines 0,2 mm starken isolierten Kupferdrahtes. Der Gleichstromwiderstand der beiden inneren Spulen beträgt je 100 Ω , der äußeren 120 bis 125 Ω . Je eine innere und eine daneben liegende äußere Wicklung sind hintereinander geschaltet zu je einer Spule verbunden. Bei Hintereinanderschaltung der beiden Spulen (aller 4 Wicklungen) beträgt der scheinbare Widerstand für eine Frequenz von 800 Per/s rund 35000 Ω , bei Parallelschaltung der beiden Spulen rund 260 Ω . Die Ringübertrager haben gegenüber den Abzweigsulen den Vorzug, daß sie die Gleichstromwege der Leitung von denen der Arbeitsplätze in den Vermittlungsstellen trennen, wodurch vermieden wird, daß Fehler auf der einen Seite auf die andere übertragen werden.

(1976) Die Schaltung und Wirkungsweise der Ringübertrager und Abzweigsulen. Bei der durch Abb. 1250 dargestellten Schaltung des Ringübertragers — jede Wellenlinie stellt eine um den Kern laufende Wicklung dar — verläuft ein bei AP1 eintretender, nach EP2 fließender Strom durch die beiden linken Wicklungen in derselben Richtung; die in den sekundären Wicklungen (rechts) erzeugten

Induktionsströme verlaufen ebenso in gleicher Richtung und verstärken einander (Übertragerwirkung). Tritt dagegen ein Strom an den miteinander verbundenen Klemmen $EP1$ und $AP2$ ein und verzweigt sich in beide primäre Wicklungen, so heben sich die magnetischen und induktiven Wirkungen auf; es kommt keine Übertragerwirkung zustande.

Die Schaltung der Abzweigspulen läßt sich an Abb. 1251 erkennen. Wenn die Klemmen $E1$ und $E2$ miteinander verbunden sind, fließt ein bei $A1$ ein-tretender und bei $A2$ austretender Strom durch alle vier Wicklungen in dem-

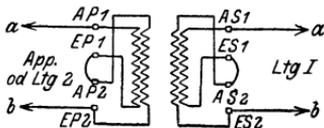


Abb. 1250. Schaltung des Ringübertragers.

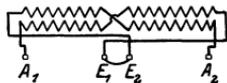


Abb. 1251. Schaltung der Abzweigspule.

selben Sinne, so daß der scheinbare Widerstand gegen Wechselstrom (Sprech- und Rufstrom) seinen höchsten Wert erhält. Dagegen verläuft ein bei $E1$ ($E2$) ein- und bei $A1$ und $A2$ austretender Strom so, daß seine Richtung in zwei übereinander liegenden Spulen entgegengesetzt ist; er hat daher keine merkliche magnetische oder induktive Wirkung, der Scheinwiderstand der Spule kann gleich dem Ohmschen Widerstande gesetzt werden.

(1977) **Schaltung der Mehrfachsprechstromkreise.** 1. Mit Ringübertragern. Unter Benutzung der Ringübertrager werden zwei und mehr Doppel-

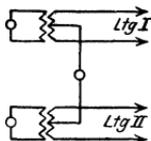


Abb. 1252. Endamt.

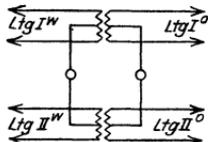


Abb. 1253. Zwischenamt. Stammleitungen nicht zum Betrieb geschaltet.

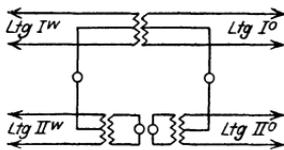


Abb. 1254. Zwischenamt. Stammleitung II zum Betrieb geschaltet.

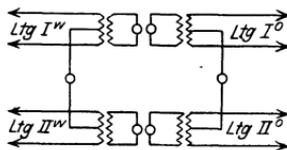


Abb. 1255. Zwischenamt. Stammleitungen I und II zum Betrieb geschaltet.

Viererschaltungen mit Ringübertragern.

leitungen zum Mehrfachsprechen ausgenutzt. Abb. 1252 zeigt die Schaltung eines Endamtes in Viererschaltung mit Ringübertrager. Ein Zwischenamt in einem Vierer ist nach Abb. 1253 bis 1255 zu schalten, je nachdem das Zwischenamt zum Betriebe nur im Vierer (Abb. 1253) oder außerdem noch in einer Stammleitung (Abb. 1254) oder im Vierer und den beiden Stammleitungen (Abb. 1255) liegt. Zur Verbindung eines Vierers mit einer Doppelleitung oder von zwei Vierern miteinander empfiehlt sich die Einschaltung eines weiteren Ringübertragers nach Abb. 1256 und 1257, namentlich wenn es sich um längere Vierer- oder Doppelleitungsstrecken handelt, damit Leitungsfehler aus dem einen Teil des

Leitungsgebildes sich weniger störend in dem anderen bemerkbar machen können. Zwei Vierer können wieder unter Verwendung von je zwei weiteren Ringübertragern auf jedem Amt zu einer siebenten Sprechverbindung, dem Achter, zusammengeschaltet werden (Abb. 1258). In günstigen Fällen sind auch mit Erfolg Vierer mit Doppelleitungen zu Sechsern vereinigt worden, im allgemeinen aber ist der Vierer als die gebräuchliche Mehrfachschaltung anzusprechen. Auch

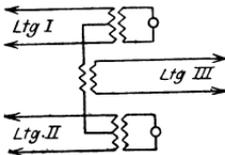


Abb. 1256. Verbindung eines Vierers mit einer Doppelleitung durch Ringüberträger.

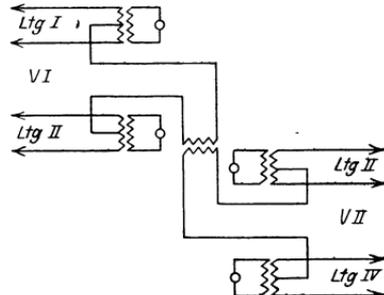


Abb. 1257. Zusammenschaltung von zwei Vierern durch Ringüberträger.

der Fernkabelbetrieb ist bisher über die Viererschaltung der Doppelladern nicht hinausgegangen.

2. Mit Abzweigspulen. Die grundsätzliche Schaltung für den Mehrfachbetrieb geht aus Abb. 1259 hervor. Neu eingerichtet werden solche Schaltungen nicht mehr.

(1978) Elektrisches Gleichgewicht. Die Mehrfachschaltungen können nur dann mit Erfolg betrieben werden, wenn in den beiden Leitungsgebilden, aus denen die Hin- und Rückleitung der Mehrfachschaltung besteht, elektrisches Gleichgewicht herrscht. Nur in diesem Falle sind die durch die beiden Wicklungen der Leitungspule (Sekundärspule) des Ringübertragers fließenden Ströme des Mehrfachstromkreises gleichwertig und heben sich in ihrer Wirkung auf, so daß eine Übertragung in die Primärspule nicht stattfinden kann. Ähnlich herrscht bei der Abzweigspule nur bei vorhandenem elektrischen Gleichgewicht die gleiche Spannung an den Enden der Spule, so daß ein Strom, der den Hörer beeinflussen könnte, nicht zustande kommen kann. Das elektrische Gleichgewicht in den Außenleitungen muß für den Mehrfachbetrieb in der Regel durch besondere Maßnahmen herbeigeführt werden. An den oberirdischen Leitungen dient hierzu der Induktionsschutz (1387). Bei der üblichen Anord-

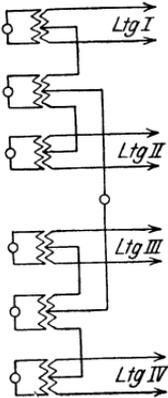


Abb. 1258. Achterschaltung mit Ringüberträger.

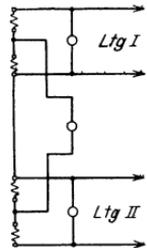


Abb. 1259. Viererschaltung mit Abzweigspule.

nung der Doppelleitungen auf geraden und U-förmigen Stützen beträgt der Kopplungsfaktor zwischen Vierer und seinen Stammleitungen 2,9, d. h. die Übertragung zwischen Vierer und Stammleitungen (Mitsprechen) ist so groß, daß die übertragene Sprache in dem fremden Stromkreis vollkommen deutlich zu verstehen ist. Durch den Induktionsschutz wird der Kopplungsfaktor im allgemeinen auf einen Wert über 5 hinaufgesetzt, so daß ein Mithören unterhalb der Störungsgrenze bleibt. Die Doppelleitungen können sowohl in ihrer ganzen Länge als auch auf Teilstrecken zu Vierern geschaltet werden. Es empfiehlt sich jedoch nicht, lange wichtige

Leitungen zur Bildung mehrerer kurzer Vierer auf diese Weise auszunutzen, da durch die wiederholte Einschaltung der Ringübertrager mit gleichzeitiger Einführung in die Vermittlungsämter leicht eine unzulässig hohe Dämpfung in die Leitung gebracht wird. Für den Rufstrom wird diese Dämpfung im allgemeinen bei Einschaltung von fünf Ringübertragern zu groß, so daß Weckschwierigkeiten entstehen. Der Induktionsschutz kann im übrigen erst dann zu voller Wirkung kommen, wenn die durch ihn geschützten Leitungen sich in bestem Zustande befinden. Auf Beseitigung aller Fehler, namentlich der versteckten Kontaktfehler an Verbindungsstellen (Schrauben, Klemmen, Lötstellen usw.), ist größter Wert zu legen. In den technischen Einrichtungen der Vermittlungsämter sind viererverseilte Kabel möglichst vom Abspanngestänge bis zu den Arbeitsplätzen zu verwenden. Mit besonderer Sorgfalt sind für die beiden Leitungsdrähte einer Doppelleitung Feinsicherungen von möglichst gleichem Widerstande auszusuchen, sie dürfen mit der Eichleitung gemessen keine Unsymmetrie von weniger als 6 aufweisen. Gerade im Anfang der Leitung wirken auch kleinere Unterschiede in der Gleichheit der elektrischen Größen sehr ungünstig auf das elektrische Gleichgewicht der Leitungen ein.

(1979) Weckruf. Zum Rufen in den Mehrfachschaltungen mit Ringübertragern ist Wechselstrom zu verwenden, da die Gleichstromwege durch die Übertrager verriegelt sind. Bei Verwendung von Abzweigspulen ist zu beachten, daß durch die Rufbatterie bei gleichzeitigem Wecken in beiden Stammleitungen eines Vierers dieser kurzgeschlossen wird, so daß die Verständigung in ihm während dieser Zeit aussetzen würde. Man muß deshalb entweder zwei getrennte Rufbatterien benutzen oder mit Wechselstrom über besondere Übertrager wecken; unter Umständen genügt es auch, unter Beibehaltung der gemeinschaftlichen Weckbatterie, in die einzelnen Abzweigungen zu den Mehrfachstammleitungen Drosselspulen mit geringem Gleichstromwiderstand und hoher Selbstinduktion zu legen.

Gleichzeitiges Sprechen und Telegraphieren (Simultanbetrieb).

(1980) Ringübertrager und Simultanspule (1975). Für den Simultantelegraphenbetrieb werden die gleichen Ringübertrager wie für das Mehrfachsprechen benutzt. Abzweigspulen (Simultanspulen) sind von früher her kaum noch in Gebrauch. Der Vorzug des Ringübertragers, die Trennung der beiden Gleichstromkreise (1975), tritt bei dem Simultantelegraphenbetrieb noch mehr in die Erscheinung. Durch die Schaltung des Ringübertragers wird verhindert, daß der Telegraphenbetrieb durch unrichtige Schaltgriffe der Fernsprechplatzbedienung oder andere Versehen im Betriebe (Anschaltung geerdeter Leitungen an die Simultanleitung) gestört wird. Ein weiterer Vorzug ist, daß der

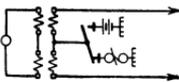


Abb. 1260. Simultantelegraphie in einer Doppelleitung.

Ringübertrager mit seinem geringen Ohmschen Widerstande von 20Ω eine viel geringere Batteriespannung erfordert als die Simultanspule mit rund 1100Ω in jeder Wicklung. Die Herabsetzung der Batteriespannung bedeutet nicht nur einen wirtschaftlichen Vorteil,

sondern auch eine Verminderung der Induktionswirkung auf die Fernsprechstromkreise desselben Linienzuges.

(1981) Schaltung der Simultanstromkreise. Die Schaltungen für das gleichzeitige Telegraphieren und Sprechen auf Fernsprechleitungen zerfallen grundsätzlich in zwei Hauptgruppen, nämlich in solche, bei denen schaltungstechnisch ermöglicht wird, daß durch die Fernsprechapparate kein Telegraphierstrom fließt,

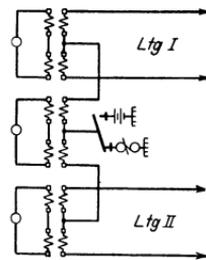


Abb. 1261. Simultantelegraphie in einem Vierer (Vierertelegraphie).

und in solche, bei denen die Telegraphierströme ihren Weg zwar durch die Fernsprechapparate nehmen, in diesen sich aber für den Betrieb nicht störend bemerkbar machen.

(1982) Der gewöhnliche Simultanbetrieb, wie er in Abb. 1260 dargestellt ist, gehört zur ersten Gruppe. Damit die Fernsprechapparate vom Telegraphierstrom frei bleiben, müssen der *a*- und *b*-Draht der Doppelleitung gleiche elektrische Eigenschaften besitzen. An Stelle der Einzeldrähte treten in Abb. 1261 die Stammleitungen des Vierers. Die Schaltung gleicht grundsätzlich den Mehrfachsprechstromkreisen (1976). Damit die Einwirkung der

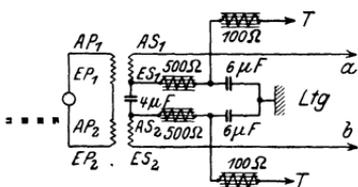


Abb. 1262. Doppelsimultantelegraphie in einer Doppelleitung.

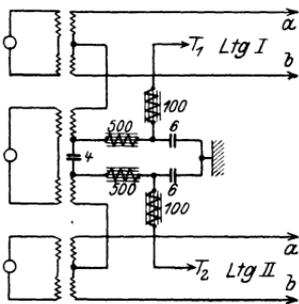


Abb. 1263. Viererdoppeltelegraphie.

Telegraphierströme auf die benachbarten Fernsprechleitungen oder bei Störung des elektrischen Gleichgewichts der eigenen Leitung auch auf diese möglichst verringert wird, sind in die Zuführungen vom Telegraphenapparat zur Fernleitung Abflachsätze einzuschalten. Näheres siehe (1387, 2).

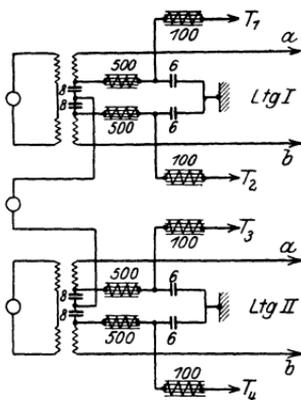


Abb. 1264. Vierervierfachtelegraphie.

(1983) Der mehrfache Telegraphenbetrieb auf Fernleitungen gehört zu Gruppe 2 und ist in seinen Grundzügen in Abb. 1262 bis 1265 dargestellt. Die Schaltungen bauen sich auf dem Vorschlag von Dejong (ETZ 1903, S. 1030) auf, wonach dieselbe Doppelleitung neben dem Gespräch noch für mehrere Telegraphierstromkreise Verwendung findet (s. Berger: Das gleich-

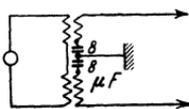


Abb. 1265. Schutzschaltung gegen wechselseitige Beeinflussung der Telegraphenapparate in der Doppeltelegraphie.

zeitige Telegraphieren und Fernsprechen und das Mehrfachfernsprechen, S. 41 ff.). Wie Abb. 1262 erkennen läßt, werden die Telegraphierströme im Ringübertrager auf die zweite Wicklung übertragen und gehen durch den Fernhörer. Damit sie jedoch nicht gehört werden, erhalten sie vor ihrem Eintritt in den Ringübertrager eine mehrfache weitgehende Abflachung durch die in den Stromkreis eingeschalteten Drosseln und die in der Erdabzweigung liegenden Kondensatoren. Die Fernhörermembran darf sich unter dem Einflusse der Abflachspulen- und Kondensatoren nur allmählich und ohne Knacken durchbiegen und ebenso in die Ruhelage zurückkehren. Der zwischen den sekundären Wicklungen des Ringüber-

tragers liegende Kondensator von $4\mu\text{F}$ (s. Abb. 1262 zwischen $ES1$ und $AS2$) hat die Aufgabe, den Sprechstrom und Rufstrom ohne merkliche Schwächung durchzulassen, die Telegraphierstromstöße dagegen so weit zu schwächen, daß der Telegraphenapparat der einen Seite nicht von dem der andern beeinflußt wird. Sofern eine geringe Beeinflussung bei sehr empfindlichen Apparaten doch noch stattfindet, kann eine Besserung dadurch erzielt werden, daß nach Abb. 1265 der Kondensator zu $4\mu\text{F}$ durch zwei Kondensatoren zu $8\mu\text{F}$ ersetzt wird, die an ihrer Verbindungsstelle geerdet werden.

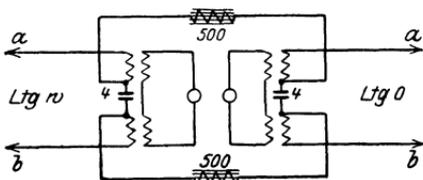


Abb. 1266. Zwischenanstalt in einer Doppelleitung, die mit Doppelsimultantentelegraphie betrieben wird.

Die Schaltung der Viererdoppeltelegraphie (Abb. 1263) stellt eine Vereinigung der gewöhnlichen Simultantentelegraphie und der Mehrfachtelegraphie (Doppelsimultantentelegraphie) dar; die Grundzüge der

ersteren finden wir in der Schaltung der Doppelleitungen, die der letzteren in der Schaltung des Vierers wieder.

Wie eine Zwischenanstalt zu schalten ist, ergeben die Abb. 1266 bis 1268. Bemerkenswert ist in diesen die verschiedenartige Aufgabe der Überbrückungs-

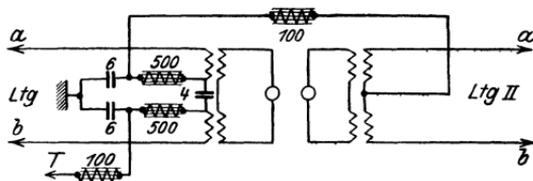


Abb. 1267. Übergang von der Doppelsimultantentelegraphie in einer Doppelleitung (I) auf die einfache Simultantentelegraphie in einer zweiten Doppelleitung (II).

drosselspulen; sie dienen in Abb. 1266 dazu, die Sprechströmedesöstlichen Leitungszweiges von dem westlichen fernzuhalten, während durch die Drosseln zu 100Ω in Abb. 1267 eine Abflachung der aus Leitung II auf Leitung I übergehenden Telegraphierströme erstrebt wird.

Die Wirkungsweise der in Abb. 1268 vorhandenen Übergangsdrosselspulen usw. in der Schaltung der Viererdoppeltelegraphie ist danach ohne weiteres gegeben.

(1984) Simultanbetrieb in Fernkabeln. Die für den Fernsprechverkehr verwendeten Adern der deutschen Fernkabel werden bei Bedarf auch für den simultantelegraphischen Sommermeldeverkehr, der der telegraphischen Vorbereitung der Gesprächsverbindungen dient, mitbenutzt. Um die Vormagnetisierung der Pupinspulenkerne durch den Telegraphiergleichstrom in möglichst engen Grenzen zu halten, wird grundsätzlich nur der Vierer in der Schaltung der Vierertelegraphie (vgl. Abb. 1261), bei dem eine Verteilung des Gleichstromes auf die vier Zweige des Vierers stattfindet, benutzt. Zur weitgehenden Abflachung der Gleichstromkurve wird in die Zuführung von der Telegraphiertaste zum Mittelpunkt des Kabelübertragers eine Drosselspule von 500Ω mit hoher Induktanz und in eine Abzweigung zur Erde ein Kondensator von $6\mu\text{F}$ eingeschaltet. Der Gleichstromwiderstand der Drossel ist so hoch gewählt, daß der abgehende Telegraphierstrom auch beim Auftreten eines Erdschlusses hinter der ersten Pupinspule der Kabelader keine schädliche Stärke annehmen kann. Aus dem gleichen Grunde wird auf beiden Seiten mit gleichem Batteriepol gearbeitet. In der Regel ist hierzu die ZB des Amtes zu benutzen. Reicht die Spannung der Batterie nicht aus, so sind unterwegs Gleichstromübertragungen einzuschalten. Diese sind bei den Verstärkerämtern aufzustellen, weil hier die erforderlichen Stromquellen ohnehin vorhanden sind.

Für den reinen Telegraphenbetrieb werden die für den Fernsprechverkehr bestimmten Adern der Deutschen Fernkabel in den obengezeichneten Simultan-

schaltungen nicht mitbenutzt. Dagegen sind aussichtsreiche Versuche im Gange, die Sprechadern gleichzeitig mit der Gleichstrom-Unterlagerungstelegraphie zu belegen. Hierbei wird in reinem Doppelleitungsbetrieb in dem Frequenzbande

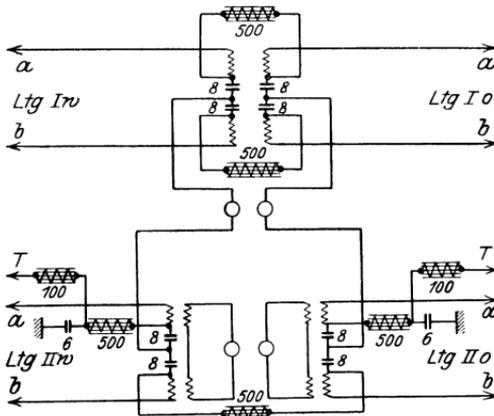


Abb. 1268. Zwischenanstalt in einem Vierer, der mit der Vierervierfachtelegraphie betrieben wird.

unter 300, das für die Übertragung der Sprache keine wesentliche Bedeutung hat, gearbeitet, indem durch Siebketten die Sprechfrequenzen über 300 von den Telegraphenapparaten abgesperrt und anderseits die Telegraphierströme durch Kondensatorketten von den Fernsprechapparaten ferngehalten werden.

Trägerstromtelephonie und -telegraphie längs Leitungen.

(1985) Trägerstrom. Die leitungsgerichtete Trägerstromtelephonie und -telegraphie kombiniert gewisse Eigentümlichkeiten der gewöhnlichen niederfrequenten Drahttelephonie und -telegraphie mit solchen der hochfrequenten Raumtelephonie und -telegraphie und schafft so neue Anwendungsgebiete, die den anderen allein verschlossen sind.

Nieder- und Hochfrequenztelephonie unterscheiden sich lediglich durch die Art der „Trägerströme“, die sie zur Fernübermittlung der Signale benutzen. Die Niederfrequenztelephonie kommt dadurch zustande, daß einem Gleichstrom, dem Mikrophonspeisestrom, durch die Widerstandsänderungen des Mikrophons ein den Sprachschwingungen in der Frequenz äquivalenter Wechselstrom überlagert wird. Die Trägerstromtelephonie und -telegraphie hingegen benutzen einen ungedämpften Wechselstrom von hörbarer oder unhörbarer Schwingungszahl als Träger, dessen Frequenz um einen gewissen Betrag größer ist als die höchste Frequenz der zu übertragenden Signale.

Vorteile. Aus der Tatsache, daß Wechselströme, deren Frequenzen genügend weit voneinander entfernt sind, sich durch geeignete Resonanzgebilde am Empfangsort voneinander trennen lassen, ergibt sich die Möglichkeit, auf ein und derselben Leitung neue Sprech- bzw. Telegraphieverbindungen zu schaffen neben:

- a) bereits bestehenden Niederfrequenzverbindungen: Mehrfachtelephonie und -telegraphie,
- b) niederfrequenten Wechselströmen, die ein Niederfrequenzsprechen unmöglich machen würden: Telephonie und Telegraphie längs Kraftleitungen.

Weiter vereinfacht die Benutzung von Resonanzgebilden wesentlich den Schutz der Apparaturen gegen Hochspannung.

Die ideale Richtwirkung der Leitungen fügt diesen Möglichkeiten den Vorteil relativ großer Reichweiten bei minimalem Aufwand an Hochfrequenzleistung hinzu.

Was die Geheimhaltung der durch Trägerfrequenzen übermittelten Nachrichten betrifft, so steht diese der Drahttelefonie nicht nach, vorausgesetzt, daß die Fortleitung über bifilare, strahlungsschwache Leitungen erfolgt, was bei der Mehrfachtelefonie längs Fernsprechleitungen immer zutrifft.

(1986) Mithören. Wird hingegen, wie z. B. bei der Hochfrequenztelefonie längs Hochspannungsleitungen, die Hochfrequenz über Leitungen großen gegenseitigen Abstandes ausgesandt, so findet eine geringe Ausstrahlung in den Raum statt. Ein Mithören ist allerdings nur unter Anwendung besonders empfindlicher Empfangsmittel in einem relativ kleinen Umkreis der Leitung (einige hundert Meter) möglich. Die Strahlung wächst mit zunehmender Trägerfrequenz und der Stärke von Reflexionen an Stoßstellen von Leitungen verschiedenen Wellenwiderstandes.

Gegen Mithören ist die Trägerstromtelefonie infolge des größeren Aufwandes an notwendigen Mitteln jedenfalls besser geschützt als die Niederfrequenztelefonie, bei der dazu nur ein gewöhnlicher Kopfhörer erforderlich ist.

(1987) Reichweite. Obengenannten Vorteilen steht als Nachteil die Abhängigkeit von einer Drahtleitung mit all ihren bekannten Schwächen gegenüber.

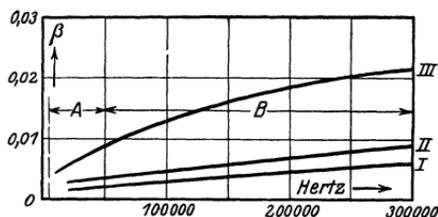


Abb. 1269. Frequenzabhängigkeit der kilometrischen Dämpfung von Freileitungen. Kurve I Hochspannungsfreileitung, Kupfer, 12,4 mm \varnothing . Kurve II Hochspannungsfreileitung, Aluminium, 12,4 mm \varnothing , Phasenabstand 2 bis 5 m. Kurve III Fernsprechfreileitung, Kupfer, 5 mm \varnothing , Abstand der Adern 20 cm. Frequenzbereich A (5...50 Kilohertz) für Mehrfachtelefonie längs Fernsprechleitungen, Frequenzbereich B (50...300 Kilohertz) für Telefonie längs Hochspannungsleitungen.

Die Dämpfung des hochfrequenten Trägerstromes beeinträchtigt die Reichweite in hohem Maße. Einer Trägerfrequenz von 37,5 Kilohertz entspricht eine Höchstreichweite von $b = 6$ einer 800 km langen Leitung aus 5 mm starkem Kupferdraht. Angenommen, man brauche einen Endstrom von 0,125 mA, so ist ein Anfangsstrom von 50 mA ($= 0,125 \cdot e^6$), entsprechend einer Leistung von $I^2 \cdot Z$ ($Z = 600 \text{ Ohm}$) oder $0,05^2 \cdot 600 = 1,5 \text{ W}$, erforderlich. Für eine Reichweite von $b = 7$ würde man 9 W, für eine Reichweite von $b = 12$ (1600 km) 240 kW aufzuwenden haben.

Mit solcher Leistung wäre auf drahtlosem Wege die 3- bis 5fache Reichweite zu erreichen. Die Reichweite wird durch diese Umstände praktisch auf $b = 5$ bis 6 beschränkt.

Um größere Entfernungen zu überbrücken, bleibt lediglich das Mittel der Zwischenverstärkung übrig, dessen sich auch die Niederfrequenztelefonie in weitestem Maße bedient. Allerdings wird die Telefonie über sehr lange Freileitungen immer unzuverlässig bleiben, weil diese allzusehr Störungen aller Art ausgesetzt sind.

Die Reichweite der Systeme ohne Zwischenverstärker genügt, um in Deutschland die praktisch auftretenden längsten Strecken — genügenden Leitungsquerschnitt und kleine Kabelstrecken vorausgesetzt — mit wenigstens zwei Zusatzgesprächen zu überbrücken. (Längste praktisch erprobte Strecken in Deutschland: Berlin-München [654 km] und Berlin-Frankfurt a. M. [540 km]).

Die Verwendung von Zwischenverstärkern erhöht die Anlagekosten.

Aus den Kurven der Abb. 1269 u. 1270 ist die Größe der Dämpfung zu entnehmen, die ein Trägerfrequenzstrom bestimmter Schwingungszahl auf Freileitungen verschiedenen Materials, Querschnitts und verschiedener Bauweise

erleidet. Die Kurve Abb. 1271 gibt die Dämpfungswerte für Kabel mit Papierisolation an. Setzt man für ein Trägerfrequenztelephoniesystem eine Höchstreichweite an, z. B. $b = 6$, so kann man durch einfache Rechnung die Anzahl der Kilometer finden, die man auf einer Leitung bestimmten Materials und Querschnitts (es sind homogene Leitungen vorausgesetzt) mit einer bestimmten Frequenz überbrücken kann.

Von großer Wichtigkeit ist die ungünstige Dämpfung des Kabels, von der in fast jeder Freileitung mehr oder weniger lange Stücke zur Überquerung von

Flußläufen usw. oder als Stadteinführungskabel enthalten sind. Solche Kabelstrecken setzen die Reichweite einer Anlage beträchtlich herab, um so mehr, als die Dämpfung durch Reflexionsdämpfungen an den Stoßstellen vermehrt wird. Außerdem verderben sie den glatten Verlauf des Wellenwiderstandes der Leitung und erschweren die Anpassung der Siebketten und den für Gegensprechen unter Umständen notwendigen Leitungsabgleich.

Es sind Methoden angegeben worden, wie man diese nachteiligen Einflüsse des Kabels beheben kann. Sie sind im wesentlichen identisch mit den von Pupin angegebenen Verfahren (z. B. DRP 325 241 der Deutschen vielen Fällen ist es wirtschaftlich vorteilhafter, geeignete Transformatoren zur Anpassung von Leitungen verschiedener Charakteristik untereinander zu verwenden.

(1988) Wirtschaftlichkeit. Die praktische Anwendung der Trägerfrequenztelephonie als Mehrfachtelephonie hat in einer etwa sechsjährigen Erfahrungszeit ihre Brauchbarkeit unter folgenden wirtschaftlichen Gesichtspunkten bewiesen:

- a) Erhöhung des Wirkungsgrades bestehender Fernsprechleitungen;
- b) dauernde Reserve für zeitliche Spitzenbelastung sowie bei Störungen anderer Verbindungen;
- c) schnelle Schaffung neuer Verbindungsmöglichkeiten bei plötzlich auftretendem, aber nur vorübergehendem Bedarf;
- d) Telephonieverbindungen über Fernsprechleitungen, die wegen induzierter niederfrequenter Wechselströme für Niederfrequenzverbindungen unbrauchbar sind.

Der Grad der Wirtschaftlichkeit einer Leitung ist gegeben durch die Gesprächs- bzw. Wortzahl, die je Zeiteinheit über sie befördert wird. Die Fernsprechleitungen arbeiten an sich sehr unwirtschaftlich, wenn man berücksichtigt, daß man über eine Doppelleitung nur eine Telephonieverbindung und bestenfalls noch zwei Telegraphieverbindungen gleichzeitig betreiben kann. Durch Verwendung einer simultan-geschalteten Viererleitung erhält man ins-

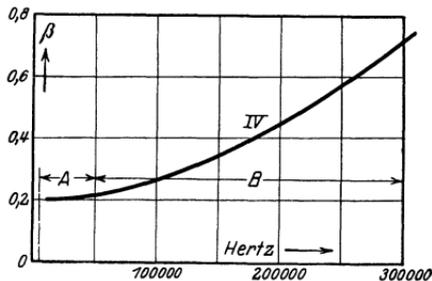


Abb. 1270. Kilometrische Dämpfung einer Fernsprechfreileitung, Eisen, 4 mm \varnothing . Abstand der Adern 20 cm.

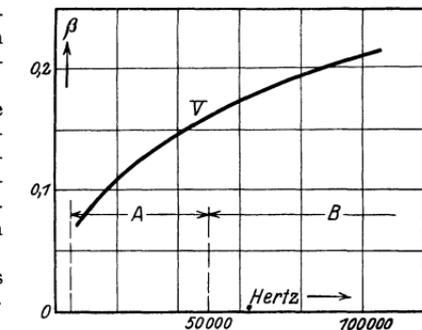


Abb. 1271. Kilometrische Dämpfung für Fernsprechkabel, 0,8 mm \varnothing , Papierisolation.

gesamt auch nur drei Telefonieverbindungen. Erheblich verschlechtert wird der Wirkungsgrad noch durch die Tatsache, daß je nach Jahreszeit und Gelände die Leitungen täglich während einer mehr oder weniger langen Zeit gestört sind, die mit zunehmender Leitungslänge wächst. Während der übrig bleibenden Betriebsstunden muß dann der aufgehäufte Verkehr bewältigt werden. Hier setzt die Mehrfachtelefonie ein, die gestattet, neben den bestehenden Niederfrequenzverbindungen weitere 2, 3 oder auch 4 Hochfrequenzverbindungen zu betreiben. Die Anzahl der möglichen Zusatzgespräche hängt im wesentlichen von der Leitungsdämpfung ab.

Die Wirtschaftlichkeit der Hochfrequenzanlage ist abhängig von den Anschaffungs- und Unterhaltungskosten des verwendeten Apparatsystems. Im allgemeinen kann man sagen, daß die kürzeste Entfernung, über die dauernd mit Mehrfachtelefonie zu arbeiten sich lohnt, etwa bei 300 km liegt. Darunter wird der Neubau einer Leitung, vorausgesetzt, daß diese auf einem vorhandenen Gestänge verlegt werden kann, billiger. Diese Erwägungen hat man auch anzustellen, wenn es sich um die Schaffung von Verbindungsmöglichkeiten handelt, die zeitlich auftretenden Höchstbelastungen gewachsen sein sollen, z. B. nach Bade-, Kur- und Sportplätzen. Wenn man die Zahl der Leitungen dem Zeitbetriebe anpaßt, so würden sie während der betriebsarmen Jahreszeit durch ihre hohen Tilgungs- und Unterhaltungskosten eine schwere Belastung darstellen. Die Ausrüstung einer vorhandenen Leitung als Mehrfachtelefonieanlage dagegen verursacht während des Nichtgebrauchs so gut wie keine Unterhaltungskosten, und auch der Aufwand an Tilgung ist bei weitem geringer.

Fernsprechleitungen, die induzierten niederfrequenten Wechselspannungen unterliegen und deshalb für den Sprechverkehr unbrauchbar sind, sind ohne weiteres für Hochfrequenzbetrieb brauchbar und können auf diese Weise dem Verkehr erhalten bleiben (Leitungen längs elektrischer Fernbahnen und Kraftwerksleitungen).

Die Montage und Inbetriebsetzung einer Hochfrequenzanlage von drei Gesprächen ist in wenigen Tagen auszuführen. Um Rückschläge zu vermeiden, ist es in jedem Falle ratsam, vorher die Leitung durch Messungen auf ihre Brauchbarkeit hin zu untersuchen.

(1989) Zahl der Gespräche. Die Hauptschwierigkeit der Mehrfachtelefonie liegt in der Erfüllung der Forderung, innerhalb eines etwa 45000 Hertz breiten Frequenzstreifens ($f = 5000$ bis 50000 Hertz) die Trägerfrequenzen für eine möglichst große Zahl von Hochfrequenz-Zusatzgesprächen unterzubringen und dabei die anzuwendenden Selektionsmittel (Frequenzfilter) so einfach und billig zu halten, daß das System bei hinreichender Betriebssicherheit wirtschaftlich bleibt. Nach unten hin ist der Trägerfrequenzstreifen durch die Annäherung an die Sprachgrundfrequenzen begrenzt, während eine Verbreiterung des Bandes über 50000 Hertz hinaus sich dadurch verbietet, daß die höheren Frequenzen eine zu große Dämpfung erfahren und die Reichweite dadurch so wesentlich herabgesetzt wird, daß die Wirtschaftlichkeit leidet (Dämpfungskurven). Die Breite der einzelnen Sprachspektren beträgt theoretisch mindestens 2250 Hertz. Der praktisch günstigste Abstand zwischen den Trägerfrequenzen wurde zu 5000 Hertz ermittelt.

Es besteht zwar die Möglichkeit, zum Senden und Empfangen dieselbe Frequenz zu benutzen, jedoch bedingt dieses System eine so komplizierte Apparatur, daß ihre praktische Anwendung nicht ratsam erscheint. Um eine gegenseitige Beeinflussung von Sender und Empfänger derselben Station zu verhindern, werden diese in Brückenschaltung an die Fernleitung angekoppelt. Durch Änderung der Leitungskonstanten wird der notwendige genaue Brückenabgleich leicht gestört.

Das andere System benutzt für Senden und Empfangen zwei verschiedene Frequenzen, die so weit voneinander entfernt sind, daß Sender und Empfänger durch geeignete Selektionsmittel, hier Siebketten, mit Sicherheit elektrisch getrennt werden. Die Betriebssicherheit ist der des anderen Systems weit überlegen. Dagegen besteht der Nachteil, daß man die doppelte Anzahl von Trägerfrequenzen

braucht, also nur die Hälfte der Trägerfrequenzverbindungen herstellen kann, die man mit dem ersten System erreichen könnte.

Langwierige Versuche und Überlegungen haben das in Abb. 1272 dargestellte, für vier Trägerfrequenzgespräche bestimmte Schema ergeben, das sich in der Praxis gut bewährt hat. Es wird so verwendet, daß man auf dem einen Arm die Trägerfrequenzen 1, 2, 3, 4, auf dem Gegenarm die Trägerfrequenzen 1', 2', 3', 4' ausstrahlt. Die Trägerfrequenz 0 dient zur Reserve, falls eine der andern Frequenzen zu sehr durch Radiogroßstationen gestört wird. Um die Störmöglichkeit zu verringern, wurde, wo es ging, die Trägerfrequenz genau auf die Störfrequenz gelegt, um diese unhörbar zu machen (Interferenzton 0).

Ein anderes zuverlässiges Mittel ist zurzeit nicht bekannt, es sei denn, daß man die Antennenwirkung der Fernleitungen durch weitgehendste Symmetrierung (häufige Kreuzungen der Zweige) aufhebt. Dieses Mittel stößt aber auf wirtschaftliche Schwierigkeiten, da die Kreuzungen, um wirksam zu sein, an jeder Stange vorgenommen werden müßten. Die Leitungskreuzungen sind gleichzeitig ein wertvolles Mittel, um das „Mitsprechen“, d. h. die Induktion einer Leitung auf die benachbarte, das mit zunehmender Frequenz wächst, zu vermindern (1387).

Literatur: Pinkert, W.: Induktionsschutz für Fernsprechleitungen. Tel.-u. Fernspr.-Techn., Sonderheft, 4. Mai 1919.

(1990) Frequenzfilter dienen zur Trennung der Hochfrequenzgespräche voneinander. Unter der großen Zahl solcher Filter ist die Form zu wählen, die bei größter elektrischer Leistungsfähigkeit gleichzeitig die einfachste und billigste ist. Dabei scheidet die Form der einfachen, lose gekoppelten Schwingungskreise aus, da sie bei vorgegebener Selektivität einen größeren Aufwand bedingen als die von K. W. Wagner und C. A. Campbell angegebenen Frequenzfilter, auch Siebketten genannt.

Literatur: Campbell, C. A.: US-Patente 1227113/114 vom 15. Juli 1915. — Reichenheim, O.: DRP 316 804/05, 316224 v. 3. Sept. 1915. — Wagner, K. W.: Spulen und Kondensatorleitungen. Arch. Elektrot. Bd. 3, S. 318 und Bd. 8, S. 61. — Ders.: Elektrische Kettenleiter und ihre Anwendungen. Mitt. a. d. Telegraphentechn. Reichsamts Bd. 9, S. 289. — Ders.: Einschaltvorgänge bei Siebketten mit beliebiger Gliederzahl. Wiss. Veroff. Siemenskonz. 1922, S. 189. — Ders.: Der allgemeine Kettenleiter. Telefunken-Zg. Nr. 34, Jan. 1924. — Salinger, H.:

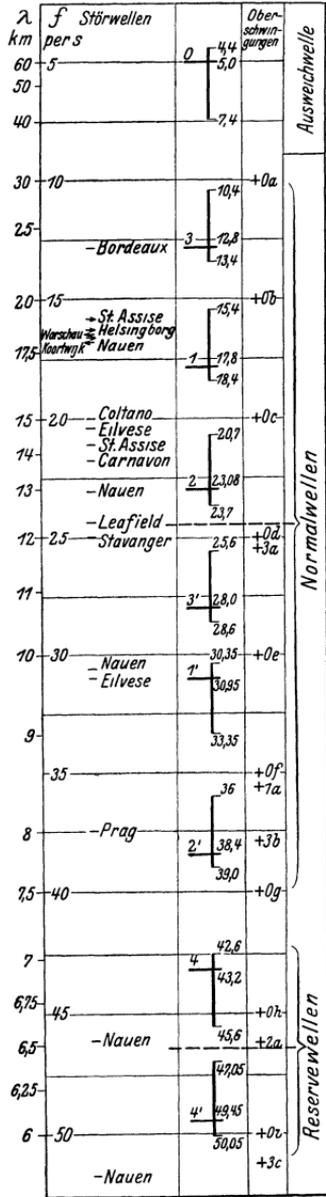


Abb. 1272. Schema der für die Mehrfachtelephonie verwendeten Trägerfrequenzen und Sprachbänder.

Über Schaltungen zur Spannungsübersetzung, insbesondere spannungsübersetzende Siebketten. Z. Fernmeldetechn. 1924, S. 6. — Luschen und Krause: Schwingkreis-Siebketten. Wiss. Veröff. Siemenskonz. 1922, Bd. I, 3, S. 1. — Backhaus, H.: Theorie der kurzen Siebketten. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 24, S. 11, 39, 53, Bd. 25, S. 93, 134. — Riegger, H.: Kettenleiter. Wiss. Veröff. Siemenskonz. Bd. 1, 3, S. 126; Bd. 2, S. 190.

Die Siebketten haben die Aufgabe, die zur Übermittlung der Sprache notwendigen Schwingungen, aber auch nur diese, vom Sender auf die Leitung bzw. von der Leitung zum Empfänger durchzulassen und alle anderen Frequenzen von

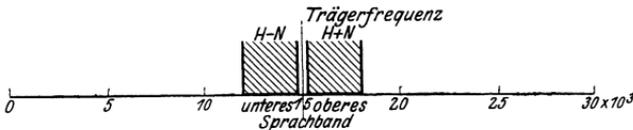


Abb. 1273. Die durch Modulation eines Trägerfrequenzstromes (15 Kilohertz) mit Sprache (100...3000 Hertz) entstehenden Sprachbänder.

diesen Organen restlos fernzuhalten, da sie zu Störungen aller Art Anlaß geben. Zur Übermittlung einer noch gut verständlichen Sprache gehören außer der Trägerfrequenz (falls man diese nicht senderseitig unterdrücken und am Empfänger künstlich erzeugen will) der Frequenzbereich von mindestens 200 bis 2250 (bei Musikübertragung 100 bis 10000) Hertz. Diese Forderung ist zu berücksichtigen bei Fernbesprechung von Rundfunksendern über leitunggerichtete Hochfrequenzverbindung (z. B. Fernbesprechung des Rundfunksenders in Graz von Wien aus; Telefunken-Mehrfachtelephoniegerät, verwendete Trägerfrequenz 50000 Hertz).

Literatur: Helmholtz, H.: Lehre von den Tonempfindungen. Pogg. Ann. Bd. 49, S. 497, 1856. — Stumpf, C.: Sitzungsber. d. preuß. Akad. d. Wiss. 1918, S. 333; 1921, S. 636. — Beitr. z. Anat., Physiol., Pathol. u. Therapie d. Ohres, d. Nase u. d. Halses von Passow u. Schäfer Bd. 12, S. 234, 1919; Bd. 17, S. 151 u. 152, 1921. — Miller, D. Cl.: The science of musical sounds. 2. Aufl. New York 1922. — Jones, R. D.: Die Natur der Sprache. El. Comm. Bd. 2, Juli 1923. — Wagner, K. W.: Der Frequenzbereich von Sprache und Musik. ETZ 1924, Sonderheft.

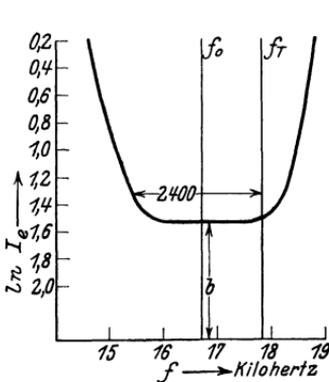


Abb. 1274. Dampfungverlauf einer banddurchlässigen Siebkette.

unterscheidet entsprechend den Summen und Differenzen der Träger- und Steuerfrequenz ein „oberes“ und „unteres“ Sprachband. Jedes dieser Bänder enthält die zur Wiedergabe notwendigen Bestandteile, so daß man nur eines der beiden zu übertragen braucht. Abb. 1273 zeigt die beiden Sprachbänder, die entstehen, wenn man die Trägerfrequenz 15000 Hertz durch die Frequenzen im Bereich von 200 bis 3000 Hertz moduliert.

(1991) Sprachbänder. Wie die mathematische und experimentelle Untersuchung des Modulationsvorganges (1543) zeigt, entstehen bei diesem neben den harmonischen Oberschwingungen der Träger- und Steuerfrequenz die Summe und Differenz derselben. Wird also z. B. ein Trägerstrom, dessen Schwingungszahl $f = 10000$ Hertz beträgt, durch einen Sinusstrom mit $f = 1000$ Hertz moduliert, so erhält man, neben anderen, die Kombinationsschwingungen $10000 + 1000$ und $10000 - 1000$ Hertz. Da Sprachfrequenzen aber in dem Bereich von 100 bis 10000 Hertz liegen, während man zur Wiedergabe einer noch gut verständlichen Sprache nur des Gebietes von rund 200 bis 2200 Hertz bedarf, so hat man bei der Modulation einer Trägerfrequenz durch Sprachlaute mit „Sprachspektr“ oder „Sprachbändern“ zu rechnen. Man

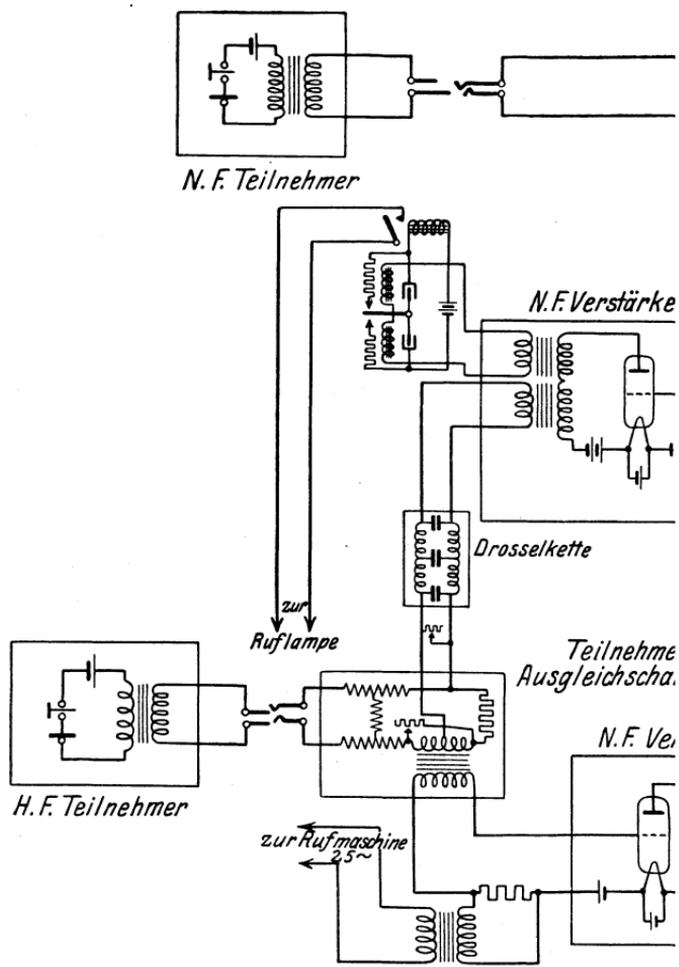
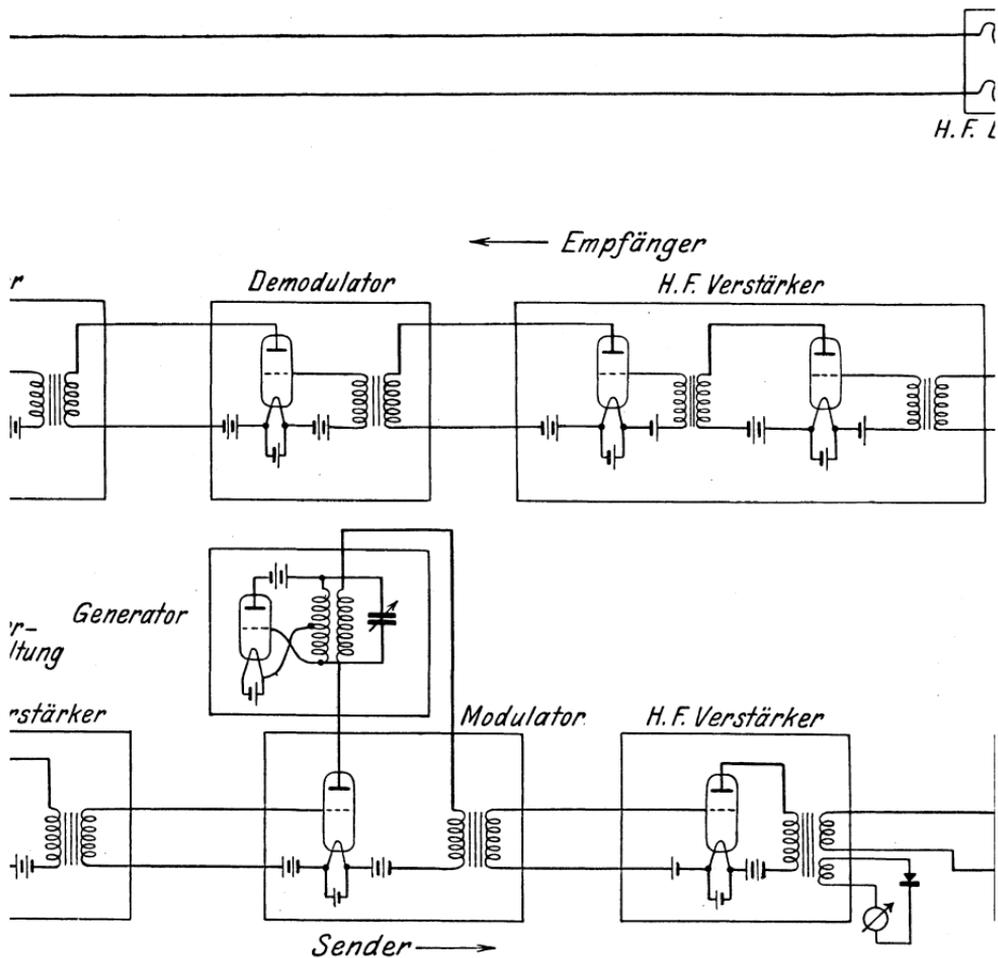
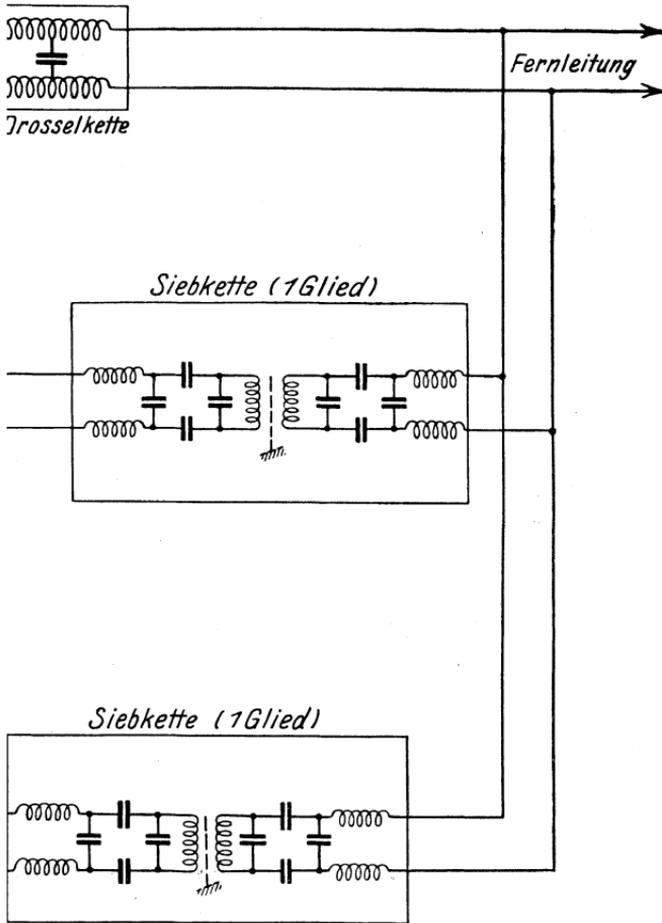


Abb. 127



8. Grundsätzliches Schaltschema eines Mehrfachtelefoniergerätes mit Kathodenröhren (Telefunken, Type ARM)



I 223 a).

Indem man eines der beiden Bänder unterdrückt, gewinnt man Raum, um die einzelnen Gespräche näher aneinander zu legen. Die Siebketten werden nun so bemessen, daß die Trägerfrequenz an einer der beiden „Lochkanten“ liegt und mit dem oberen oder unteren Sprachband in einer bestimmten Breite unverzerrt hindurchgelassen wird. Abb. 1274 stellt eine experimentell aufgenommene Dämpfungskurve einer Siebkette für die Trägerfrequenz $f = 17800$ Hertz dar. Die Kette läßt die Trägerfrequenz und das untere Sprachband in einer Breite von rund 2400 Hertz unverzerrt durch. In der Ordinate ist der natürliche Logarithmus des hinter der Kette gemessenen Stromes in Abhängigkeit von der Frequenz f bei konstant gehaltenem Eingangsstrom aufgetragen. Abb. 1275 zeigt schematisch die bei der Modulation entstehenden Oberschwingungen, die — da für die Übertragung störend — unterdrückt werden müssen. Zur Übertragung soll nur gelangen die Trägerfrequenz H und das obere oder untere Sprachband $H + N$ oder $H - N$.

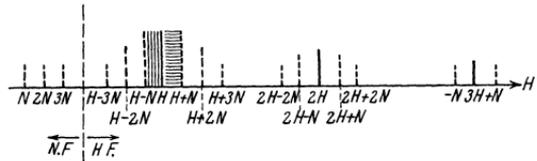


Abb. 1275. Schema der bei der Modulation entstehenden Ober- und Kombinationsschwingungen.

Zur Übertragung soll nur gelangen die Trägerfrequenz H und das obere oder untere Sprachband $H + N$ oder $H - N$.

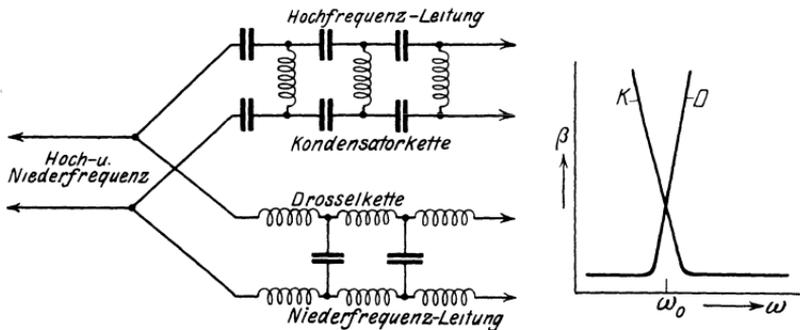


Abb. 1276. Trennung hoch- und niederfrequenter Ströme durch Kondensator- und Spulenketten. (Elektrische Weiche.)

Um die Hoch- und Niederfrequenzverbindungen voneinander zu trennen, werden Spulen- und Kondensatorleitungen in bekannter Weise benutzt. Abb. 1276 zeigt die Wirkung einer „elektrischen Weiche“. Das Diagramm stellt dar, wie die Frequenzen sich auf die beiden Wege verteilen. Sie wird verwendet, um einzelne Fernleitungsstrecken für Hochfrequenzlinien zu schaffen. Sie dienen ferner zur Überbrückung von Niederfrequenzverstärkerämtern und Stickskabeln.

(1992) Schaltung. Abb. 1277 und 1278 zeigen schematisch das Zusammenarbeiten der Einzelapparate für zwei Hochfrequenz-Zusatzgespräche. Der Sender arbeitet mit vier Rohren, von denen das eine, das Generatorrohr, den hochfrequenten Trägerstrom erzeugt, der durch eine induktive Anodenkopplung dem Modulationsrohr aufgedrückt wird. Gleichzeitig wird dieses durch die niederfrequente Sprachspannung, die über das Niederfrequenzverstärkerrohr vom Teilnehmer kommt, gesteuert. Die modulierte Hochfrequenzenergie wird durch das Endverstärkerrohr (HF-Verstärker) in der Amplitude verstärkt und über Siebketten auf die Leitung gedrückt. Der auf die Leitung gelangende Strom beträgt etwa 10 mA, was einer Leistung von etwa 60 mW entspricht. Diese Energie genügt zur sicheren Überbrückung einer Dämpfung von $b = 5,5$ ohne Anwendung

von Zwischenverstärkern. Soll über längere Entfernungen gesprochen werden so werden an geeigneter Stelle zwei vollständige Geräte in den Zug der Leitung geschaltet, die dann lediglich als Verstärker arbeiten. Jeder Sender ist nur für eine bestimmte Trägerfrequenz gebaut, die um einige Prozent verändert werden kann. Der Empfänger besitzt ebenso wie der Sender vier Rohre, von denen die

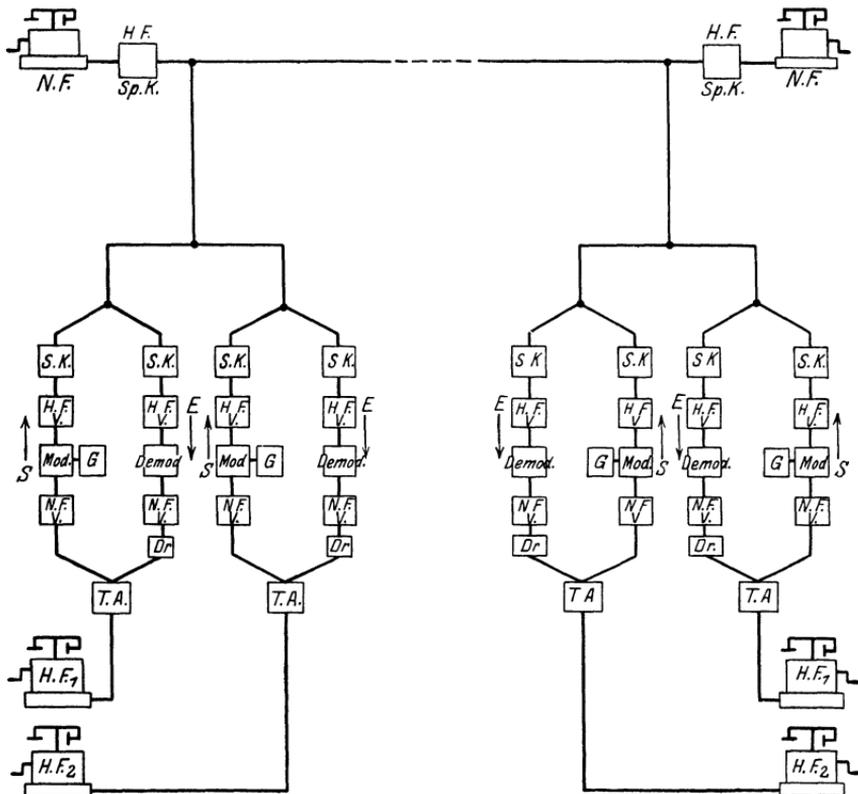


Abb. 1277. Schema für den Betrieb einer Fernsprech-Doppelfreileitung mit einem gewöhnlichen Niederfrequenz- (N.F.) und zwei Trägerfrequenz-Zusatzgespachen (H.F.₁ und H.F.₂).
 Abkürzungen: H. F. Sp. K. Hochfrequenzstoppkette ($\omega_0 = 14000$). — S. K. Banddurchlässige Siebkette. — H. F. V. Hochfrequenzverstärker. — N. F. V. Niederfrequenzverstärker. — Mod. Modulations- oder Mischrohr. — Demod. Demodulations- oder Detektorrohr (Richtverstärker). — Dr. Drosselkette, $\omega_0 = 14000$ zur Unterdrückung hoher Interferenz- und Kombinationstöne. — T. A. Teilnehmersausgleichsschaltung, Brückenordnung zum Übergang von Zwei- auf Vierdrahtschaltung.

beiden ersten als Hochfrequenzverstärker, das dritte als Demodulator und das vierte als Niederfrequenzverstärker arbeitet. Die Kopplung der Rohre untereinander geschieht durch Transformatoren mit Eisenkern.

Die Kopplung des Empfängers an die Leitung erfolgt ebenfalls durch Siebketten von gleicher Form der Senderketten, die aus Abb. 1278 zu ersehen ist. Die Ketten werden zweigliedrig gebraucht.

Niederfrequenzseitig sind Sender und Empfänger durch eine Brückenschaltung, die Teilnehmer-Ausgleichsschaltung, miteinander verbunden, wodurch die Zweidrahtschaltung des Teilnehmers in die Vierdrahtschaltung der

Sende- und Empfangsapparat übergeleitet wird. Die Anordnung ist aus dem Schema zu ersehen. Die Dämpfung der Teilnehmerleitung ist durch Einschalten eines Dämpfungsgliedes von $b = 0,5$ künstlich erhöht, um Unterschiede in der Dämpfung verschiedener Teilnehmeranschlüsse abzugleichen. Der Abgleich der Brücke erfolgt durch die Nachbildung der Teilnehmerstelle mittels eines Ohmschen Widerstandes für einen mittleren Wert des Wellenwiderstandes, der bei ZB-Ämtern etwa bei 1200Ω liegt. Von der Genauigkeit des Abgleiches hängt der Grad der Verstärkung ab, den man anwenden darf, ohne daß das gesamte System ins Schwingen gerät. Der Verstärkungsgrad wird durch Betätigung zweier Lautstärkereglern, Parallelwiderstände zum Sendereingang und Empfänger-ausgang, reguliert. Diese Regler sind übrigens neben den Stromein- und -aus-schaltern die einzigen Bedienungsgriffe.

(1993) Energiebedarf. Die Sender- und Empfängerrohre haben Oxyd-kathoden und sind von hoher Lebensdauer. Sie werden in Gruppenschaltung über Eisenwiderstände geheizt. Der Heizstrombedarf für Sender und Empfänger beträgt 4,4 A bei 12 V Batteriespannung. Die erforderliche Anodenspannung beträgt 220 V. Außerdem ist eine negative Gitterhilfsspannung von etwa 30 V für das Mischrohr am Sender und das Gleichrichterrohr im Empfänger notwendig. Anoden- und Gitterspannungen können einem Netz von 2×220 V Gleichstrom mit geerdetem Mittelleiter entnommen werden. Andernfalls ist es praktisch, ein gemeinsames Maschinenaggregat für die Heiz- und Anodenspannung aufzustellen und auch die Hilfsspannung aus dieser zu entnehmen.

(1994) Der Anruf der Gegenstation erfolgt durch den Trägerfrequenzstrom, der durch Betätigung der Ruftaste mit der normalen Rufstromfrequenz (16 ... 35 Per/s) moduliert wird. Empfängerseitig wird der Rufstrom durch den Demodulationsvorgang in seiner ursprünglichen Periodenzahl wieder hergestellt und über einen besonderen, für die niedrige Periodenzahl berechneten Übertrager an die Wicklung eines polarisierten Relais gelegt. Die Zunge dieses Relais legt im Rhythmus der Periodenzahl des Rufstromes abwechselnd zwei Kondensatoren (je $2 \mu\text{F}$) über die Wicklung eines (Verzögerungs-)Relais an eine Gleichspannung (220 V). Der Anker des Relais bleibt so lange angezogen, als gerufen wird. Das Relais wird durch die Ladestromstöße betätigt, während die Kondensatoren sich über Funkenlöschwiderstände entladen. Der Kontakt des Verzögerungsrelais schließt den Stromkreis zur Ruflampe am Platz des Fernschrankes.

(1995) Der Anschluß an den Fernplatz (Klappenschrank). Das Hochfrequenzsystem wird wie jede gewöhnliche Fernleitung angeschaltet und untersucht sich von dieser in seiner Bedienung durch die Beamtin in nichts. Das Gerät besteht aus einem Eisengestell von 2520 mm Höhe und 690 mm Breite. Auf der Vorderseite sind in sechs Eisenkästen Sender, Empfänger und Siebketten und eine Überwachungsschalttafel untergebracht. Das Gewicht beträgt etwa 200 kg.

Literatur: Faßbender u. Habann: Jahrb. d. drahtl. Telegr. Bd. 14, S. 451, 1919. — Colpitts & Blackwell: Carrier Current Telephony and Telegraphy. J. Inst. El. Eng. 1921, Heft 4, 5, 6. — Muth, H.: Mehrfachtelephonie und Telegraphie langs Leitungen, Telefunken-Zg. Nr. 35, 36, 38. — Schulz, H.: Physikalisch-technische Grundbetrachtungen und Erläuterungen zum Hochfrequenzsprechen auf Drähten, Telegraphen- u. Fernspr.-Techn. 1923, S. 40. — Schulz, H. und Wagner, K. W.: Der Drahtfunk ETZ 1924, Sonderheit. — Jewett, F. B.: Making the most of the line. El. Commun. Bd. 3, S. 8, 1924. — Fiedler: Die Aussichten der leitungsgerechtigten Hochfrequenztelephonie und Telegraphie in Deutschland. TFT 1924, S. 5. — Banneitz: Taschenbuch, S. 1001; 1927.

(1996) Andere Ausführungsformen. Das oben beschriebene Röhrengerät ist nur ein Beispiel, wie man ein Mehrfachtelephoniegerät für die Praxis ausführen kann. An sich ist es natürlich gleichgültig, ob die Hochfrequenz mit einer Röhre, dem Lichtbogen, oder einer Hochfrequenzmaschine erzeugt wird. Auch die Methode der Modulation kann die verschiedensten Formen annehmen. Das Ausschlaggebende für ein Mehrfachtelephoniesystem ist die Wirtschaftlichkeit (1988) in der Anschaffung und Unterhaltung und Einfachheit in der Bedienung, sowie nach Möglichkeit leichte Beweglichkeit der Apparate und geringe Anforderungen an notwendige Stromquellen.

So benutzt z. B. das Mehrfachtelephoniesystem der Firma C. Lorenz A.-G. als Generator für den Trägerstrom eine Hochfrequenzmaschine mit ruhenden Frequenzwandlern, während der Trägerstrom mittels einer Sprechdrossel moduliert wird. Der Nachteil dieses Systems liegt außer in den hohen Anlagekosten darin, daß man in den drei Gesprächen immer von einer gemeinsamen Maschine abhängig ist. Man ist somit nicht in der Lage, wie beim Röhrengerät, bei Bedarf die Einzelgespräche auch nach anderen Richtungen zu verwenden.

Literatur: Pungs, S.: Die Steuerung von Hochfrequenzströmen durch Eisendrosseln mit überlagerter Magnetisierung. ETZ 1923, S. 78. — Schmidt, K.: Ein neuer Hochfrequenzmaschinensender für drahtlose Telegraphie. ETZ 1923, S. 910. — Ders.: Die maschinelle Erzeugung kleiner Wellen. ETZ 1924, Sonderheft.

Ein ähnliches System, das die Trägerfrequenzen als Oberschwingung einer festen Grundschwingung benutzt, stellt der „harmonic generator“ der Western-Gesellschaft dar. Da die Trägerfrequenzen in einer starren Beziehung zueinander stehen und sich gegenseitig nicht verändern können, ist das Entstehen von störenden Interferenztönen auf ein Minimum beschränkt. In dieser Starrheit liegt aber auch ein großer Nachteil, der darin beruht, daß man bei Kollision einer Frequenz mit einem Funkstörer auch die sämtlichen übrigen Trägerfrequenzen verlegen muß, wenn man die Störung bei der einen beseitigen will. Bei der Häufung der Funkstörer ist es dann höchst wahrscheinlich, daß man in einem anderen Frequenzgebiet beim Ausweichen auf einen anderen Funkstörer fällt.

Literatur: Wagner, K.W.: Das Mehrfachfernsprechen und Mehrfachtelegraphieren mit schnellen Wechselströmen in Amerika. (Referat.) ETZ 1922, S. 37. — Eisen, H.: Der gegenwärtige Stand der Hochfrequenztelephonie und -telegraphie längs Leitungen in Amerika. (Referat.) Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 18, S. 162. — Carrier current systems. JAIEE 1927, S. 173.

Elektrizitätswerk-Telephonie.

(1997) Betriebsaufgaben. Die Kraftwerke und Schaltstationen der großen Überlandnetze bedürfen zur Ausführung der Schaltmanöver und zur Beseitigung von Störungen durchaus sicherer und schnell in Tätigkeit tretender Nachrichtemittel, die bei dauernder Betriebsbereitschaft geringe Anforderungen in bezug auf Fachpersonal stellen. Um auch beim Ausbleiben der Fernkraft betriebsbereit zu bleiben, müssen die zu verwendenden Nachrichtemittel ihre eigenen Energiequellen besitzen.

Die Forderung nach dauernder Betriebsbereitschaft läßt sich bei Mitbenutzung öffentlicher Fernsprechleitungen durch die Kraftwerke, auch bei Vorzugsrecht, nicht erfüllen, auch dann nicht, wenn solche Leitungen zur ausschließlichen Eigenbenutzung von den Werken gemietet werden. Die Freileitungen leiden bekanntlich außerordentlich häufig unter Störungen aller Art, und die Fehlerbehebung nimmt verhältnismäßig viel Zeit in Anspruch. (A. Peucker, Elektrotechnische Betriebserfahrungen bei der Großkraftversorgung. ETZ 1925, S. 73.)

Hohe Zuverlässigkeit wird durch Kabelverbindungen erreicht; diese stehen aber den wenigsten Kraftwerken zur Verfügung, da der Mietzins außerordentlich hoch ist.

Reine Raumtelephonie- oder -telegraphieverbindungen scheiden für deutsche Verhältnisse aus, da einmal für diese Verbindungen gar keine Wellen mehr zur Verfügung stehen, zum anderen solche Anlagen viel zu sehr atmosphärischen Störungen und solchen durch andere Stationen ausgesetzt sind. Auch würden sie ein besonderes Fachpersonal erfordern.

Als vierte Möglichkeit besteht die Hochfrequenztelephonie und -telegraphie längs der Hochspannungsleitungen. Da Leitungsbrüche und ähnliche schwere Störungen zu den Seltenheiten gehören, wird von dieser Seite nur ein geringes Unsicherheitsmoment in die Anlage hineingetragen. Vielmehr ist mit Störungen zu rechnen, die ihren Ursprung aus Änderungen im Schaltzustand der Leitung, und damit Änderung ihrer Dämpfungskonstanten nehmen. Diesen Einfluß auf

die Hochfrequenzübertragung unwirksam zu machen, ist die Hauptaufgabe und zugleich Hauptbeschwerigkeit.

(1998) Dämpfung. Wie aus den Kurven I u. II der Abb. 1269 hervorgeht, hat man mit einer sehr kleinen Dämpfung der Kraftleitungen zu rechnen. Dieser Umstand gestattet, den Trägerfrequenzbereich nach oben hin wesentlich zu erweitern. Praktisch werden Frequenzen bis zu 300000 Hertz verwendet; aus Gründen der Stabilität des Betriebes geht man besser nicht über 200000 Hertz hinaus. Um nicht gezwungen zu sein, der Sprachgüte wegen banddurchlässige Frequenzfilter zu benutzen, wird man zweckmäßig mit der Trägerfrequenz über 40000 Hertz bleiben.

Die wirksame Dämpfung, mit der eine Trägerfrequenzanlage zu rechnen hat, wird, außer durch die Leitungsdämpfung, noch durch eine ganze Anzahl anderer Faktoren bestimmt, hauptsächlich durch große Kapazitäten an den Leitungsenden und im Zuge der Leitung, die durch die Ölshalter, Sammelschienen und Transformatoren gebildet werden und für die Hochfrequenz wie ein Kurzschluß wirken können. Auch freischwingende Wicklungen, deren Eigenschwingung mit einer Trägerfrequenz zusammenfällt und die ausgestrahlte Hochfrequenzenergie absorbiert, können die wirksame Dämpfung erheblich heraufsetzen, ja eine Verbindung für eine bestimmte Frequenz unmöglich machen. In gleicher Weise wirken Sticheleitungen in verzweigten Freileitungsnetzen.

Um übersichtliche Verhältnisse zu schaffen, muß daher angestrebt werden, diese störenden Einflüsse auszuschalten, was mit Hilfe wirksamer Hochfrequenzsperrkreise erreicht werden kann. An jeder für Hochfrequenz abzusperrenden Stelle sind zwei solcher Gebilde, je eins für die Sende- und Empfangsfrequenz, einzubauen. In Abb. 1281 ist ihre Verwendung angedeutet.

Die im Zuge der Leitung liegenden Windungen bestehen aus wenigen aus Flachbandkupfer hochkant gewickelten Windungen in Zylinderform, die eine aus Hochfrequenzlitze gewickelte Spule einschließen. Letztere bildet mit einem Drehkondensator einen Schwingungskreis, der auf die zu sperrende Frequenz abgestimmt wird. Die Sperrkreise brauchen nur in die Phasen eingebaut zu werden, an die die Hochfrequenzapparaturen angekoppelt sind. Ihre Sperrwirkung ist so vollkommen, daß die Leitung an der der Hochfrequenz abgewandten Seite geerdet werden kann, ohne daß die Energieübertragung merklich verschlechtert wird.

(1999) Ankopplung. Die Hochfrequenzgeräte können auf verschiedene Weise an die Leitung gekoppelt werden, z. B. durch Antennen über das Blitzseil oder Kondensatoren.

Literatur: Gewecke, H.: Hochfrequenztelephonie in Überlandzentralen. *Telefunken-Zg.* 1921, Nr. 24. — Arco, G. Graf v.: Drahtlose Nachrichtenübermittlung für Überlandwerke. *ETZ* 1920, S. 785.

Als die zuverlässigste und dabei theoretisch übersichtlichste Form hat sich die Ankopplung durch geeignete Hochspannungskondensatoren erwiesen, die aber erst ermöglicht wurde, nachdem solche von genügender Kapazität bei zuverlässiger Durchschlagsfestigkeit in den Handel gebracht wurden (Meirowsky, Porz-Köln a. Rh.). Abb. 1279 zeigt zwei Meirowsky-Kondensatoren von $C =$ etwa $0,001 \mu\text{F}$ und einer Betriebsspannung von 60 kV (Prüfspannung 160 kV), je zwei in Serie für ein 110-kV-Netz.

Die Ankopplung der Apparaturen kann entweder zwischen einer Leitung und Erde oder zwischen zwei Leitungen erfolgen. Die erste Art gewährt gegenüber Schaltungsänderungen im Freileitungsnetz und in angeschlossenen Werken, sowie gegenüber Leitungsstörungen größere Gleichmäßigkeit der Lautstärke und größere Betriebssicherheit. Aus diesem betriebstechnischen Grunde verdient sie trotz höherer Dämpfung praktisch den Vorzug. Die Anwendung der zweiten Kopplungsart leidet an dem doppelten Aufwand an Kopplungsmitteln, was besonders dann sich unangenehm auswirkt, wenn noch Überbrückungsmittel (2000) in den Zug der Leitung eingeschaltet sind. In Fällen so hoher Leitungsdämpfung,

daß die Einphasen-Kopplung nicht genügende Lautstärke bringt, wird der Zweiphasen-Anschluß ein Ausweg sein, wenn nicht dadurch die Gleichmäßigkeit des Betriebs leidet. Es muß daher bei jedem Projekt wohl erwogen werden, welche Form man wählt, um die Wirtschaftlichkeit der Anlage zu wahren.

(2000) Überbrückung. Zur Umgehung von Trennschaltern und zur Verknüpfung von verschiedenen Leitungen für die Trägerfrequenz dienen Überbrückungen. Abb. 1280 zeigt schematisch ihre Schaltung, aus der die Wirkungsweise hervorgeht. Sie werden genau wie die Apparate über Kondensatoren an die Leitung gekoppelt; sie sind stets in Verbindung mit den oben erwähnten Sperrkreisen (1998) zu verwenden.

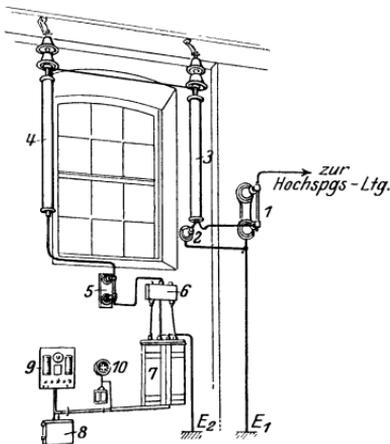


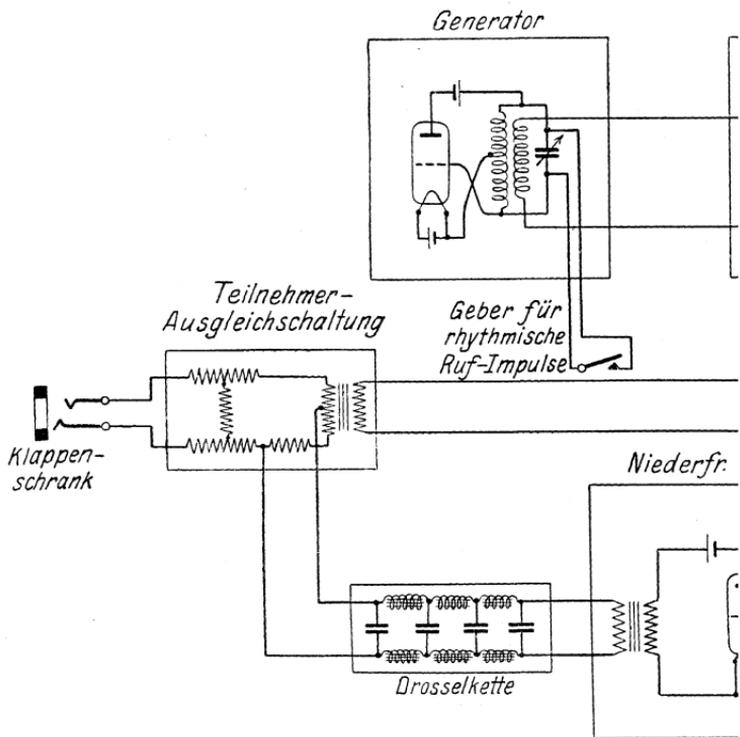
Abb. 1279. Ankopplung einer Fernsprechanlage an eine Hochspannungsleitung.

1. Hochspannungs(-Schmelz)sicherung meist nicht benutzt.
2. Grob-Spannungsableiter (Plattenfunkenstrecke 2,5 kV, 200 A).
3. Hochspannungskondensatoren für den
4. Anschluß des Gerätes an die Hochspannungsleitungen.
5. Schmelzsicherung (2,24 kV).
6. Sperrkreis, um den Empfänger vom Sender abzukoppeln.
7. Telephoniegerät.
8. Einankerumformer zur Erzeugung der Anodenspannung des Senders.
9. Automatische Ladeeinrichtung.
10. Relais für den Wahlenruf.

(2001) Zum Anruf der Stationen dient Hochfrequenzstrom, indem empfängerseitig durch ein Gleichrichterrohr ein empfindliches Relais betätigt wird. Um unter mehreren Stationen zu wählen, bedient man sich entweder des Resonanzanrufs, indem man den Trägerstrom mit einer bestimmten Impulszahl je Sekunde tastet, auf die empfängerseitig ein Resonanzrelais anspricht, oder des Nummernscheibenanrufs der Selbstanschlußbämter.

Solange man mit nur zwei Trägerfrequenzen, je einer für Sender und Empfänger, arbeitet, können nur von einer einzigen Station aus die übrigen errufen werden. Sollen mehr als zwei Stationen wahlweise sich gegenseitig errufen und miteinander sprechen können, so muß eine dritte Frequenz, auf die der Sender und Empfänger beliebig umschalten können, eingeführt werden (Wellenwechselsystem). Wann das eine oder andere zur Anwendung kommt, richtet sich nach dem Grundprinzip, mit dem die Kraftwerke in bezug auf die Befehlsübermittlung an die einzelnen Werke arbeiten. Wenn nur eine Kommandostation die Schaltungen ausführen läßt, ist also nur eine Verständigung zwischen der Kommando- und den übrigen Unterstationen nötig, während letztere untereinander nicht zu verkehren brauchen. Ein Beispiel für dieses System sind die Bayern-Werke. Im Gegensatz hierzu steht das System der Untergruppen, die ihrerseits wahlweise untereinander verkehren müssen. Für letzteren Fall kommt der Wellenwechsel zur Anwendung. Dieser erfolgt durch automatisches Zu- bzw. Abschalten von Abstimmkondensatoren im Sender und Empfänger. Niederfrequenzseitig ist durch eine Gabel der Übergang auf Zweidrahtschaltung hergestellt, so daß die Hochfrequenzverbindung wie eine gewöhnliche Drahtleitung über den Klappenschrank zu bedienen ist. Sie gestattet ohne weiteres Übergang auf Fernleitung oder Kabel.

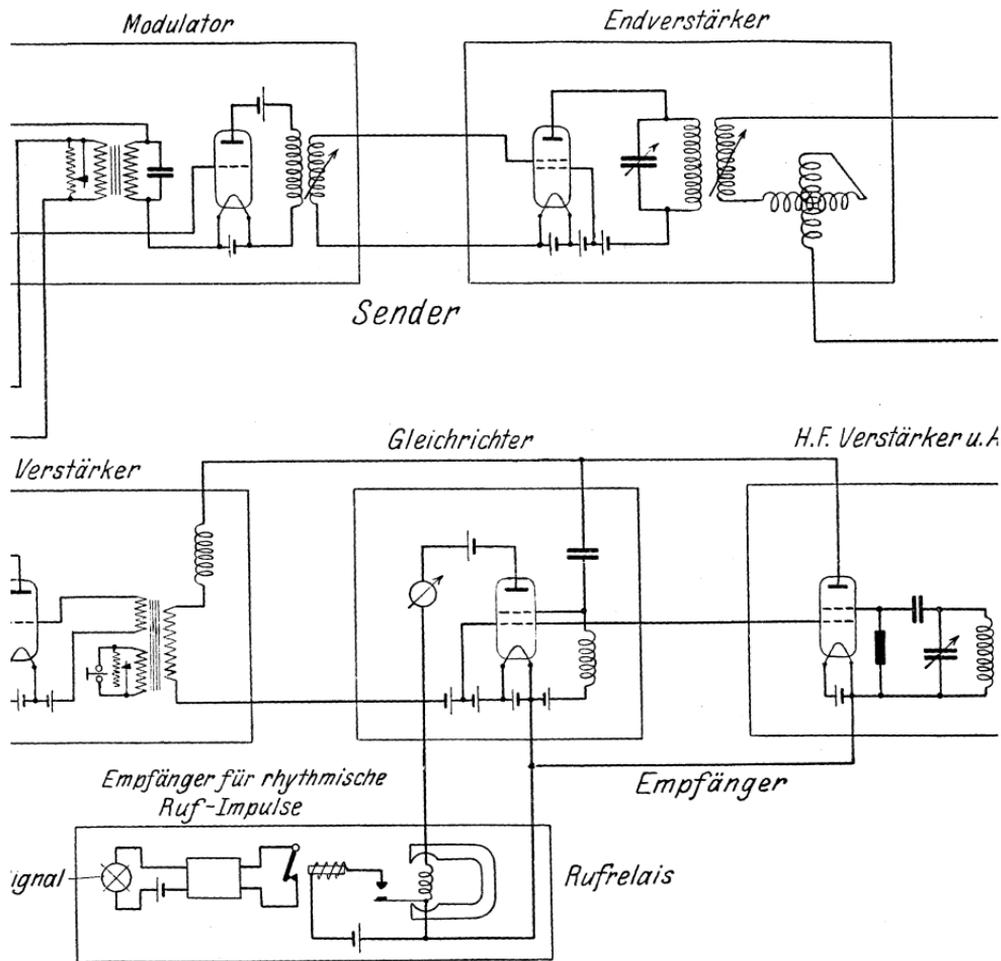
(2002) Die Sicherheit der Anlage wird durch bestimmte, den Vorschriften und Normen des VDE (Sicherheitsvorschriften für Hochfrequenztelephonie in Verbindung mit Hochspannungsanlagen, ETZ 1922, S. 445) entsprechende Maß-



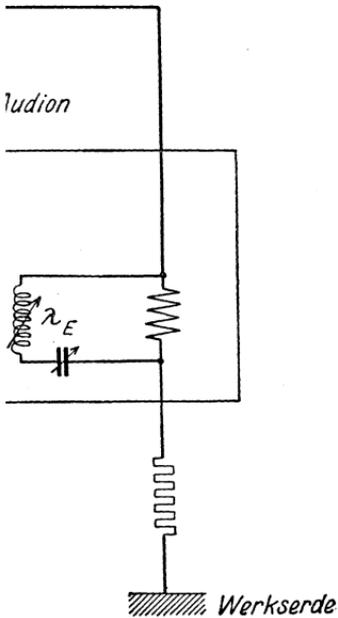
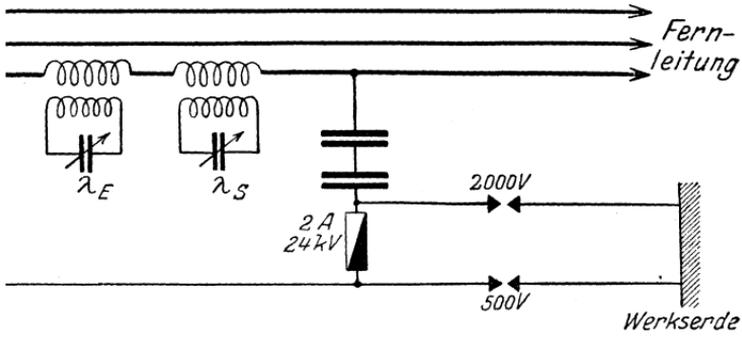
Ruf-S

Abt

zum
Schalthaus



1281. Grundsätzliches Schaltschema eines Elektrizitätswerks-Telephoniergerätes (Telefunken, Type ARS 231).



nahmen und Einrichtungen gewährleistet. Die Sicherheitseinrichtung besteht im wesentlichen aus einer Grobspannungssicherung für 2 kV zwischen dem Ausgang des Kopplungskondensators und einer Schmelzsicherung (1 A, 24 kV) zwischen Kopplungskondensator und Gerät. Der Leitungskreis des letzteren liegt an einer Sondererde, die gegen die Werkserde einen Widerstand von rd. 100 Ω besitzt. Schlägt der Kopplungskondensator durch, so entsteht in der Zuleitung zur Sondererde gegen die Werkserde ein Spannungsabfall, auf den die Grobspannungssicherung anspricht, zusammenschmilzt, und damit die Hochspannungsleitung an Erde legt. Der nach der Sondererde abfließende Strom läßt die Schmelzsicherung abschmelzen, wodurch das Gerät von der Leitung abgetrennt wird.

(2003) Die technische Ausführung muß vor allen Dingen Sorgfalt auf eine möglichst bedienungslose Ladung der Akkumulatoren, aus denen die Anlage gespeist wird, legen. Das System Telefunken (Apparat Typ ARS 231) verwendet eine Zentralbatterie von 30 V bei rd. 80 Ah. Eine selbsttätige Ladeschalttafel regelt mit Hilfe eines Spannungsrelais das An- und Abschalten der Batterie an die Ladequelle. Aus der Batterie wird dauernd der Empfänger, der immer in Anrufbereitschaft steht, gespeist. Sie liefert gleichzeitig die Anodenspannung für die beiden Anruddoppelgitterrohre.

Durch Abheben des Fernsprechers von der Gabel des Tischapparates oder Umlegen eines Kelloggschalters am Klappenschrank wird ein Relais betätigt, das seinerseits den Heizstrom für die Senderöhren einschaltet und den Anodenspannungsumformer in Betrieb setzt. Durch Drücken der Ruftaste oder Betätigung der Nummernscheibe wird die gewünschte Gegenstation angerufen.

Die Wirkungsweise von Sender und Empfänger ist aus dem Schaltschema, Abb. 1281, zu ersehen. Es stimmt im wesentlichen mit dem des oben beschriebenen Mehrfachtelephoniegerätes überein. Die Trennung der Sendefrequenz erfolgt außer durch abgestimmte Schwingungskreise durch einen parallel zum Empfänger liegenden, induktiv gekoppelten Sperrkreis, der auf die Empfangswelle abgestimmt ist und für die Sendefrequenz einen Kurzschluß bildet. Der Sender arbeitet gewöhnlich mit etwa 1 bis 2 W Hochfrequenzleistung beim Rufen.

Die Apparatur ist ohne weiteres auch zum Telegraphierbetrieb verwendbar, indem an Stelle der Rufsignaleinrichtung (Ruftaste oder Impulsgeber und Impulsrelais) eine Morsetaste bzw. ein Morseschreiber eingeschaltet wird.

L i t e r a t u r: H a b a n n: Das Zweiwellensystem der Deutschen Telephonwerke. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 22, S. 142; 1923. — S l a u g h t e r, N. H.: Carrier telephone equipment for high voltage power transmission lines. El. Commun. Bd. 3, S. 127; 1924. — W o l f e, W. V.: Carrier telephony on high voltage power lines. Bell. syst. techn. Jl. 1925, S. 152. — D e v a u x: Rev. gén. de l'él. Bd. 18, S. 261; 1925. — D r e ß l e r, G.: Fortschritte der Hochfrequenztelephonie auf Starkstromleitungen. El.-Wirtschaft 1926, S. 29. — T ä t z: Hochfrequenztelephonie in El.-Werken Mitt. EV. Oberschles. Jan. 1926. — L i s t o n, J.: Some developments in the el. industry. Gen. El. Rev. 1924, S. 45; 1925, S. 39; 1926, S. 42; 1927, S. 36.

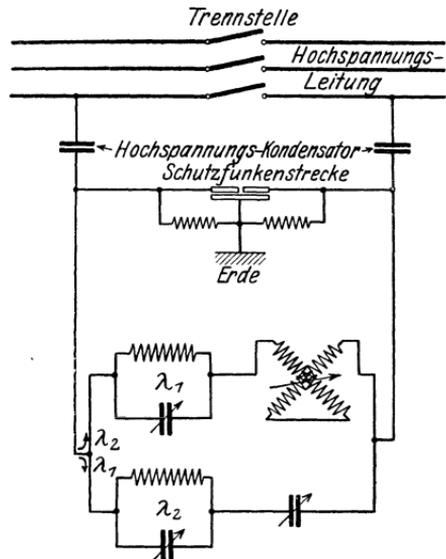


Abb. 1280. Anordnung zur Überbrückung einer Leitungstrennstelle für hochfrequente Trägerströme.

— Dubois, R.: La téléphonie par courant porteur. Les progrès récents en téléphonie à haute fréquence dans les réseaux de distribution. Bull. soc. franç. des él. 1926, S. 375, 409. — Rev. gén. de l'él. Bd. 18, S. 1051; 1925. — Reynaud-Bonin: Les liaisons télégraphiques ou téléphoniques de sécurité pour l'exploitation des entreprises de distribution d'énergie électrique. — Boddie, C. A.: Largest system of power-line telephony. El. World Bd. 87, S. 557; 1926. — Terven, L. A.: Carrier communication at high radio frequencies. El. World Bd. 88, S. 533; 1926. — Cummings, B. R.: Carrier current communication. Gen. El. Rev. 1926, S. 365. — Carter, E. F.: Carrier current communication over transmission lines. Gen. El. Rev. 1926; S. 833. — Graf von Arco, G.: Betriebstelephonie mit Trägerfrequenzen auf Hochspannungsleitungen. Elektro-Journal 1926, S. 316. — Dreßler, G.: Telephonie auf Starkstromleitungen. Zeitschr. f. Fernmeldetechnik 1927, S. 8, 23. — Hubbard, F. A.: Carrier current system installed between Sydney and Melbourne. El. Commun. Bd. 4, S. 153; 1926. — Hitchcock, H. W.: Carrier current communication on submarine cables. JAIEE 1926, S. 923; Bell. system techn. Jl. 1926, S. 636. — Imendorffer, H.: Die Anlage für leitungsgerichtete Hochfrequenztelephonie der Gemeinde Wien. El. u. Maschinenbau 1926, S. 421. — Lane, H. J.: How pacific coast utility provides for communication. El. World, Bd. 90, S. 364; 1927. — New type of carrier current coupling. El. World Bd. 90, S. 455; 1927. — Rößler, G.: Zur Fortpflanzung d. Wellen längs Leitern. ENT 1927, S. 281. — Stewart u. Whitney: Carrier current selector supervisory equipment. JAIEE 1927, S. 588, 631. — Bannettz: Taschenbuch, S. 1024; 1927. — Yokoyama, E.: High frequency telephony over power transmission lines in Japan. Electrician Bd. 99, S. 70; 1927. — Rev. gén. de l'él. Bd. 22, S. 254; 1927. — Carrier current telephony. JAIEE 1927, S. 713. — Belt, T. A. E.: Coupling capacitors for carrier current. JAIEE 1927, S. 1051. — Ferner: Dubois, R.: Rev. gén. de l'él. Bd. 21, S. 539, 1030; Bd. 22, S. 55, 259, 591; 1927. — Grant, L. C.: Rev. gén. de l'él. Bd. 22, S. 256; 1927. — Das Nachrichtenwesen in Überlandwerken. Mitt. V. El.-Werke 1924, S. 25. — Kontz, John A.: Carrier-current telephony on the high-voltage transmission lines of the Great Western Company. J. Am. Inst. El. Eng. 1924, S. 122. — Slaughter, N. H. and Wolfe, W. V.: Carrier telephony on power lines. Ebenda 1924, S. 377.

Elektrizitätswerk-Nachrichtendienst.

(2004) Verbreitung von Mitteilungen. In jüngster Zeit wird die Hochfrequenztelephonie längs Kraftleitungen auch zur Verbreitung allgemein interessierender Nachrichten und Unterhaltungsmusik benutzt. An einem Zentralpunkt eines weit verzweigten Netzes wird ein Telephonieröhrensender von einigen Kilowatt Leistung angeschlossen, der die modulierte Hochfrequenz über Kondensatoren auf das Netz gibt. Die Sendefrequenz beträgt 50000 Hertz, eine Frequenz, die sowohl in bezug auf die räumliche Leitungsdämpfung als auch in bezug auf ihre Modulationsfähigkeit durch das breite Frequenzband der Musik (100 bis 10000 Hertz) günstige Resultate liefert. Als Empfangsapparaturen können wegen der guten Richtwirkung der Leitung Detektorempfänger einfachster Art Verwendung finden, die so gut wie keine Bedienung erfordern, da sie keine veränderbare Abstimmung besitzen. Die Empfänger werden über kleine Kondensatoren direkt an das Lichtnetz angeschlossen. Es fällt somit die unbequeme Antennenanlage fort.

Die Einrichtung soll auch den weitesten Kreisen, vor allem der Landbevölkerung, Gelegenheit geben, sich an ein billiges und bequemes Nachrichten- und Unterhaltungsnetz anzuschließen. Sie wird in den Bezirken eine Rolle spielen, in denen die Raumrundfunktender durch einfache Detektorapparate nicht aufgenommen werden können.

Die Sender sollen von den Kraftwerken aufgestellt und unterhalten werden. Die Werke vermieten an ihre Stromabnehmer die Empfänger gegen eine geringe monatliche Gebühr.

Die bisher gewonnenen Erfahrungen zeigen, daß die weit verzweigten Netze die Hochfrequenz nicht gleichmäßig fortleiten. Vielmehr müssen Vorkehrungen getroffen werden, um die die Hochfrequenzen übermäßig dämpfenden Leitungsteile abzusperren. Erhöht werden die Schwierigkeiten dadurch, daß die Trägerfrequenz die Starkstromtransformatoren passieren muß, die den hochgespannten Fernstrom von 50 Per/s auf die Betriebsspannung transformieren.

Literatur: Moser, W.: Die Entwicklung der Hochfrequenztelephonie über Hochspannungsleitungen durch Telefunken. Telef.-Ztg. Nr. 39, S. 7; 1925. — Prinz Reuß: Die Bedeutung des Elektrizitätswerks-Nachrichtendienst und sein organisatorischer Aufbau. Telef.-Ztg. Nr. 39, S. 11; 1925. — Möglichkeiten des Drahtrundfunks. Funk 1924, S. 153. — Moser, W.: Rundfunk aus der Steckdose. Der Funk 1925, S. 221. — Der EW-Rundfunk Rositz eingestellt. Funk 1927, S. 279.

Sechster Abschnitt.

Verschiedene Sondergebiete des Fernmeldewesens. Eisenbahn-Telegraphie und -Signalwesen.

Umfang der Einrichtungen.

(2005) Die Grundlagen für die Ausrüstung der Eisenbahnen mit elektrischen Telegraphen- und Signal-Einrichtungen bilden die von den Reichs-Aufsichtsbehörden erlassenen allgemeinen Bestimmungen über den Bau und den Betrieb der Eisenbahnen.

Für die deutschen Bahnen sind dies:

- a) die Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung vom 1. Mai 1905 und
- b) die Signalordnung für die Eisenbahnen Deutschlands vom 1. August 1907.

Diese allgemeinen Bestimmungen enthalten in bezug auf Verständigung in die Ferne und in bezug auf die Mitteilung verabredeter Zeichen (Signale) Forderungen, welche das Maß desjenigen bilden, was mit den elektrischen Einrichtungen zum mindesten und ohne Rücksicht auf sonstige Verhältnisse geleistet werden muß. Der den Anlagen über dieses Maß hinaus zu gebende Umfang bestimmt sich in jedem einzelnen Falle aus der Eigenartigkeit der Verkehrs- und Betriebsverhältnisse der Bahnlinie und nach besonderen Vorschriften.

Für die deutschen Reichseisenbahnverwaltungen sind dies:

- c) die Vorschriften für den Stellwerkdienst;
- d) die Vorschriften für den Blockdienst;
- e) die Fahrdienstvorschriften;
- f) die Anweisung für das Entwerfen von Eisenbahnstationen unter besonderer Berücksichtigung der Stellwerke (Preußen);
- g) die Grundsätze für die elektrische Strecken- und Stationsblockung nebst Ausführungsbestimmungen (Preußen).

Im allgemeinen können nachstehende Angaben über die den Bahnen zu gebende Ausrüstung als Anhalt dienen.

(2006) Maßstab für den Umfang der Einrichtungen. Auf jeder Bahnlinie, gleichviel ob Hauptbahn oder Nebenbahn, ist erforderlich

- a) eine Zugmeldeleitung zwischen je 2 Zugmeldestellen (Stationen, Bahnhöfen, Blockstellen) mit Abzweigung und Haltestellen, die zu Zugmeldestellen erklärt sind) (2012).

Für solche Nebenbahnen, auf denen mit einem einzigen hin- und herfahrenden Zuge der Verkehr bewältigt wird, genügen statt der Morsewerke auch Fernsprecher.

Auf jeder Hauptbahn ist weiter erforderlich

- b) eine Läuteleitung, besetzt mit elektrischen Signal-Läutewerken bei den einzelnen Block-, Schranken- und Bahnwärterposten und mit magnetelek-

trischen Stromerzeugern (Induktoren) auf den Stationen (2013) und Blockstellen mit Abzweigung.

Auf Nebenbahnen dient die durchgehende Morseleitung vielfach zugleich für den Zugmeldedienst.

Die Zahl der zu einem Schließungskreise verbundenen Stationen kann daher nur beschränkt sein, in der Regel nicht über 10. Sind mehr Stationen vorhanden, so wird diese Leitung in zwei oder mehrere Kreise eingeteilt und außerdem noch

c) eine zweite Morseleitung als Bezirksleitung hergestellt, die außer den beiden End- und den Kreisschlußstationen nur die hauptsächlichsten Stationen einschließt (2008).

Auf Hauptbahnen und wichtigen Nebenbahnen

d) eine Streckenfernsprechleitung, in welche sämtliche Betriebstellen zwischen zwei Zugmeldestellen einzuschalten sind.

Auf Hauptbahnen von größerer Länge und solchen mit lebhafterem Zugverkehr ist außerdem zur Entlastung der sämtliche wichtigen Stationen einschließenden Morseleitung (Bezirksleitung)

e) eine zweite durchgehende Morseleitung (Bezirksleitung) erforderlich, in die aber nur die hauptsächlichsten Stationen eingeschaltet werden.

In letzterem Falle dient die erste Morseleitung dem nachbarlichen Verkehr und wird dementsprechend je nach Erfordernis in zwei oder mehr Kreise abgeteilt. Den Verkehr zwischen den großen Bahnhöfen, zwischen den Ämtern, Reichsbahndirektionen und Zentralbehörden vermittelt

f) Fernleitungen, Hughes- und Maschinentelegraphen.

Die Reichsbahndirektionen und Hauptverwaltungen unterhalten ferner zur Entlastung der Telegraphenanlagen und zur schnelleren Abwicklung des Geschäftsganges

g) den Reichspostanlagen ähnliche Fernsprechämter mit besonderem Leitungsnetz.

Für den Zugsicherungsdienst sind auf jeder Hauptbahn ferner erforderlich

h) zwei bis sechs Leitungen für die Streckenblockanlagen und eine Anzahl Leitungen für die Stationsblockeinrichtungen (in der Regel Kabel).

Auf stark geneigten Bahnstrecken — auf Hauptbahnen bis zu Neigungen von 1 : 200, auf Nebenbahnen bis zu Neigungen von 1 : 100 — sowie in Krümmungen mit Radien von 250 m und darunter, auf ständig langsam zu befahrenden Streckenabschnitten und vor Einfahrten in Kopfbahnhöfe findet eine fortlaufende Überwachung der Fahrgeschwindigkeit auf elektrischem Wege statt. In diesem Falle ist eine Überwachungsleitung zur Verbindung der Gleis-Kontakte (Schienenstromschließer) mit der zugehörigen Schreibvorrichtung (2017) erforderlich.

Ausführung der Anlagen.

(2007) Drahtleitungen. Mit Rücksicht auf die gleichzeitige Benutzung des Bahngeländes, meistens sogar desselben Gestänges durch die Reichstelegraphen- und die Bahnverwaltung werden die Bahnleitungen nach den gleichen Grundsätzen und unter Verwendung der gleichen Baustoffe hergestellt, wie es für die Reichstelegraphen-Verwaltung vorgeschrieben ist. Für die Freileitungen wird sich die Bahnverwaltung, soweit irgend angängig, die bahnwärts gelegene Seite des Gestänges (bei Doppelgestängen die bahnwärts stehende Stange) für ihre Zwecke vorzubehalten haben. Innerhalb der größeren Bahnhöfe empfiehlt es sich, nur die durchgehenden Leitungen am gemeinschaftlich benutzten Gestänge anzubringen, für die Block-, Fernsprech- und sonstigen Bahnhofsleitungen aber besondere bahneigene Gestänge bzw. Kabel herzustellen. Weiteres über Leitungsbau und Unterhaltung s. (1251) bis (1328).

(2008) Morseleitungen. Für Eisenbahn-Telegraphenleitungen ist naturgemäß der Betrieb mit Ruhestrom zu wählen. Die Telegrapheneinrichtungen

selbst sind dieselben, wie solche in den Telegraphenbetrieben für Ruhestrom zur Anwendung kommen, es werden in neuerer Zeit fast ausschließlich sog. Normal-Morsewerke — Grundbrett mit Federschlußklinken — verwendet. (Vgl. Zetzsche, Handbuch der Telegraphie, Bd. 4, § XXI, Fig. 171 und 172.) Diese Anordnung gewährt den Vorteil leichter und bequemer Auswechslung durch die Telegraphenbeamten selbst ohne Zuhilfenahme von Geräten, sowie auch im Falle von Unbrauchbarkeit des einen Morsewerkes die Möglichkeit, durch sofortiges Einsetzen eines anderen gerade unbenutzten den Betrieb aufrecht zu erhalten.

Die Morsewerke arbeiten durchgängig mit Relais, weil der Anschlag von sog. Direktschreibern für Eisenbahnstationen nicht laut genug sein würde.

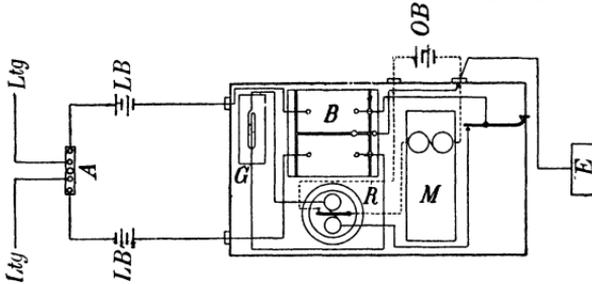


Abb. 1282. Schaltung der Morsewerke.

Die Schaltung der Morsewerke ist aus Abb. 1282 ersichtlich.

Die Widerstände werden in der Regel in nachstehenden Größen gewählt: Relais (R) 45...50 Ω , Stromfeinzeiger (Milliamperemeter) (G) 5...8 Ω , Schreiber (M) 15 Ω .

(2009) Batterien. Es werden Meidinger-Ballon-Elemente von etwa 22 cm Höhe verwendet. Ein solches Element hat einen Widerstand von 6...7 Ω und eine EMK von annähernd 1 V.

Die Batterien sind in Wandschränken mit Glastüren aufzustellen. Im Innern müssen diese Schränke mit weißem Ölfarben-Anstrich versehen sein, damit der Zustand der Elemente von außen leicht überwacht werden kann.

Für die Leitungs-Batterien (LB) werden in den Schränken besondere Ausschalter (A) angeordnet, mit denen die Telegrapheneinrichtung einschließlich der Batterie aus der Leitung ausgeschaltet werden kann, was die Feststellung von Fehlern in den Batterien und in solchem Falle die Aufrechterhaltung des ungestörten Betriebes der übrigen Stationen erleichtert.

(2010) Die Stromstärke in den Morseleitungen wird zweckmäßig zu 0,02 A bemessen, und zwar soll die Stromstärke in allen Leitungen die gleiche sein, damit die Relais vor der Inbetriebnahme stets auf eine und dieselbe ganz bestimmte Stromstärke eingestellt, auch erforderlichenfalls innerhalb der Stationen jederzeit gegenseitige Auswechslungen der Morsewerke vorgenommen werden können, ohne die Einstellung der Relais ändern zu müssen.

Soweit bei der unter (2012) und (2013) beschriebenen Anordnung der Zugmeldeleitung die einzelnen Leitungskreise so klein sind, daß sich bei der für den Betrieb der beiden Wecker erforderlichen Mindestzahl von 8 Elementen mit dem vorhandenen Widerstand die Stromstärke nicht auf 0,02 A herabdrücken läßt, muß zu diesem Zweck künstlicher Widerstand eingeschaltet werden. Auch ist es in diesem Falle gut, die Umschaltvorrichtung mit Widerständen gleich dem Widerstande des Morsewerks zu versehen, so lange das Morsewerk ausgeschaltet ist.

(2011) Kreisschlüsse in Eisenbahn-Telegraphenleitungen sollten richtigerweise zur Fernhaltung von Unzuträglichkeiten für die bediensteten Beamten stets unlösbar hergestellt werden. Lösbare Kreisschlüsse sind in der Hand der Beamten eine Quelle fortwährender Streitigkeiten. Auch Übertragungs-Ein-

richtungen sollten aus gleichen Gründen nur in den Leitungen für den großen Durchgangsverkehr angeordnet werden, aber auch nur da, wo die Anzahl der eingeschalteten Stationen beschränkt ist. Näheres über Übertragungs-Vorrichtungen siehe (1496/7) und Handbuch von Zetzsche: Bd. 4, § XXVIII.

(2012) Morseleitungen für den Zugmeldedienst müssen zur Fernhaltung von Mißverständnissen bei den Zugmeldungen Kreisschluß auf jeder Zugmeldestelle haben, erfordern demnach entweder zwei Morsewerke oder Umschaltvorrichtungen, mit denen ein und dasselbe Morsewerk je nach Erfodernis in den einen oder den anderen Kreis eingeschaltet werden kann. In letzterem Falle muß aber

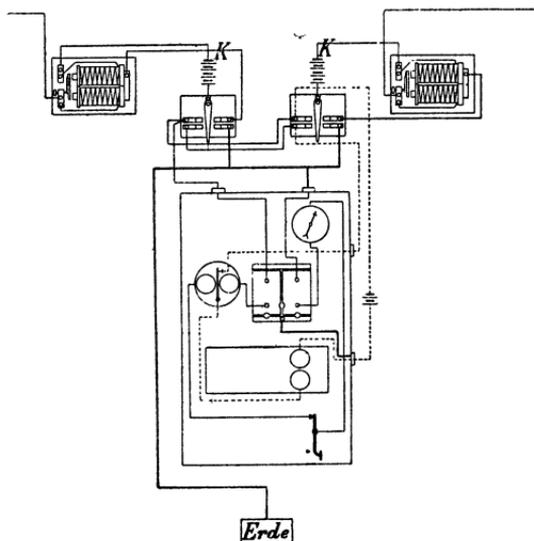


Abb. 1283. Einschaltung von Weckern in Morseleitungen.

auf jeder Zugmeldestelle für jeden der beiden anschließenden Leitungskreise je ein Wecker angeordnet werden, auf dem der Ruf bei ausgeschaltetem Morsewerk wahrgenommen wird. Eine derartige von Siemens & Halske angegebene Anordnung ist in Abb. 1283 dargestellt. Die Wecker bedürfen keiner besonderen Batterie, sondern werden unmittelbar in die Leitung eingeschaltet. Im Zustand der Ruhe ist der Anker angezogen; sobald die Leitung unterbrochen wird, fällt er ab, schließt aber dadurch die eigene Leitungsbatterie zu einem kurzen Kreise, in dem der Wecker als gewöhnlicher Selbstunterbrecher arbeitet. Die Umschalter unter-

brechen zugleich die Schreiberbatterie im Zustande der Ruhe. Um den gleichen Batteriepol an Erde zu haben, sind die Linienbatterien mit den gleichen Polen an den Umschalter gelegt. Bei Grundstellung der Umschalter fließt der Linienstrom nur über die Wecker-Elektromagnetrollen. Das Relais und der Stromfeinzeiger sind stromlos. Nach Unterbrechung des Leitungstromkreises seitens der rufenden Stelle (Umlegen des Umschalters) arbeitet der Wecker der anzurufenden Stelle mit Selbstunterbrechung. Die angerufene Stelle hat alsdann nur den Umschalter umzulegen, worauf beide Morsewerke eingeschaltet sind.

(2013) Die Läuteleitungen, bestimmt zur Mitteilung von Läutesignalen (Signale 1 bis 4 des Signalbuches) an das Bahnbewachungspersonal bei dem Abgange von Zügen und bei sonstigen die Strecke berührenden Vorkommnissen, sind bei jedem Wärterposten mit einem Lätewerke besetzt, meist mit zwei, zuweilen auch mit einer oder mit drei Glocken. Die Lätewerke sind mit elektromagnetischer Auslösevorrichtung versehen und geben bei jeder Auslösung eine Gruppe von Schlägen, meist fünf, zuweilen auch sechs und mehr, und je nach der Anzahl der auf den Lätewerken angebrachten Glocken als Einklänge, Zweiklänge oder Dreiklänge. Die Auslösevorrichtung muß unempfindlich sein gegen die durch vorüberfahrende Züge hervorgerufenen Erschütterungen; die Ankerabreißfeder muß daher stark angespannt werden, wodurch wiederum bedingt ist, daß die Stromquelle, die die Auslösung bewirken soll, entsprechend kräftig sein muß. Aus diesem Grunde werden als Stromerzeuger Siemenssche Magnetinduktoren für

gleichgerichtete Stromstöße, sog. Läute-Innduktoren, verwendet. Zur Einschaltung in die Leitung dienen federnde Einschaltetasten (Abb. 1284). Läutewerke und Läute-Induktoren sind in Zetzsches Handbuch der elektrischen Telegraphie, Bd. 4, S. 389—393, Fig. 307—314 bzw. S. 11, Fig. 8 und Schubert-Roudolf: Die Sicherungswerke im Eisenbahnbetriebe, Bd. 1, S. 97—103 beschrieben.

Ausnutzung der Läuteleitung als Zugmeldeleitung. Der Umstand, daß die Läutewerke nur mittels starker Induktionsströme ausgelöst wer-

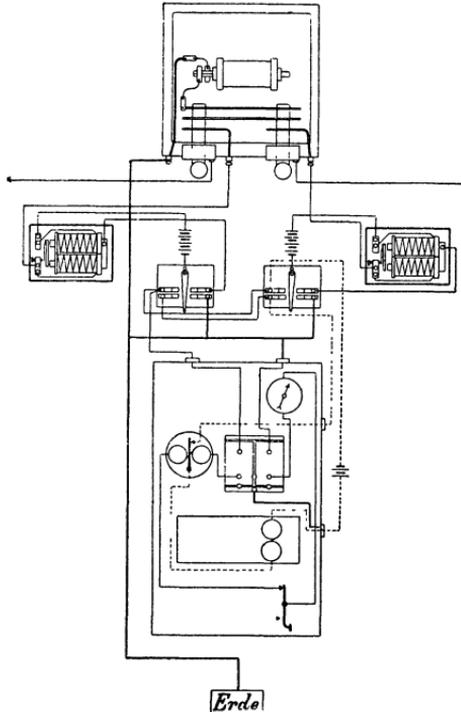


Abb. 1284. Federnde Einschaltetasten.

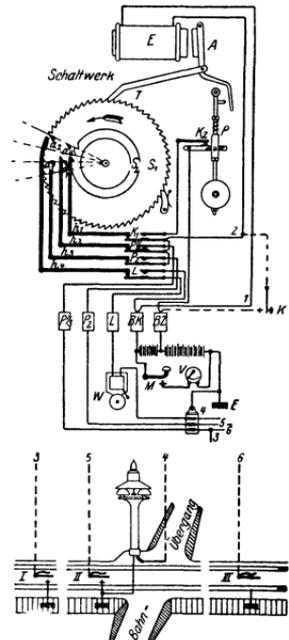


Abb. 1285. Selbsttätiges Läutewerk.

den und auf Ströme, wie solche zum Telegraphieren in Anwendung sind, nicht ansprechen, bietet den Vorteil, daß die Läuteleitung gleichzeitig für den Zugmeldedienst nutzbar gemacht werden kann, so daß es dann der Herstellung einer besonderen Zugmeldeleitung nicht bedarf.

In Abb. 1284 ist die Benutzung der Läuteleitung als Zugmeldeleitung unter Anwendung von Handumschaltern dargestellt.

Im übrigen wird auf die Erläuterungen in Zetzsches Handbuch der elektrischen Telegraphie, Bd. 4, S. 280 und 281 sowie Handbuch d. Ing.-Wissenschaften: 5. Teil, 6. Band, Mittelz. Sicherung des Betriebes, S. 107—259 verwiesen.

(2014) Selbsttätige Läutewerke. Auf Nebenbahnen und unbewachten Überwegen sowie zur Ergänzung der Streckenläutewerke auf Hauptbahnen an Stellen, an welchen Warnungstafeln nicht ausreichen, werden durch den Zug selbsttätige an- und abgeschaltete Warnungsläutewerke verwendet. Diese sind entweder mit Schwachstrom betriebene oder Läutewerke mit Kraftbetrieb. Die Wirkungsweise eines selbsttätigen Warnungsläutewerkes mit elektrisch gesteuertem, mechanischen Schaltwerk zeigt Abb. 1285. Beim Befahren des Schienenstromschließers *I*

(in angemessenem Abstand vor dem Überwege) wird das Lätewerk ausgelöst. Schaltrad S_1 und dessen Kranz S_2 machen $1/4$ Umdrehung links herum. Durch die Stifte a^1 bis a^4 werden die Hebel h_1 bis h_4 angehoben, Kontakte K_1 , $P^{1/3}$, P_2 und L geschlossen. Die Drehung von S_1 bewirkt der vom Elektromagneten E bewegte Stößer T . Beim Anziehen des Ankers A wird ein Pendel P angestoßen, dasselbe bleibt im Stromkreis Batterie Bk , 1, E , 2, K^1 , K^2 , BZ solange in Schwingung, bis K^1 durch h_1 unterbrochen wird. Beim Befahren des Schienenstromschließers I wird der Stromkreis Bk , 1, E , 2, $P^{1/3}$, Blitzableiter F , 3, I , Erde geschlossen. Es werden durch das von T bewegte Schaltwerk nacheinander h_2 , h_1 und h_4 angehoben. Durch letzteren ist das Lätewerk über Kontakt L ange-

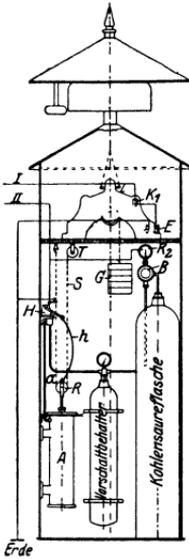


Abb. 1286. Lätewerk mit Kraftbetrieb.

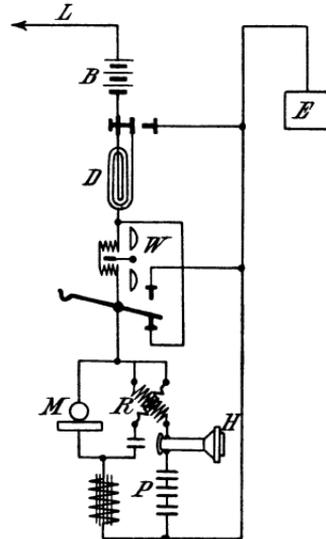


Abb. 1287. Eindrängige Schaltung für Fernsprecher.

schaltet (Stromlauf: Bk , L , W , 4, Lätewerk, Erde). Durch a_3 ist dann h_3 angehoben und P_2 angeschaltet.

Beim Befahren von II wird der Stromkreis Bk , 1, E , 2, P_2 , 5, II , Erde geschlossen, S_1 weiterbewegt und P_2 und L geöffnet. Das Lätewerk ist alsdann abgeschaltet.

Beim Befahren von III wird das Schaltwerk nochmals bewegt, um nach $3/4$ Umdrehung die Grundstellung wieder einzunehmen. Im übrigen vgl. Schuberth-Roudolf: Sicherungswerke im Eisenbahnbetriebe, 1. Bd., §§ 69... 72.

(2015) Lätewerke mit Kraftbetrieb. An Stellen, an welchen die Lautstärke schwachstrombetriebener Lätewerke nicht ausreicht und Netzanschluß zur Verfügung steht, werden sehr laut tönende Motorlätewerke verwendet. Das Hammerwerk ist entsprechend größer. Der Motor kann je nach dem örtlichen Bedürfnis von einem vor dem Überweg belegenen Bahnwärter- oder Stellwerkhaus oder durch den Zug an- und abgeschaltet werden. Vielfach ist mit dem Motorlätewerk ein Lichtsignal verbunden, das in Richtung des Überweges beiderseits während des Ertönsens des Lätewerkes rotes Licht zeigt.

An Stellen, an denen elektrische Kraft nicht zur Verfügung steht, kommen Kohlensäure-Lätewerke zur Verwendung. Ihre Wirkungsweise zeigt Abb. 1286. Wird durch Befahren des in der Fahrriichtung ersten Schienenstromschließers

das Schaltwerk angeschaltet und der Elektromagnet E stromführend, so wird das Läutwerk ausgelöst. Das Gewicht G läuft ab. Im Zylinder A befindet sich eine Kolbenstange, deren Ende die Rolle R für das über T an G geführte Seil S trägt. Der biegsame Hebel h öffnet bei Tieflage von G einen Ventilschnapphalter, so daß Kohlensäure aus dem Vorschaltbehälter über den Kolben treten und diesen empordrücken kann. Das Läutwerk ertönt nach Befahren des Schienenstromschliebers I durch die 1. Zugachse solange, bis der Schienenstromschlieber II (Leitung II) befahren wird. Nach Anbringung eines III. Schienenstromschliebers (parallel zu I) kann die Einrichtung für eingleisige Strecken verwendet werden.

(2016) Streckenfernsprechanlagen. Die meisten deutschen Eisenbahnverwaltungen haben ihre Haupt- und verkehrreicheren Nebenbahnen mit Streckenfernsprechern dergestalt ausgerüstet, daß von einem Bahnhof zum andern je eine Streckenfernsprechdoppelleitung durchgeschaltet ist, an welche alle zwischenliegenden Schranken-, Block-, und Stellwerk-Wärterposten angeschlossen sind. Eine auf Nebenbahnen vielfach noch vorhandene eindrähtige Schaltung mit Erde zeigt Abb. 1287. Diese Anordnung mit hintereinander geschalteten Sprechstellen verwendet ein System mit zentralisierter Mikrofonbatterie, d. h. nicht jede Sprechstelle erhält eine besondere Mikrofonbatterie, sondern nur eine zur Speisung aller Mikrophone eines Sprechkreises ausreichende Batterie wird auf einer oder beiden den Sprechkreis begrenzenden Endstellen aufgestellt. Der Strom dieser Batterie durchfließt dauernd die Leitung und die eingeschalteten Sprechstellen, Polarisationszellen oder Kondensatoren und Drahtrollen mit hoher Selbstinduktion. Letztere, in die innern Verbindungen der Sprechstellen eingefügt, sorgen dafür, daß beim Sprechen der Gleichstrom nur durch das Mikrophon, die durch die Schwingungen des Mikrophons erzeugten Wechselströme nur durch die primären Windungen der eigenen Induktionsrolle und die in den sekundären Windungen erzeugten Ströme nur in die Leitung und in die Hörer gelangen.

Neuere Streckenfernsprechanlagen sind für Parallelschaltung eingerichtet. Ihnen und den vorbesprochenen haftet der Übelstand an, daß der Anruf auf allen Zwischenstellen ertönt und infolge Gewöhnung an das häufige Wecken das eigene Rufzeichen oft überhört wird.

Eine Streckenfernsprechanlage für wahlweisen Anruf zeigt Abb. 1288. Sie erfordert zwei Leitungen und eine Rückleitung. Die innere Schaltung des Fernsprechers gleicht der allgemeinen. Den wahlweisen Anruf ermöglicht ein Zeigerwerk R . In der Grundstellung stehen die Zeiger aller Sprechstellen auf 0. Wird an einer Stelle, z. B. an 3, die Kurbel des Induktors bei angehängtem Hörer gedreht, so laufen alle Zeigerwerke mit. Die anrufende Stelle dreht zunächst bei angehängtem Hörer solange, bis der Zeiger von R über der Zahl der gewünschten Sprechstelle 9 liegt. Auf dieser ist dann der Kontakt K geschlossen. Hierauf hebt die Anrufstelle den Hörer ab, Leitung Lb und die parallel angeschalteten Zeigerwerke R sind abgeschaltet. Bei Weiterdrehung des Induktors ertönt Wecker 9. Nach Beendigung des Gesprächs (Anhängen der Hörer) dreht Stelle 3 alle Zeiger R auf 0 zurück.

(2017) Elektrische Überwachung der Fahrgeschwindigkeit. Die zur Überwachung der Fahr- und Aufenthaltszeiten der Züge früher benutzten Einrichtungen, die, in den Zügen mitgeführt und an der Lokomotive befestigt, diese Zeiten auf mechanische Weise aufzeichneten, entbehren bis jetzt noch der wünschenswerten Zuverlässigkeit. Es werden deshalb auf solchen Strecken, deren zu schnelles Befahren die Sicherheit der Züge gefährdet, am Gleis in gleichen Abständen Schienenstromschließer angebracht, die, durch den darüber hinwegfahrenden Zug in Tätigkeit gesetzt, den Stromkreis einer auf der Überwachungsstelle aufgestellten Batterie schließen, in den der Elektromagnet eines Schreibwerkes mit genau gleichmäßig sich fortbewegendem Papierstreifen eingeschaltet ist. Der Elektromagnet zieht seinen Anker an und preßt die daran

angebrachte Schreibvorrichtung gegen den Papierstreifen, wodurch auf diesem ein Zeichen (Lochung oder Strichzeichen) hervorgerufen wird. Aus dem Abstände der einzelnen Zeichen läßt sich mit Hilfe eines Maßstabes die Geschwindigkeit des Zuges genau feststellen.

Die Schienenstromschließer werden meist in Abständen von 1000 m angebracht; jedoch werden auf sehr langsam zu befahrenden oder sehr kurzen Strecken zur Erzielung größerer Genauigkeit auch 500 bis 150 m Abstand gewählt.

Die Maßstäbe müssen so eingerichtet sein, daß mit ihnen unmittelbar die Geschwindigkeit in Kilometern für die Stunde abgelesen werden kann.

Die Schienenstromschließer kommen in den mannigfachsten Formen zur Anwendung, jedoch lassen sich zwei Hauptgattungen unterscheiden: solche, die

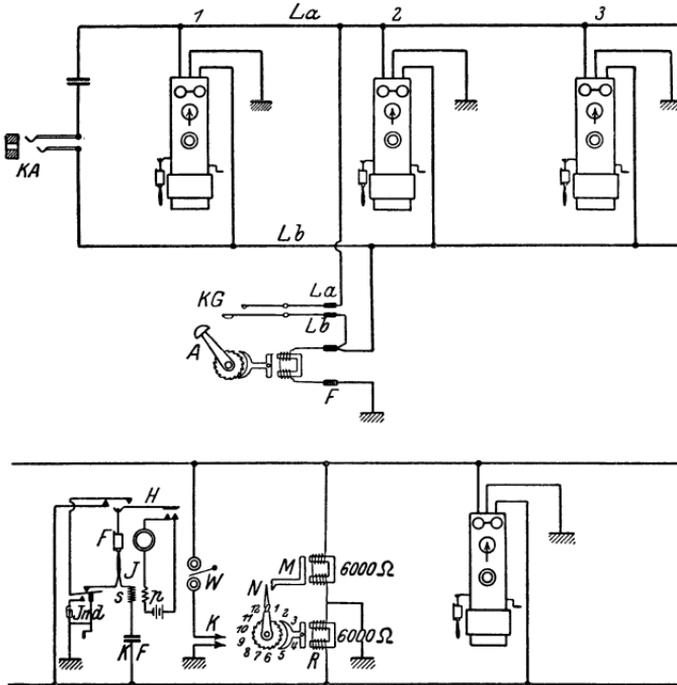


Abb. 1288. Schaltung eines Fernsprechers mit wahlweisen Anruf.

durch die darüber hinwegrollenden Räder unmittelbar bewegt werden, und solche, deren Bewegung auf der Durchbiegung der Schienen beruht. Bei der ersten Gattung kommt es vor allem darauf an, daß die bewegten Teile möglichst leicht gebaut sind, weil schwere Massen bei den heftigen Stößen, denen die Einrichtungen bei schnellfahrenden Zügen ausgesetzt sind, zu starkem Verschleiß unterworfen sein würden. Einen diesen Anforderungen in jeder Beziehung gerecht werdenden und für alle nicht elektrisch betriebenen Bahnen betriebssicheren Schienendurchbiegungskontakt (Abb. 1289) hat Siemens hergestellt.

Der Schienenstromschließer ist ein am Schienenfuß befestigter Apparat, der die Durchbiegung der Schiene zwischen zwei Schwellen ausnutzt zur Herstellung eines Kontaktschlusses. Die neueste Form ist der Platten-Schienenstromschließer von Siemens (Abb. 1289). Das Kontaktgefäß besteht aus zwei hohl ausgedrehten schmiedeeisernen Platten *a* und *b*, die an dem Rande

zusammengeschweißt und am Gußkörper *d* mit zwei Schrauben *c* befestigt sind. Der kleine Hohlraum *q* zwischen den Platten erfordert nur eine geringe Menge Quecksilber. Der Gußkörper *d* ist mit Bolzen *z* am Schienenfuße befestigt. Ein in die Platte *a* eingeschraubtes Kontaktgefäß *e* enthält das Steigrohr *k* für das Quecksilber und das mit einem Kugelabschluß *n* versehene Abfallrohr *o* für das Quecksilber. Ein Hartgummideckel *f* schließt das Gefäß *e* ab. Eine Feder, die am Stift *p* befestigt ist, drückt den Deckel an das Gefäß *e*. Kontaktstift *l* und Anschlußklemme *h* sind am Deckel *f* befestigt.

Drückt beim Befahren der Schiene der Stempel *s* die Platte *a* durch, so geht das Quecksilber im Rohr *k* bis zum Kontaktstift *l* und gibt Stromschluß. Aus *k* überfließendes Quecksilber geht durch den Kugelabschluß *n* wieder in das Steigrohr zurück; das Quecksilber kann in dem Rohr *o* nur abfließen, nicht aufsteigen. Die Spindel *m* im Steigrohr *k* läßt das Quecksilber nur allmählich steigen unter dem Druck des Fahrzeuges, dadurch wird erreicht, daß durch einen Schlag auf die Schiene das Quecksilber keinen Kontaktschluß bewirken kann. Eine Haube *i* und ein Dichtungsring *x* schützen den Apparat (vgl. Schubert-Roudolf: Sicherungswerke im Eisenbahnbetrieb, 1. Bd., S. 308—311).

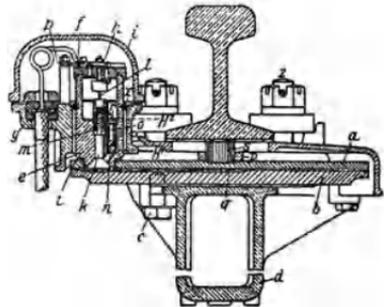


Abb. 1289. Schienenstromschließer von Siemens.

Der Schienendurchbiegungs-Kontakt (DRP. Nr. 93492) von Jüdel & Co. in Braunschweig. Im Gegensatz zu dem vorherbeschriebenen von Siemens & Halske, der durch die verhältnismäßig geringe Durchbiegung der Schiene zwischen zwei Schwellen in Tätigkeit tritt und deshalb sehr großer Übersetzung

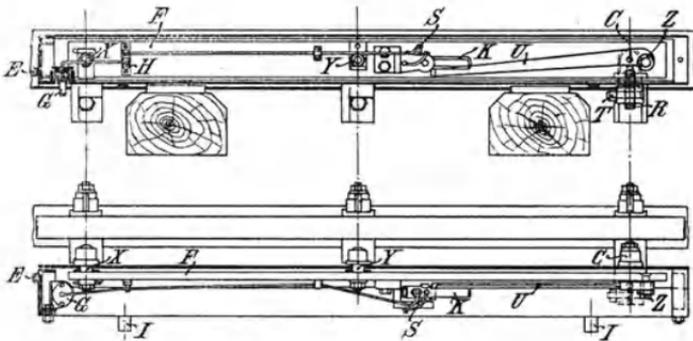


Abb. 1290. Schienendurchbiegungs-Kontakt.

bedarf, tritt bei diesem in der Abb. 1290 dargestellten Kontakt der Stromschluß infolge der Durchbiegung der Schiene zwischen zwei Punkten ein, die zwei verschiedenen Schwellenteilungen angehören. Den Hauptträger des Kontaktes bildet das Flacheisen *F*, das bei *X* und *Y* an die Fahrchiene durch Krampen und Bolzen fest angeklammert ist, während es mit dem rechten Ende, wo es den um den Bolzen *Z* schwingenden Übersetzungshebel *U* trägt, frei schwebt. Dieser Hebel *U* drückt mit seinem linken Ende unter den drehbar gelagerten eigentlichen Kontakthebel *K* und stützt sich gegen die Reglerschraube *R*, die bei *C* gleichfalls durch eine Krampe mit der Schiene fest verbunden ist. Wird nun die Schiene

bei Y durch ein Fahrzeug belastet, so weicht Punkt Y nach unten, X nach oben aus, wodurch Z nach unten geht. Andererseits bewegt sich der Druckpunkt R nach oben, und der Hebel U hebt das rechte Ende des hohlen mit Quecksilber gefüllten Kontakthebels K dessen Eigengewicht entgegen nach oben, wodurch das Quecksilber den isolierten Kontaktstift S (Abb. 1291 a Kontakthebel K_a) mit dem Gußkörper der Vorrichtung in leitende Verbindung bringt. Der Stift S ist mit der in der Nähe der Kabeleinführung C sitzenden isolierten Anschlußklemme H durch eine elastische Schnur verbunden. Die Vorrichtung ist durch ein

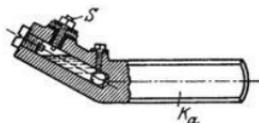


Abb. 1291 a.



Abb. 1291 b.

bei X und Y gestütztes \perp -Eisen, das mit einer erweiterten Öffnung über den mittleren Bolzen Y greift, sowie durch eine Blechkappe gegen Witterungseinflüsse, böswillige oder unbeabsichtigte Kontaktgebungen geschützt.

Dieser Kontakt kann auch für Ruhestrom dienen, in welchem Falle statt des Kontakthebels K_a der Hebel K_r (Abb. 1291 b) benutzt wird.

Die zurzeit am meisten in Verwendung stehenden Schreibwerke für Fahrgeschwindigkeitsüberwachung sind diejenigen von Siemens & Halske.

Die Wirkungsweise des Fahrgeschwindigkeitsmessers mit Halbsekundenpendel von Siemens & Halske zeigt Abb. 1292. Der täglich auf die Trommel T

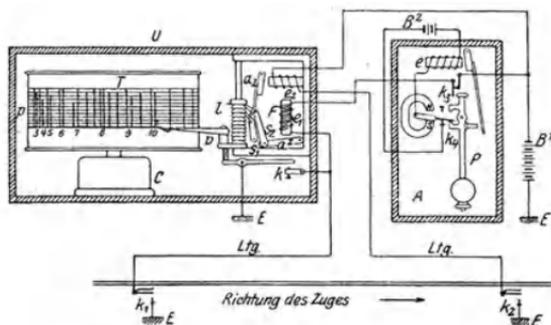


Abb. 1292. Fahrgeschwindigkeitsmesser mit Halbsekundenpendel.

zu legende Papierstreifen wird durch ein Uhrwerk C weiter bewegt. Die elektrischen Einrichtungen sind folgende: Im Gehäuse A befindet sich das elektrische pendel P , das durch Batterie B^2 , Elektromagnet e und den Steuerkontakt k_4 dauernd halbsekundlich pendelt. Der Papierstreifen, dessen Senkrechten die 24 Stunden des Tages und dessen Wagerechten die Geschwindigkeiten von 10 km/h aufwärts darstellen, wird von einem Schreibzeiger v bestrichen, wenn ein Zug fährt. v steht mit einem Steigewerk S in Verbindung. Letzteres enthält eine Spindel l , die Elektromagnete e_1 und e_2 nebst Anker a^1 und a^2 und die Hebel s_1 und s_2 . Wird Schienenstromschließer k_1 befahren, so fließt aus Batterie B^1 Strom über k_3 , e_1 , k_1 zur Erde. Die halbsekundliche Unterbrechung bei k_3 bewirkt ein halbsekundliches Anheben von a_2 und s_2 , wobei l zahnweise steigt und v einen senkrechten Strich zieht. Bei beginnendem Steigen wird k_3 geschlossen. Sobald die Zugspitze den Schienenstromschließer k_2 erreicht, wird über B^1 , e_2 ,

k_2 und Erde der Anker a_2 angezogen und s_2 ausgehoben, so daß l und v herunterfallen. Der wagerechte Strich des Zeigers v registriert die Geschwindigkeit und Fahrzeit zwischen den Kontakten. Der Abstand von k_1 und k_2 ist so zu bemessen, daß die vorgeschriebene Fahrzeit 16 Halbsekunden = 8 s ist. Er muß für die an der Registrierstrecke innezuhaltende Geschwindigkeit errechnet werden nach

der Formel: $a = \frac{s \cdot c}{t}$ in m, worin

s die vorgeschriebene Fahrzeit = 8 s,

c die vorgeschriebene Geschwindigkeit m/h,

$t = 3600$ s ist.

Bleibt der wagerechte Strich unter der für 8 s festgesetzten Mindesthöhe, so ist die Fahrgeschwindigkeit überschritten.

(2018) Block-Einrichtungen. Die Blockeinrichtungen werden unterschieden in solche der Stations- und der Streckenblockung.

a) Stationsblockung. Sie bezweckt die Sicherung der Zugfahrten innerhalb der Bahnhöfe. Die Bedienung der Ein- und Ausfahrtsignale auf Bahnhöfen durch die damit betrauten Fahrdienstleiter und Stellwerkwärter erfolgt in jedem Falle entweder selbständig durch den Fahrdienstleiter oder auf dessen ausdrücklichen Befehl. Auf kleineren Bahnhöfen zweigleisiger Strecken, deren Weichenanordnung eine derartig einfache ist, daß ein- und ausfahrende Züge keine Weichen gegen die Zungenspitze zu befahren haben, wo also eine Ablenkung der Züge aus dem durchgehenden Gleise ausgeschlossen ist, kann dieser Befehl zur Fahrstellung des Einfahrtsignals durch Fernsprecher oder telegraphisch oder auch mittels Fallscheiben oder durch Klingelzeichen erteilt werden. Bei Ausfahrten erfolgt der Befehl in der Regel durch Fernsprecher. Anders verhält es sich bei Bahnhöfen mit spitzbefahrenen Eingangswweichen, also bei sämtlichen Bahnhöfen eingleisiger Strecken und bei denjenigen Bahnhöfen zweigleisiger Strecken, auf denen die Ein- und Ausfahrten nach und von verschiedenen Gleisen stattfinden, oder bei denen Ein- und Ausfahrten aus und nach verschiedenen Richtungen und Überholungen stattfinden. Hier müssen die Signalvorrichtungen nicht nur in Abhängigkeit stehen von den für die Fahrstraße in Betracht kommenden Weichen- und den übrigen Signalstellvorrichtungen, so daß die Herstellung des Fahrsignals nur bei richtig eingestellter Fahrstraße sowie abweisendem Verschuß aller in die Fahrstraße führenden Weichen der Nachbargleise und bei Haltstellung der für die Fahrstraße feindlichen Signale möglich ist, sondern die Herstellung des Fahrsignals darf auch nicht möglich sein ohne die Zustimmung der etwa außerdem noch vorhandenen für die Fahrrichtung in Betracht kommenden Zustimmungsstellen des Bahnhofes und der angrenzenden Strecke. Diese Abhängigkeit von entfernten Stellen wird durch elektrische Verschuß- und Freigabevorrichtungen, die sog. Blockwerke, erreicht. Auf jeden derartig in Abhängigkeit zu bringenden Hebel wirkt ein besonderes Blockfeld, das durch eine besondere Leitung mit einem Blockfeld an der entfernten Stelle verbunden ist. Die Lösung eines solchen abhängigen Verschlusses kann nur durch Bedienung des an der entfernten Stelle befindlichen Blockfeldes bei gleichzeitigem Verschuß etwa vorhandener für die Fahrrichtung feindlicher Ausschlüsse bewirkt werden, die nicht eher wieder gelöst werden können, als bis das freigegebene Signal wieder in der Grundstellung verschlossen ist.

Wenn dem Fahrdienstleiter auch die Beaufsichtigung des Rangierdienstes oder anderer Bahnhofsteile obliegt, kann er sich nicht dauernd an der Signalfreigabestelle aufhalten; er muß dann die Bedienung des Freigabeblockwerks einem anderen Bediensteten überlassen. In diesem Falle erhalten die Blockwerke eine Zusatzeinrichtung, durch die sie so lange gesperrt, d. h. unbedienbar sind, bis der Fahrdienstleiter mit einer besonderen Vorrichtung — Nebenbefehlstelle —, die sich an beliebiger oder an mehreren Stellen im Bereiche seiner Außerthätigkeit befinden kann, die Sperre des Signalfreigabefeldes durch Auslösung einer

darüber angeordneten Stationstastensperre löst, dessen Bedienung er anordnen will. Nach der Bedienung des Signalfreigabefeldes nimmt die Stationstastensperre wieder die Sperrlage ein. Ohne Wissen und Willen des Fahrdienstleiters kann also auch in diesem Falle eine Freigabe nicht erfolgen.

Auf allen Bahnhöfen mit spitzbefahrenen Weichen muß verhindert werden, daß nach Zurücknahme des Fahrsignals die Fahrstraße entriegelt werden kann, bevor sie der Zug vollständig verlassen hat, d. h. die Weichen unter dem fahrenden Zuge umgestellt werden, weil dadurch Entgleisungen herbeigeführt werden würden. Auch diese Aufgaben erfüllen die Blockwerke in vollkommener Weise. Die Einrichtung wird dann so getroffen, daß das mit dem Blockwerk freigegebene Signal erst dann auf „Fahrt“ gestellt werden kann, nachdem an der Signalbedienungsstelle durch ein besonderes Blockfeld der dem Signal entsprechende Fahrstraßenhebel in der verriegelnden Stellung elektrisch festgelegt ist. Die Lösung dieses Verschlusses erfolgt entweder von einer anderen Stelle, die mit Sicherheit zu beurteilen vermag, ob der ein- oder ausfahrende Zug die Fahrstraße vollständig verlassen hat, oder wo eine solche Stelle fehlt, durch den Zug selbst beim Befahren eines hinter der letzten Weiche befindlichen Schienenstromschliebers in Verbindung mit einer isolierten Schienenstrecke.

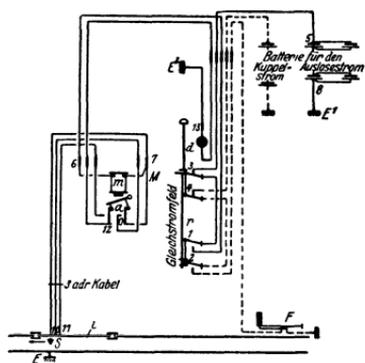


Abb. 1293. Schaltung der isolierten Schienenstrecke.

Die isolierten Schienenstrecken sind so geschaltet, daß erst, nachdem der ganze Zug den Kontakt befahren hat, der Stromschluß zur Lösung der Sperrvorrichtung erfolgen kann. Zu diesem Zwecke ist da, wo der Schienenstromschließer angebracht ist, eine Seite des Gleises auf zwei Schienenlängen von der Erde isoliert. Das heißt, die Verbindung mit den beiderseits anschließenden Schienen ist durch starke Holzlaschen statt durch Eisenlaschen hergestellt; zwischen den Schienenstößen sind starke Lederzwischenlagen eingefügt; die Schwellen — in diesem Falle keine eisernen, sondern mit Teeröl gut durchtränkte Holzschwellen — werden in durchlässigen Steinschlag gebettet; die Schienen dürfen die Bettung nicht berühren. Es ist das zwar keine vollkommene Isolierung, aber der Übergangswiderstand zur Erde wird auf diese Weise doch so beträchtlich erhöht, daß man mit dem Unterschiede rechnen kann. Diese isolierte Schienenstrecke ist in die von der Batterie nach der zu lösenden Sperre führende Leitung eingeschaltet, die aber durch einen gleichfalls eingeschalteten Magnetschalter im Ruhezustande unterbrochen gehalten wird (Abb. 1293). Beim Befahren des Schienenstromschliebers wird der Magnetschalter betätigt und dadurch die Leitung nach der Sperre geschlossen. So lange aber der Zug noch die isolierte Schienenstrecke befährt, stellt er durch die Wagenachsen eine metallische Verbindung zwischen der isolierten und der nicht isolierten Seite des Gleises her, wodurch der Batteriestrom kurz geschlossen wird, so daß er den Elektromagnet der zu lösenden Sperre nicht durchfließen kann. Erst wenn die letzte Achse des Zuges die isolierte Schienenstrecke verlassen hat, wird dem durch den Schienenstromschließer geschlossenen Strom der Weg nach dem Elektromagnet der Sperre geöffnet.

Der Strom zum Lösen der Sperre wird außerdem über Kontakte am Fahrstraßenfeld und an den abhängigen Fahrstraßenhebeln geführt, so daß der Stromweg nur geschlossen ist, wenn der Fahrstraßenhebel in umgelegter Stellung durch das geblockte Fahrstraßenfestlegefeld festgelegt ist. Die vorbeschriebene Gleichstromfahrstraßenfestlegung wird in der Regel nur für die Ausfahrten an-

gewendet, für Einfahrten erfolgt die Fahrstraßenfestlegung mittels eines Wechselstromblockfeldes an der Signalbedienstelle (Fahrstraßenfestlegefeld) und eines mit diesem zusammenarbeitenden Fahrstraßenauflösefeldes. Letzteres befindet sich an einer Stelle, die beurteilen kann, ob die Einfahrstraße merkszeichenfrei durchfahren ist. Die grundsätzlichen Schaltungsabhängigkeiten zwischen den Einfahrtsignal- und Fahrstraßenfeldern (Wechselstrom) zeigt Abb. 1294. Die Signalfreigabefelder in der Befehlstelle sind in der Grundstellung bei roter Farbscheibe frei, die Signalfestlegfelder im Endstellwerk bei roter Farbscheibe geblockt. A^1 und A^2 schließen sich durch einen von den Riegelstangen r gesteuerten Blockschieber gegenseitig aus. Die Bedienungsvorgänge sind zwangsläufig folgende:

1. Freigabe A_1 in der Befehlstelle, Stromlauf 1...7.
2. Endstellwerk stellt die Fahrstraße her, legt den Fahrstraßenhebel a_1 um und bedient Fahrstraßenfestlegefeld. Stromlauf 8...13, 6, 5, 14.
3. Signalfeld A_1 wird umgelegt und dabei Kontakt 10 unterbrochen.
4. Nach Einfahrt des Zuges erfolgt Zurücklegung des Signalhebels und Auflösung der Fahrstraße durch Bedienen des Auflösefeldes $a^{1/2}$ in der Befehlstelle. Stromlauf 1, 12 bis 9, 16, 5 bis 7. Hiernach kann

5. das Signalfestlegefeld A_1 wieder geblockt werden. Stromlauf 8, 3, 12, 6, 5, 14.

Für jede Gruppe von Fahrstraßen, die sich gegenseitig ausschließen, bedarf es in der Regel nur eines Fahrstraßenfestlegefeldes.

Die auf den deutschen Bahnen bisher ausschließlich im Gebrauch

befindlichen Blockwerke von Siemens & Halske werden in ihrer grundsätzlichen Form beschrieben in: Eisenbahntechnik der Gegenwart, II. Band, IV. Abschnitt, S. 1347—1377. — Scheibner: Die mechanischen Sicherheitstellwerke, 2. Band, Abschn. II u. IV. — Scheibner: Handbuch der Ing.-Wissenschaft; Eisenbahnbau, 6. Band, Betriebseinrichtungen, S. 1008 u. f.; Zeitschr. f. d. Eisenbahnsicherungswesen (Das Stellwerk), Jahrg. 1912 u. f. — Schubert-Roudolf: Die Sicherungswerke im Eisenbahnbetriebe, 1. Band, Abschn. VI, S. 265 u. f.

b) Streckenblockung. Außer für die Sicherstellung des Verkehrs innerhalb der Bahnhöfe finden die Blockwerke auf Bahnlinien mit lebhaftem Zugverkehr auch Verwendung zur Regelung der Zugfolge im Raumabstand. Jeder Bahnabschnitt, innerhalb dessen sich immer nur ein Zug bestimmter Richtung bewegen darf, ist durch ein Signal gedeckt. Jedes dieser Signale wird nach Einfahrt des Zuges in den vorliegenden Streckenabschnitt so lange durch das Anfangfeld in der Haltstellung verschlossen, bis es von der vorliegenden Blockstelle (Zugfolgestelle) durch Abgabe der Rückblockung wieder freigegeben ist. Diese Streckenblockwerke müssen aber so eingerichtet sein, daß

- a) die Signale am Anfang der Blockstrecken (Ausfahrtsignale) nur eine einmalige Fahrtstellung nach jeder elektrischen Freigabe zulassen und die Haltstellung hinter dem ausgefahrenen Zuge sowie die elektrische Festlegung des Signals eine erzwungene ist;
- b) die elektrische Freigabe des rückliegenden Signals (Rückmeldung) nur einmal und nur nach tatsächlich erfolgter Einfahrt des Zuges und nach vorausgegangener Fahrt- und Haltstellung des eigenen Signals (Einfahrts- oder Blocksignals) möglich ist.

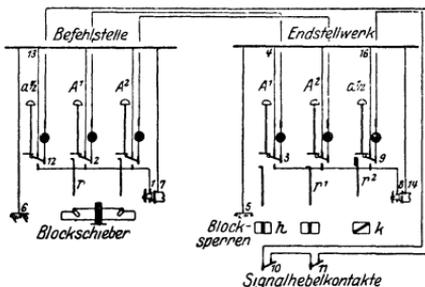


Abb. 1294. Schaltungsabhängigkeit zwischen Einfahrtsignal- und Fahrstraßenfeldern.

Diese Bedingungen werden erfüllt unter Mitwirkung der Züge selbst. Zu a wird auf elektrischem Wege hinter dem ausgefahrenen Zuge beim Befahren eines Gleiskontaktes die Kupplung zwischen Signalflügel und Signalstellvorrichtung gelöst, so daß der Signalflügel von selbst in die Haltstellung zurückfällt, und eine wiederholte Fahrtstellung nur möglich ist, wenn zunächst das Signal in der Haltstellung elektrisch verschlossen wird, der Zug tatsächlich die nächste Zugfolgestelle erreicht und diese demnächst den elektrischen Verschluß des Ausfahrtsignals wieder aufgehoben hat. Zu b löst der Zug bei der Einfahrt durch Befahren eines Gleiskontaktes auf elektrischem Wege eine die Abgabe der Rückmeldung verhindernde Sperre (Tastensperre). Durch Abgabe der Rückmeldung wird das eigene Signal auf Halt verschlossen.

Die Streckenblockwerke sollen in der Regel in unmittelbarer Verbindung mit den Signalstellvorrichtungen angebracht werden. Befinden sich diese nicht im Stationsdienstraum — was auf den meisten Stationen zutrifft —, so werden besondere mit Batteriestrom betriebene Spiegelfelder angebracht, welche dem Fahrdienstleiter die Stellung der Streckenblockfelder anzeigen (2024).

Die Streckenblocklinien werden mit zwei Leitungen betrieben, und zwar haben die Signale jeder Fahrriichtung eine besondere Leitung.

Ein Schaltungsschema für einen Bahnhofblock in Verbindung mit Streckenblock ist in Abb. 1295 dargestellt.

Näheres über Streckenblockung siehe: Eisenbahntechnik der Gegenwart, II. Band, IV. Abschnitt, S. 1415...1484. — Scheibner: Die mechanischen Stellwerke, II. Bd., IV. Abschnitt. — Schubert-Roudolf: Die Sicherungswerke im Eisenbahnbetriebe“, I. Bd., S. 265...372.

Die Streckenblockstellen werden zugleich als telegraphische und Fernsprech-Hilfsstellen eingerichtet, damit in Störungsfällen ein Verständigungsmittel zwischen Station und Blockstelle vorhanden ist.

Um zu verhindern, daß die Rückmeldung von der folgenden Blockstelle früher eingeht, als die eigene Rückmeldung gegeben ist, in welchem Falle dem nächsten Zuge derselben Richtung ein unnötiger Aufenthalt erwachsen würde, müssen die Blockwerke so eingerichtet sein, daß gleichzeitig mit der Freigabe der rückliegenden Strecke eine Vormeldung nach der vorliegenden Zugfolgestelle erfolgt, wodurch daselbst eine Sperre gelöst wird, welche die vorherige Abgabe der Rückmeldung verhindert.

(2019) Blockapparate. Ein Blockwerk (Abb. 1296) besteht aus dem Blockkasten *a* mit den Blockfeldern und dem Induktor. An den Blocktasten *c* sitzen Druckstangen *b*. Jedes Blockfeld hat ein Blockfenster *e* mit einer roten bzw. weißen Blockscheibe *f*, die den geblockten oder freien Zustand des Blockfeldes anzeigt. Auf dem Blockschild *g* ist die Fahrt, für die das Blockfeld gilt, angegeben. *d* ist die Kurbel des Induktors. Auf der Rückwand des Kastens *k* sitzen Blitzableiter, Wecker, Zählwecker, Spiegelfelder, Wecktasten usw.

Man unterscheidet nach der baulichen Anordnung Wechselstromfelder und Gleichstromfelder, nach der örtlichen Verwendung Stationsblockfelder und Streckenblockfelder. Die Wechselstromfelder werden mit Induktorstrom betätigt; dadurch werden Fremdströme von den Blockfeldern ferngehalten, die durch Berührung der oberirdischen Blockleitungen mit Telegraphen oder andern Gleichstromleitungen entstehen.

(2020) Stationsblockung. Durch die Stationsblockung werden die Hauptsignale in der Haltstellung verschlossen und die gleichzeitige Freigabe feindlicher Signale unmöglich gemacht. Die Fahrtstellung der Signale wird durch den Fahrdienstleiter bewirkt, und zwar durch Signalfelder. Zu jedem unter Blockverschluß liegenden Signal gehören zwei Blockfelder, das Signalfestlegefeld und das Signalfreigabefeld. Mit dem ersten werden die Fahrstraßenhebel und durch diese die Signale in der Haltstellung festgelegt, mit dem zweiten werden die Signalfestlegfelder entblockt und der Auftrag zum Ziehen des Fahrsignals erteilt. Die Signalfest-

legfelder sind meistens im Wärterblock des Endstellwerkes, das vom Befehlsstellwerk abhängig ist, die Signalfreigabefelder im Block der Befehlsstelle.

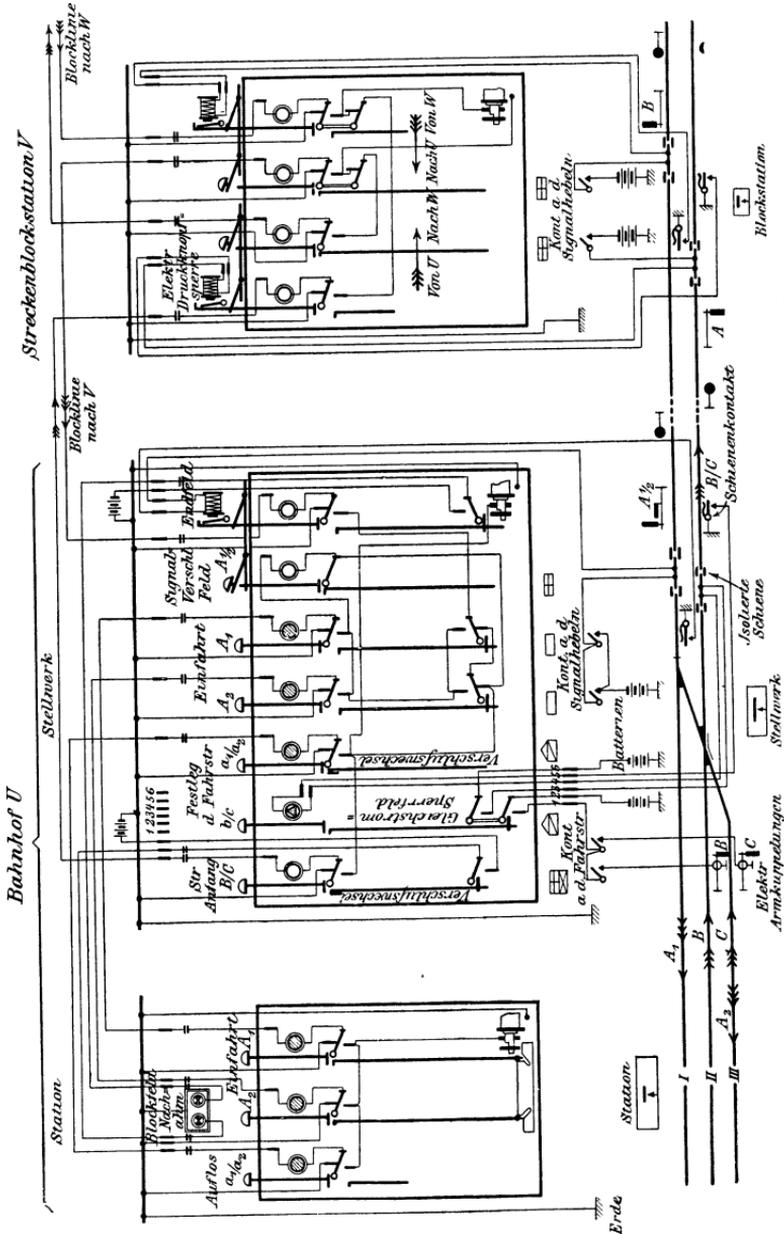


Abb. 1295. Schaltung für einen Bahnhofblock in Verbindung mit einem Streckenblock.

In Preußen müssen nach „der Anweisung für das Entwerfen von Eisenbahnhauptstationen“ auf den Hauptbahnen alle Einfahrtsignale, die nicht vom Fahrdienst-

leiter bedient werden oder deren Bedienung nicht mündlich von ihm angeordnet wird, unter Blockverschluß des Fahrdienstleiters liegen. Bei Nebenbahnen ist eine Blockung der Einfahrsignale nicht nötig. Ausfahrtsignale sind nur dann zu blocken, wenn sie für den Ausschluß feindlicher Zugfahrten erforderlich sind.

Bei der Stationsblockung haben alle Stellen zuzustimmen, die bei Zulassung einer Fahrt mitwirken. Dies wird erreicht durch die Zustimmungsfelder. Die Zustimmung wird durch zwei Blockfelder erzielt. Das eine der zwei zusammen arbeitenden Felder ist in dem Blockwerk, das die Zustimmung gibt, und heißt Zustimmungsbgabefeld. Es verschließt einzelne Weichen, Fahrstraßen oder feindliche Signale. Das andere ist das Zustimmungsempfangsfeld. Es ist in dem Blockwerk, welches die Zustimmung erhält, in der Regel in der Befehlsstelle und macht die Bedienung eines Signals von der vorherigen Sicherung einer Fahrt in einen anderen Bahnhofsbezirk abhängig. Das erste Feld ist in der Grundstellung entblockt, das zweite in der Grundstellung blockiert.

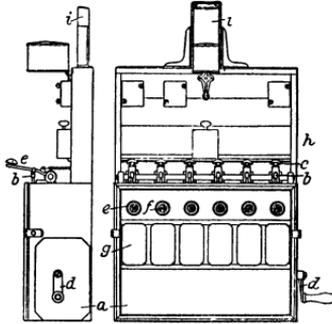


Abb. 1296. Stations-Blockwerk.

Durch die Stationsblockung werden, auch wenn das Signal wieder auf Halt gestellt ist, die befahrenen Weichen, Schutzweichen, Gleissperren noch unter Verschuß gehalten, und zwar durch die Fahrstraßenfelder, die bei Einfahrten Wechselstromfelder und bei Ausfahrten meist Gleichstromfelder sind. Das Fahrstraßenfestlegefeld dient zur Festlegung des umgelegten Fahrstraßenhebels und entriegelt hierdurch den zugehörigen Signalhebel. Das Fahrstraßenauflösefeld, das mit dem ersten zusammenarbeitet, ist da eingebaut, wo festgestellt werden kann, ob ein einfahrender Zug die Weichenstraße bis über das Merkzeichen durchfahren hat.

In der Grundstellung sind die Scheiben sämtlicher Blockfelder der Stationsblockung rot. Bei den roten Signalfeldern zeigen die Signale Halt, bei weißen freie Fahrt. Bei roten Zustimmung- und Fahrstraßenfeldern sind die Fahrstraßen nicht verschlossen, bei weißen Feldern jedoch verschlossen.

(2021) Wechselstromblocksystem. Für die Blockeinrichtungen verwenden die deutschen Bahnen fast ausschließlich das Siemenssche System, vereinzelt kommen andere Blockeinrichtungen vor. Die Wirkungsweise der Blockfelder zeigt Abb. 1297. Die Stellung des Blockfeldes während der Blockung zeigt Abb. 1298. Wird die Blocktaste *B* des rechten Blockfeldes *II* gedrückt, so stehen Druckstange *d*, \sqcap -förmiger Rechenführer, Verschußhalter *h*, Verschußstange *m*, Sperrklinke *y*, Riegelstange *r* und Kontakthebel *M* in der in Abb. 1298 dargestellten Lage. Wird nun die Induktorkurbel *k* bei gedrückter Blocktaste *BII* gedreht, so fließt der Strom über die Klammern *C*₁, den Elektromagnet *E* von *I*, Klemmen *S*, *C*₂ an Erde und von dort zum Induktor *J* in *II* zurück. Beide Anker pendeln zwischen den Polschuhen der Elektromagnete *E*. Der Rechen des gedrückten Feldes (Abb. 1298) fällt, während der Rechen *R* des Feldes *I* (Abb. 1297) durch die Feder *f* steigt. Wenn der untere Zahn der Hemmung des Feldes *I* zwischen dem 2. und 3. Rechenzahn steht, ist die Achse *a* des Rechens so weit gedreht, daß der Verschußhalter durch deren Ausschnitt hindurchrutscht und die Verschuß- und Riegelstange *m* durch die sie umgebende Feder emporgedrückt werden. Das Blockfeld *I* ist entblockt, der Signalhebel kann umgelegt werden. Wird die Blocktaste *BII* losgelassen, so kehren sich die beweglichen Teile beider Blockfelder um.

Die Abhängigkeiten der Blockwerke werden erreicht durch Blockschieber. Abb. 1299 zeigt einen Blockschieber für 4 Blockfelder. Bei Bedienung des Feldes 1

geht der Schieber a nach links, die Felder 2, 3 und 4 sind gesperrt. Wird das Feld 2 bedient, so bewegt sich der Schieber a nach rechts. Es sind hierbei nur die Felder 1 und 3 festgelegt, da Feld 4 einen breiten Ausschnitt hat.

Streckenblockung für 2gleisige Bahnen. Auf deutschen Bahnen wird nur noch die 4feldrige Form verwendet. Hierbei wird der freie und der

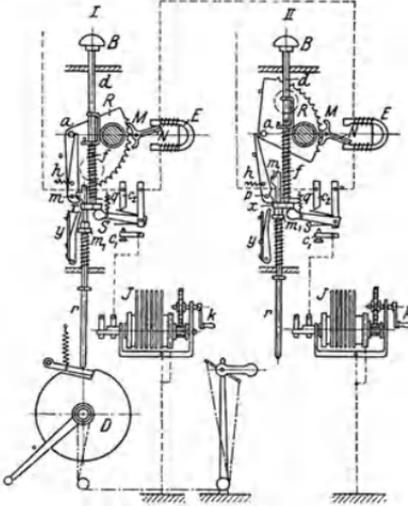


Abb. 1297. Wirkungsweise der Signalfelder.

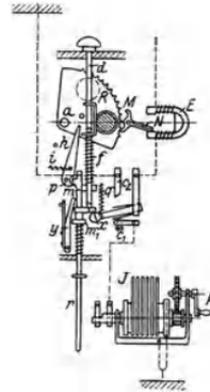


Abb. 1298. Blockfeld während der Blockung

besetzte Zustand der Strecke am Anfang und am Ende durch je ein Blockfeld gleichzeitig angeben. Auf einer Blockstelle sind für die beiden Fahrrichtungen einer Strecke 4 Blockfelder erforderlich. Einen solchen Streckenblock zeigt Abb. 1300. Die zwei Felder sind für die Fahrrichtung von links nach rechts, und die beiden andern für die umgekehrte Fahrrichtung. Die äußeren Felder sind die Endfelder, die inneren die Anfangsfelder. Zwei zusammengehörige Streckenfelder sind durch eine Gemeinschaftstaste verbunden.

Sobald ein Zug an einem auf Fahrt stehenden Blocksignal vorbeigefahren ist, muß der Blockwärter den Signalhebel zurücklegen und ihn durch Blockung des Anfangsfeldes festlegen (Signalverschluß). Durch die Gemeinschaftstaste wird das Endfeld mitgeblockt, so daß gleichzeitig vier Blockfelder arbeiten. Das Anfangsfeld der rückliegenden Blockstelle erhält die Rückblockung, wird weiß, also frei, das Endfeld der eigenen Blockstelle ebenfalls weiß, das Anfangsfeld wird geblockt, also rot, das Endfeld der vorwärts gelegenen Blockstelle empfängt die Vorblockung, es wird frei und ebenfalls rot. Der Zug ist zwischen dem Anfangsfeld der eigenen und dem Endfeld der vorliegenden Blockstelle.

Das Anfangsfeld darf sich erst blocken lassen, nachdem der Signalhebel in die Fahrtlage gebracht und wieder zurückgelegt ist, also auf Halt steht. Diese Zwangsläufigkeit wird durch die mechanische Tastensperre erreicht.

Die elektrische Tastensperre macht das Blocken von der Mitwirkung des Zuges abhängig. Der Zug löst nach Befahren eines Schienenstromschließers die Sperrung der Blocktaste aus. Bei Bedienung des Endfeldes der vorliegenden Blockstelle wird das vorher geblockte Anfangsfeld wieder frei.

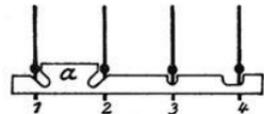


Abb. 1299. Blockschieber für 4 Blockfelder.

Ein Zug muß gedeckt sein, also der Signalflügel muß Halt zeigen, bevor der rückliegende Streckenabschnitt freigegeben werden kann. Es werden daher die Signalflügel mit einem Signalflügelkontakt in Verbindung gebracht, der eine Blockung nur zuläßt, wenn der Signalflügel Halt zeigt. Mit den Signalhebeln ist je ein Signalhebelkontakt zur Anschaltung der elektrischen Tastensperre verbunden.

(2022) Der Zeitsignalgeber. In Deutschland wird das Zeitsignal seit Einführung der mitteleuropäischen Zeit an alle Bahnhöfe vom Schlesischen Bahnhof

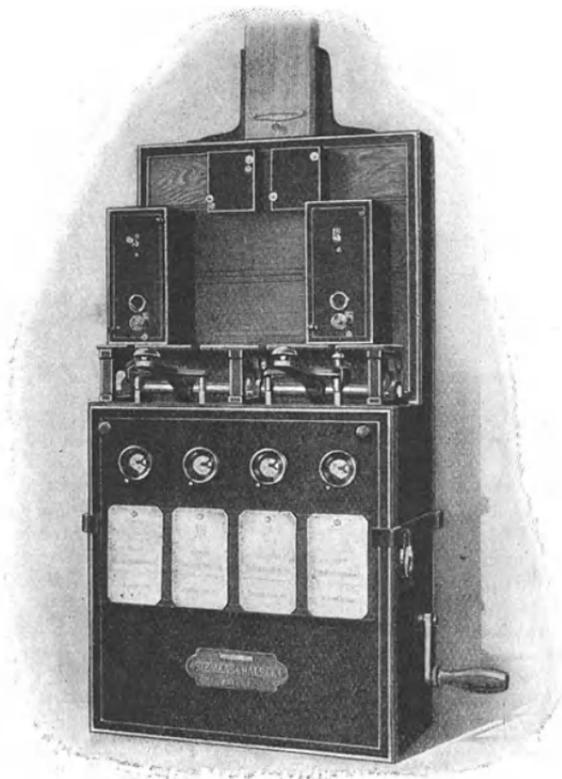


Abb. 1300. Streckenblock.

in Berlin täglich gegeben. Nach diesem Zeitsignal haben die Betriebsstellen ihre Uhren zu stellen.

Das Zeitsignal wird auf einer beliebigen Anzahl Morseleitungen mit dem Zeitsignalgeber selbsttätig gegeben. Der Geber besteht aus einer von der Sternwarte eingestellten Präzisionsuhr, die auf elektrischem Wege überwacht wird, dem Zeitzeichengeber und einem Kontaktwerk, dem Rufzeichengeber, der das Zeitsignal an die Empfangsstellen gibt. Bei Störungen kann die Zeitgebung durch einen Handtaster erfolgen.

Alle 24 Stunden, und zwar 2 Minuten vor 8 Uhr vormittags, wird mittels eines Kontaktes *a* (Abb. 1301) durch eine Einrichtung an der Präzisionsuhr der Stromkreis *I* etwa $2\frac{1}{4}$ Minute lang geschlossen.

Hierdurch wird der Rufzeichengeber ausgelöst, indem der Elektromagnet m^1 den Hebel h anzieht, und es wird der mit dem Sekundenrade der Uhr des Zeitzeichengebers in Verbindung stehende Kontaktsatz b/c durch den in demselben Stromkreis liegenden Elektromagnet m in Bereitschaft gesetzt. Nach Auslösung von h wird durch ein Gewicht der Rufzeichengeber und dessen mit MEZ (mitteleuropäische Zeit) versehene Scheibe s gedreht. Die Bewegung der Zeichenscheibe s wird auf einen Winkelhebel h^1 übertragen, der 30 Unterbrechungen

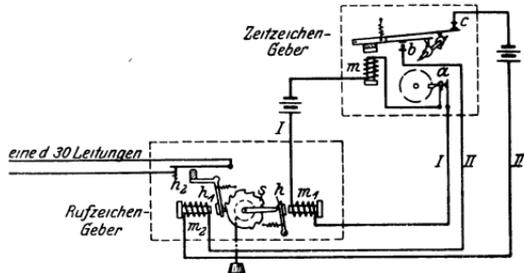


Abb. 1301. Schaltung des Zeitzeichengebers.

zuläßt, und zwar so, daß durch Abheben von Federn an ihren Kontakten das Zeichen MEZ in allen 30 Leitungen gleichzeitig wahrgenommen wird. Telegraphiert wird in dieser Zeit nicht auf den Leitungen. 50 s vor 8 Uhr vormittags schließt der Kontakt b , der durch das Sekundenrad der Präzisionsuhr betätigt wird, den Stromkreis II. Der Magnet m^2 hält den Hebel h^1 solange fest, bis der Kontakt c um 8 Uhr den Stromkreis II unterbricht. Die 30 Leitungen sind demnach 50 s lang unterbrochen und die eingeschalteten Telegraphenapparate schreiben nach Ingangsetzung des Morselaufwerkes einen langen Strich. Das Ende des Striches, also das Aufhören der Unterbrechung ist das Zeitsignal 8 Uhr. Der Rufzeichengeber gibt noch einige Male MEZ als Schlusszeichen, dann wird der Zeitsignalgeber durch Unterbrechung des Kontaktes a außer Betrieb gesetzt.

Die Übertragung des in einer Fernleitung gegebenen Zeitsignals auf eine Anzahl anderer Fernleitungen geschieht mit einem Zeitsignalübertrager, der in den Linienstromkreis einer der 30 Fernleitungen eingeschaltet ist. Vgl. Schubert-Roudolf: Sicherungswerke im Eisenbahnbetrieb, I. Bd., S. 221.

(2023) Elektrische Uhrenanlagen. Genaue Zeitangaben sind für den Eisenbahnbetrieb von der größten Wichtigkeit. Bei einem Betrieb von $2\frac{1}{2}$ Minuten und weniger sind richtigegehende Uhren unerläßlich.

Größere Anlagen werden als sympathische Uhrenanlagen (1281) ausgeführt, d. h. die an die Mutteruhr angeschlossenen Nebenuhren haben kein eigenes Uhrwerk, sondern ihre Zeiger werden nach jeder halben oder vollen Minute weitergestellt, und zwar springen alle an das Leitungsnetz angeschlossenen Uhren gleichzeitig weiter.

Eine elektrische Uhrenanlage besteht aus einer Hauptuhr mit Kontakteinrichtung, an welcher mit zwei Leitungen mehrere Nebenuhren in Parallelschaltung angeschlossen sind. Durch die Kontaktvorrichtung der Hauptuhr wird alle halbe oder volle Minute eine Batterie an die Leitungen gelegt. Hierdurch werden sämtliche Nebenuhren, die an diesen Leitungen liegen, um 1 oder $\frac{1}{2}$ Minute weitergestellt.

Die Hauptuhr wirkt auf zwei Magnetschalter 14 und 14a (Abb. 1302). Wird nach einer Minute einer der Kontakte 11 oder 12 geschlossen, so erhalten die Elektromagnete 14 oder 14a Strom. Beim Schluß an 11 geht der Strom vom + Pol der Batterie über die Widerstandsspule 16 zum Magnet 14, dann über die andern Klemmen der Spule 16 und den Kontakt 10 des Nachstellerschalters sowie über Kontakt 11 der Hauptuhr zum - Pol der Batterie zurück. Magnet 14 öffnet Kontakt 2 und schließt Kontakt 1. Dann geht der Strom vom + Pol der Batterie über den Widerstand 17 und Kontakt 2 von 14a über sämtliche Uhren, sowie Kontakt 1, Widerstand 15 und die Leitungsbrücke am Kontakt der Hauptuhr zum - Pol der Batterie. Kontakt 3 schließt sich, hierdurch gelangt der Strom

unter Ausschaltung der Widerstandsspule 15 in das Netz. Beim Abfall des Magnetankers und Öffnen des Uhrkontaktes spielt sich das Umgekehrte ab (vgl. Schubert-Roudolf: Sicherungswerke im Eisenbahnbetrieb, S. 223—229).

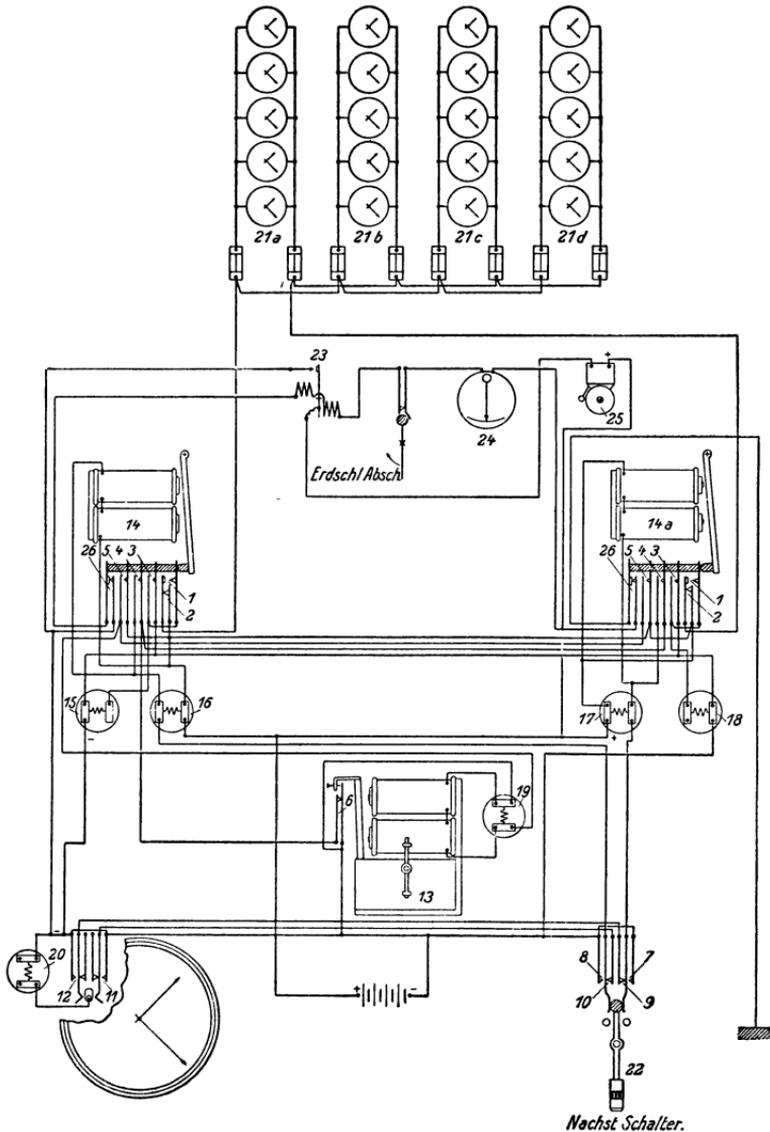


Abb. 1302. Kontaktvorrichtung der Hauptuhr.

(2024) Das Spiegelfeld dient hauptsächlich dazu, dem Fahrdienstleiter, dem Wärter eines Endstellwerkes, dem zugabfertigen Beamten die Stellung der wegen der großen Entfernung oder Vorbauten nicht erkennbaren Signalfügel anzuzeigen, oder als Zusatzeinrichtung zu Schlüsselstromschließern auf Bahn-

steigen, die mit Tastensperren-Gleichstromfeldern in Verbindung stehen. Ein Spiegelfeld (Abb. 1303) besteht aus einem auf einer Platte *a* befestigten Magnete *E*, zwischen dessen Polen ein Anker sich bewegt. Auf einer Achse, die in der Platte *a* und der Deckplatte *A* gelagert ist, sitzt ein Anker und am vorderen Ende eine rot und weiß gestrichene Scheibe. Die Ausschnitte *B* lassen je nach der Stellung des Ankers ein rotes oder weißes Kreuz erscheinen. Ein Schutzgehäuse mit Bezeichnungsschild umgibt das Ganze.

(2025) Zählwecker. Das Überfahren eines Haltsignals durch die Lokomotivführer hat wiederholt schwere Unfälle herbeigeführt. Es sind deshalb neuerdings bei den Preuß.-Hess. Eisenbahnen Einrichtungen eingeführt worden, die jedes Überfahren eines Haltsignals an einem an der Signalbedienungsstelle angebrachten Zählwerk aufzeichnen. Der Elektromagnet des Zählweckers steht einerseits mit einem neben dem Signal liegenden Gleiskontakt, andererseits mit einer Batterie in Verbindung. Zwischen Elektromagnet und Batterie ist ein Kontakt am Signal eingeschaltet, der bei Haltstellung des Signals geschlossen, bei Fahrtstellung unterbrochen ist. Wird durch Befahren des Gleiskontaktes bei Haltstellung des Signals der Stromkreis geschlossen, so zieht der Elektromagnet seinen Anker an und schließt dabei die Leitung nach dem Gleiskontakt kurz, so daß der Anker dauernd festgehalten wird. Gleichzeitig werden Stromkreise geschlossen für einen an der Einrichtung selbst und, wenn nötig, einen an einer Überwachungsstelle (Fahrdienstleiter) angebrachten Wecker. Sobald der Fahrdienstleiter den Wecker hört, wird durch ihn oder in seinem Auftrage durch den Signalwärter mittels einer unter Verschluss stehenden Drucktaste der Strom wieder unterbrochen. Der Anker des Zählerelektromagnets fällt ab, und der Zähler rückt um eine Zahl weiter. Die Signalbedienungsstelle hat über jedes Vorrücken des Zählers Nachweis zu führen; der Fahrdienstleiter bleibt verantwortlich dafür, daß jeder Fall des Überfahrens des Haltsignals verfolgt wird.

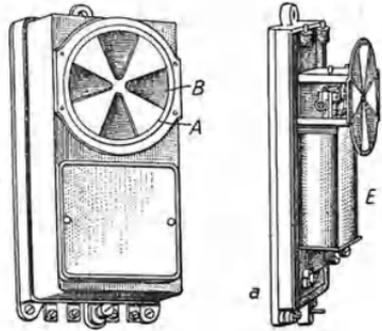


Abb. 1303. Spiegelfeld.

Elektrisches Stellwerk.

(2026) Allgemeines. Bei den deutschen Eisenbahnen ist das elektrische Stellwerk seit etwa 1895 eingeführt, nachdem schon etwa im Jahre 1883 mit Wasserkraft, Druckluft und elektrisch gesteuerter Druckluft Versuche gemacht worden sind. Kraftstellereien mit elektrisch gesteuerter Druckluft sind noch viele in Süd- und Westdeutschland in Gebrauch.

Die Hauptvorteile der Kraftstellwerke liegen darin, daß man Signale und Weichen auf weite Entfernungen stellen kann, die Stellwerkbezirke umfangreicher und die Blockabhängigkeiten einfacher werden, und daß die Hebelteilung eine geringere ist. Natürlich ist die Größe des Stellwerkbezirkes begrenzt dadurch, daß der Bezirk übersichtlich sein muß und daß es dem Wärter noch möglich ist, den Zugschluß sicher zu erkennen. Der Betrieb ist entscheidend. In Bezirken mit dichter Zugfolge, wie im Bezirk Berlin mit seinen großen Bahnhöfen, sind Kraftstellereien am Platz.

Die Kraftstellwerke werden als Signalstellwerke, als Weichen- und Signalstellwerke oder als Rangierstellwerke verwendet.

(2027) Elektrisches Kraftstellwerk. Das gebräuchlichste ist das von Siemens & Halske in Berlin¹⁾. Der Strom wird entweder mit Hilfe von Sammlerbatterien

¹⁾ Auf die elektrischen Stellwerke von Jüdel, der AEG und Orenstein & Koppel, ebenso auf die elektrisch gesteuerten Druckluftstellwerke wird hier nicht eingegangen; vielmehr wird diese einer späteren Auflage vorbehalten.

aus dem Gleichstromnetz entnommen oder durch Umformer aus dem Wechsel- oder Drehstromnetz. Der Stellstrom hat eine Spannung von 120 bis 130 V, der Überwachungsstrom 24 bis 32V. Die Sammlerbatterien haben Strom für 48 h. Die

	↑	1	2	3	4	5	6
Von A nach Gl I		+	-	-	+		
Von A nach Gl II	↙	+	-	+	-	-	+

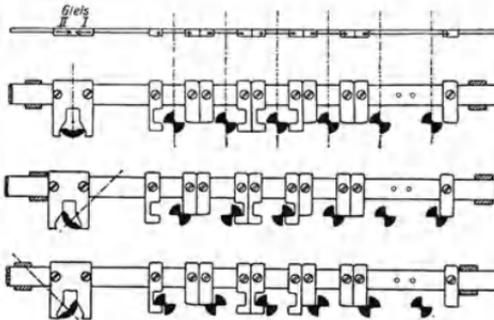


Abb. 1304. Abhängigkeit der Schalter.

Verschlussbelemente tragen. Durch Herausziehen und Drehen des Knopfes 3 wird der Schalter bedient. Am andern Ende der Achse sitzt ein Isolierstück 6 mit Kupferstücken 7, die sich an Kontaktfedern 8 anlegen, um den Weichenmotor

Schalter, die einen Abstand von 75 mm haben und zum Stellen der Signale, Weichen usw. dienen, sind in einem Gehäuse aus Blech gelagert. Die Wellen der Schalter werden durch aufgesetzte Verschlussbelemente mittels der über den Wellen gelagerten Schubstangen oder Schieber in die erforderliche mechanische Abhängigkeit gebracht (Abb. 1304).

Einen Weichenschalter zeigt Abb. 1305. Die Achse 1 ist in den Flacheisen 2 gelagert, über ihr liegt das Verschlussregister mit den Schubstangen 4, die die Weichensteuerung steuern. Der Batteriewechler 9 schaltet nach Umstellung der Weiche die 30-V-Batterie an und es geht Ruhestrom über den Überwachungsmagnet 10. Sein Anker ist angezogen, die von ihm bewegte Farbscheibe zeigt Weiß, ein Zeichen dafür, daß der Apparat in Ordnung ist. Fällt der Anker ab, so zeigt die Farbscheibe Schwarz zum Zeichen, daß eine Störung vorhanden ist. Die Kuppelstromkontakte 11 werden ebenfalls durch den Überwachungsmagnet 10 gesteuert. Wenn der Anker von 10 angezogen ist, also die Weiche richtig liegt, sind die Kontakte geschlossen; nur dann kann der Kuppelstrom fließen.

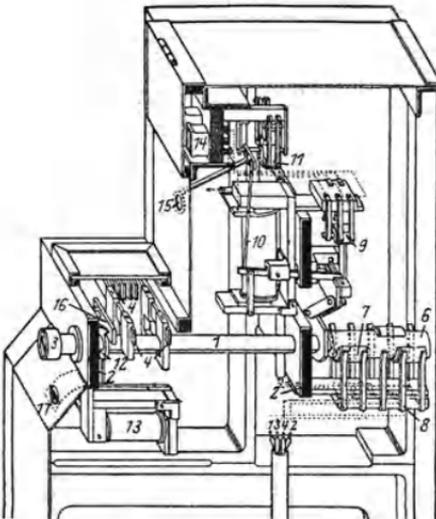


Abb. 1305. Weichenschalter.

Um bei besetzter Weiche den Weichenschalter zu sperren, sitzt auf der Achse 1 ein Verschlussstück 12, das mit einem Sperrhaken 16 mit dem Anker des Verschlussmagnets 13 in Verbindung gebracht ist. Der Griff 3 ist auf diese Weise gesperrt. Am Fenster 17 unter dem Griff erscheint ein blauer Strich zur Warnung des Wärters. Sicherungen 14, über die der Stell- und der Überwachungsstrom gehen, schützen den Schalter und den Motor der Weiche vor zu hohen Strömen.

(2028) Der Signal-Fahrstraßenschalter (Abb. 1306). Am Handgriff 1 wird die Welle 2 gedreht. Die Scheibe 4 bewegt die Anschläge 5 und damit die Schubstange 6 und verriegelt dadurch den Weichenhebel. Um eine Fahrstraße einzustellen, muß man den Handgriff 1 um 45° drehen nach rechts oder nach links. Die Sperrscheibe 7 bewegt sich dann so weit, daß das Sperrstück 8 hinter die Ansätze 9 oder 10 geht, je nach der Drehrichtung, und den Hebel sperrt. Aber nur in der untersten Stellung des Stückes 8 gehen die Ansätze 11 bzw. 12 durch den Schlitz 13, damit wird nur in dieser Stellung ein Weiterdrehen der Achse und dadurch das Stellen des Signals ermöglicht.

Stück 8 ist mit dem Anker 14 des Magnets 15 gelenkartig verbunden. Anker 14 fällt ab, sobald das Sperrstück 8 nach unten geht. Dadurch werden Kontakte für bestimmte Abhängigkeiten geschlossen.

Durch konische Räder 18 wird die Achse 19 bewegt und je nach der Drehung wird eine oder die andere Reihe der Fahrstraßenkontakte 20 geschlossen. Der Stellstrom wird durch die Kontakte 21 geschlossen.

Weißer Farbscheibe bei 17 zeigt, daß der Hebel gesperrt ist; rote Scheibe, daß er frei ist. Erhält der Magnet 15 Strom vom Befehlsstellwerk, so ist die Sperrung des Hebels aufgehoben (Stationsblockung). 22 ist ein Kuppelstrommagnet, 23 ein Flügelrückmelder. 22 bewegt bei Eintritt von Strom und Anziehen des Ankers den Haken 24 nach oben. Man kann dadurch den Hebel über 45° hinaus drehen und das Signal ziehen. Im Fenster 25 wird dann ein weißes Feld mit rotem Strich sichtbar. Der Flügelrückmelder 23 hat dann Strom, wenn der Flügel auf Fahrt steht. Bei 25 wird dann durch

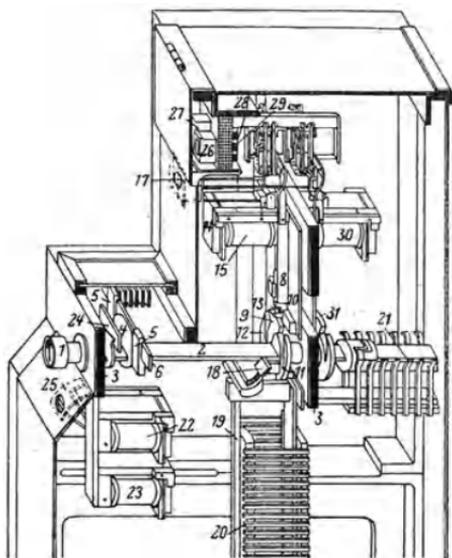


Abb. 1306. Signal-Fahrstraßenschalter.

das Anziehen des Ankers der rote Strich im Fenster weiß gemacht. 26 und 27 sind Schmelzsicherungen, über die durch die Schienen 28 und 29 dem Hebel der Stell- und Überwachungsstrom zugeleitet wird.

(2029) Der Weichenantrieb (Abb. 1307). Der Motor läuft vorwärts und rückwärts. Die Leitungen sind bei 2 angeschlossen. Der Motor dreht Zahnrad 5, das das Zahnrad 7 mitnimmt und die Schnecke 8 dreht. Hierdurch wird Rad 9 mit dem darunter liegenden Zahnrad 10, das in die Zahnstange 11 eingreift, gedreht. An der Zahnstange 11 sitzt gelenkig die Weichenstellstange. Das Rad 9 ist nicht fest mit der Steuerscheibe 13, die durch Anschlag 12 mitgenommen wird, verbunden, sondern nur durch eine Reibungskuppelung. Hierdurch werden die beim Stellen der Weiche auftretenden Stöße aufgenommen und es wird ein Aufschnneiden der Weiche ermöglicht. Die Stahlplatte 13' über 13 wird durch eine Mutter 14 angespannt und preßt die Scheibe 13, das Schneckenrad 9 und das Zahnrad 10 zusammen. Die Steuerscheibe 13 hat Abschrägungen 15, auf denen die Rollen 16 auflaufen. Durch sie werden die Kontakte 18 bewegt, welche an den Federn 19 den Schluß für den Stell- und Überwachungsstrom herstellen.

Mit einem Hebel oder Schalter wird die Weiche in ihre zwei Stellungen gebracht, je nachdem die eine oder die andere Stromleitung angeschaltet ist. Ist

die Weiche umgelegt, so unterbricht der Steuerschalter am Antrieb die Leitung, der Motor läuft nicht weiter. Im Stellwerk ist für jeden Hebel ein Überwachungsmagnet vorhanden, der nur dann Strom hat, wenn die Stellung des Hebels mit der Lage der Weiche übereinstimmt. Nur wenn dies der Fall ist, darf der Wärter ein Signal ziehen, also auf Fahrt stellen. Eine weiße Farbscheibe am Überwachungsfenster des Weichenhebels zeigt ihm dies an. Eine schwarze Scheibe meldet, daß der Anker abgefallen ist. Um den Stellstrom von 120 V oder den Überwachungsstrom von 30 V einzuschalten, ist zwischen beiden Batterien ein Batteriewechler eingeschaltet. Wird der Weichenhebel umgelegt, so wird der

Stellstrom eingestellt. Nach beendeter Umlegung wird der Batteriewechler vom Überwachungsmagnete auf die Überwachungsbatterie umgelegt, so daß der Stellstrom abgeschaltet ist.

(2030) Der Signalantrieb (Abb. 1308) hat einen Motor 1, der seine Bewegung durch ein Zahnradvorgelege nebst Schnecke auf das Rad 2 und die mit diesem verbundene Steuerscheibe 3, wie bei dem Weichenantrieb, überträgt. Die Steuerscheibe, die sich über 180° dreht, hat Knaggen, die die Steuerschalter einschalten. Die Scheibe 3 ist durch das Flacheisen 5 mit dem Hebel 7 verbunden, der sich um 6 dreht. Hebel 7 hat Rollen 8 und 9, die die Kuppelungshebel (im vorliegenden Fall für ein 2flügeliges Signal) 12 einschalten.

In der Abbildung liegt 8

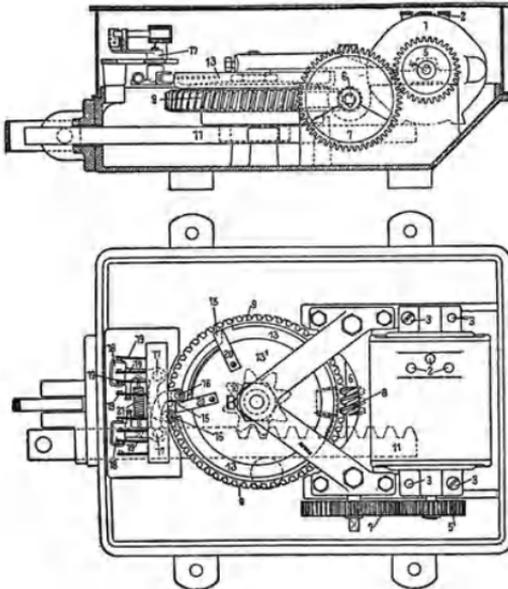


Abb. 1307. Weichenantrieb.

an 12. Hebel 12 ist mit Hebel 10, der sich um 14 dreht, verbunden. 10 ist durch den Hebel 12 und das Gelenk 20 mit dem Anker des Kupplungsmagnets 24 verbunden. Beim 2flügeligen Signal sind zwei Anker 21 und 22 vorhanden. Diese sind in der Grundstellung abgehoben, damit sie nicht kleben bleiben. Wird nun ein Flügel gestellt, so erhält der Magnet 24 Strom. Wird dann die Steuerscheibe 3 durch den Motor 1 in die in Abb. 1308 dargestellte Lage gebracht, so hat die Rolle 8 den Hebel 12 heruntergedrückt und den Knickhebel 20 mit dem Anker so gestreckt, daß der Anker anliegt. Der Kuppelungshebel 12 kann sich um Hebel 20, der fest liegt, drehen. 12 mit 10 werden bei weiterer Drehung der Scheibe 3 in die Höhe gehoben. 16 geht empor, dreht 18 und stellt einen Flügel auf Fahrt.

Währenddessen ist (Abb. 1308) Rolle 9 am Kuppelungshebel 13 vorbeigegangen und hat das Gelenk 21/23 und den Hebel 11 ausgeschaltet, der 2. Signalflügel blieb somit auf Halt.

Wird der Magnet 24 stromlos, so drückt der Flügel des auf Fahrt stehenden Signals den Hebel 10 (Abb. 1308) nach unten, 12 geht nach unten, der Anker 22 wird abgehoben, die Grundstellung in Abb. 1308a ist erreicht.

Haltsperre 26 und 27 verhindern ein Ziehen des Signalflügels am Gestänge. Beim Ziehen eines Flügels vom Antrieb aus geht 10 (Abb. 1308b) empor und an

der Sperrklinke 26 vorbei, da 7 noch in Ruhe liegen bleibt. Dagegen tritt bei auf Fahrt stehendem Antrieb der Triebhebel des auf Halt stehenden Signals 11 gegen die Sperrklinke 24 (Abb. 1308 c). Der 2. Flügel des Signals kann nicht gezogen werden.

Das Signal wird gestellt durch den mit dem Fahrstraßenhebel vereinigten Signalhebel im Stellwerk. Von der Stromquelle gehen zwei Leitungen zum Schalter des Signalhebels, die die Vorwärts- oder Rückwärtsbewegung des Motors bewirken, je nachdem die eine oder die andere Leitung eingeschaltet ist. Hat der Signalmotor das Signal in die Endlage gebracht, so schaltet ein Steuerschalter den Motor an der Stelleitung ab.

Die elektrisch betriebenen Stellereien haben eine große Verbreitung gefunden auch im Auslande. Dies hat alle ersten Firmen der Stellwerkindustrie dazu gebracht, Kraftstellwerke zu bauen, die einige Abweichungen voneinander aufweisen.

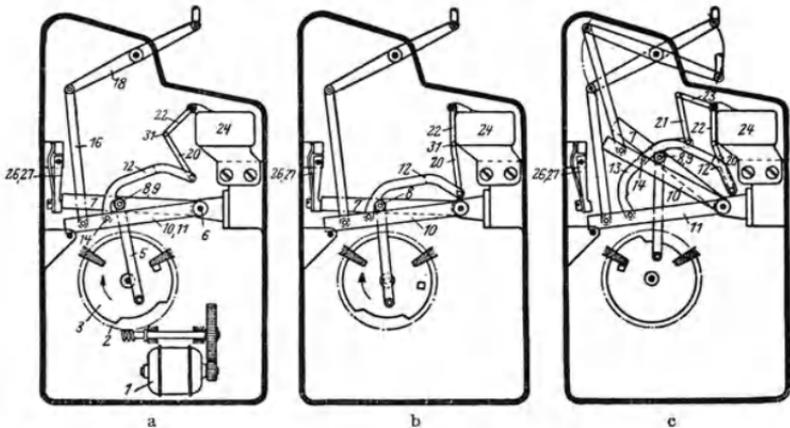


Abb. 1308. Signalantrieb.

(2031) Selbsttätige Signalanlagen. Die Signale werden bei diesem System mittels eines besonderen Signalstromkreises auf Fahrt gehalten in der Ruhestellung und durch den Zug auf Halt gestellt. Für den Bahnbetriebsstrom wird meistens Gleichstrom und für den Signalstrom, der die Signalfügel auf Fahrt hält, wird je nach den verschiedenen Systemen Gleichstrom oder Wechselstrom angewendet. Die Mitwirkung des Zuges wird durch Einbeziehung beider Fahrschienen in den Signalstromkreis erreicht. Die Fahrschienen werden in Übereinstimmung mit den Blockstreckenlängen beiderseitig in isolierte Blockstrecken zerlegt.

Zur Verminderung der Stromstreuung zwischen den Schienen verwendet man Holz- oder Betonschwellen, die in Steinschlag gebettet sind. Bremsstaub, der auf den Schwellen sich ablagert, ist bei niedriger Spannung des Gleisstromes ungefährlich, kann aber bei hoher Spannung Strom von einer Schiene zur anderen gelangen lassen. Man wählt daher für den Gleisstrom eine Spannung von nur 4 Volt.

Ist ein Zug in den Gleisabschnitt II (Abb. 1309) eingefahren, so schließen die Zugachsen kurz, der Gleisstrom geht dann über die Räder und Achsen statt durch die Ankerwicklungen des Relais A. Die Kontakte des Relais A öffnen sich, das Signal S mit seiner Fahrsperre fällt in die Haltlage.

Das Relais A (Abb. 1313) hat eine bewegliche (Anker-) und eine feststehende (Feld-)Spule. Wenn beide Spulen Strom von derselben Wechselzahl erhalten, schließt zuerst das Relais seine Kontakte, dann geht das Signal S in

Fahrstellung. Die Ankerspule überwacht den Gleisabschnitt II, die Feldspule überprüft die Haltstellung des folgenden Signals S_1 .

Diese Überprüfung bewirkt der Überwachungsstromkreis 2; er geht vom Transformator T_1 über den Signalfügelkontakt SK und den Fahrsperrkontakt FK zur Feldspule des Relais A und von da zur Stromquelle T_1 . Nur wenn der Signalfügel S_1 und die Fahrsperr F_1 Halt zeigen, geht der Strom durch die Feldspule des Relais A und schließt die Kontakte K_1 und K_2 und damit die Stromkreise 3 und 4.

Der Signalstromkreis 3 geht vom Transformator T_1 über den geschlossenen Relaiskontakt K_2 zu den Antrieben S und F des Signals und der Fahrsperr und von da über die Rückleitung O zu T_1 zurück. Das Signal und die Sperr gehen auf Fahrt.

Da der Stromkreis 2 bei SK und FK unterbrochen wird, sobald ein Zug aus dem Abschnitt III ausgefahren ist und Signal S_1 wieder Fahrt zeigt, würde die Feldspule des Relais A stromlos werden. Kontakte K_1 und K_2 von Relais A wären offen und das Signal S würde auf Halt zurückgehen, ehe ein neuer Zug

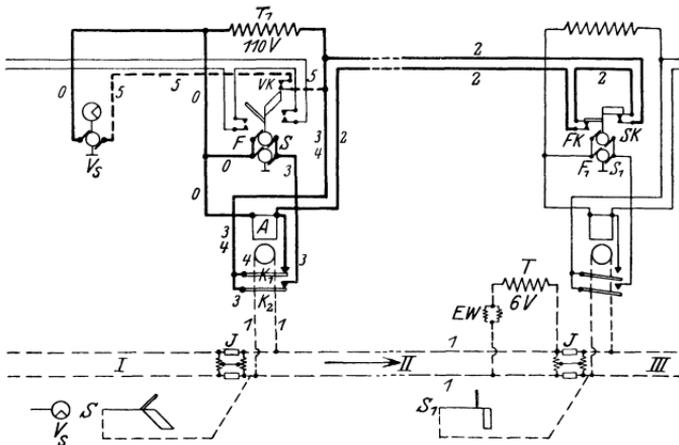


Abb. 1309. Selbsttätige Signalanlage.

in II wäre, daher wird vom Überwachungsstromkreis 2 über K_1 ein Relais selbstschluß (Stromkreis 4) hergestellt. Dieser Strom geht von T_1 über K_1 durch die Feldspule von A über Leitung O zum Transformator T_1 zurück. Dieser Relais selbstschluß macht A unabhängig von SK und FK , er führt nur so lange der Feldspule Strom zu, bis der Anker von A durch Kurzschluß des Gleisstromkreises bei Einfahrt einer Achse stromlos wird und K_1 und K_2 sich wieder öffnen.

Steht das Signal S auf Fahrt, so wird VK geschlossen und dadurch der Stromkreis 5 hergestellt. Dieser geht von T_1 über VK zum Antrieb des Vorsignals Vs und über Leitung O nach T_1 zurück. Das Vorsignal geht also nach dem Hauptsignal erst auf Fahrt.

Fährt ein Zug in II ein, so schließt die erste Achse kurz, Relais A öffnet K_1 und K_2 und unterbricht die Stromkreise 3 und 4, Signal S geht auf Halt, VK öffnet sich, unterbricht Stromkreis 5, das Vorsignal geht mit in die Warnstellung.

Für den Betrieb der selbsttätigen Signalanlage wird Wechselstrom von 120 Wechseln in der Sekunde angewendet, gegenüber dem Bahnstrom, der Drehstrom mit 80 Wechseln hat. Abirrende Ströme sind daher wirkungslos. Der Hauptkabelstrom wird für Signalzwecke mit Transformatoren herabtransformiert. Diese (Abb. 1310) werden in der Nähe der zugehörigen Gleisabschnitte aufgestellt.

Die Wicklung 1 und 2 ist an das Signalkabel angeschlossen (Abb. 1309), während die Leitungen 3 und 4 für den Gleisstrom über die Eisenwiderstände EW gehen. Der Strom für die Lichtsignale und die Signal- und Fahrsperrenantriebe wird durch die Leitungen 6 und 7 entnommen.

Vom Transformator darf kein Gleisstrom, also Signalstrom, in den benachbarten Gleisabschnitt gelangen. Zu diesem Zweck sind isolierende Zwischenlagen, mit denen die Gleisabschnitte getrennt sind, eingebaut. An diesen Trennstellen müssen die Bahnrückströme, zu deren Leitung die Fahrstienen verwendet werden, ihren Weg zum Kraftwerk nehmen. Es müssen an den Trennstellen die Fahrstienen den Bahnrückstrom durch-

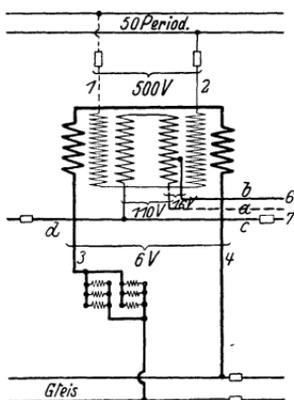


Abb. 1310. Transformator.

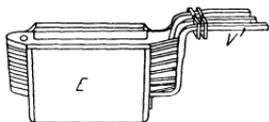


Abb. 1311. Impedanzverbinder.

lassen, ohne dem Gleisstrom den Übergang von einem Abschnitt zum anderen zu gestatten. Diesen Bedingungen entspricht der Impedanzverbinder (Abb. 1311). In einem Eisenkern sitzt eine Kupferspule V , der magnetische Schluß des Eisenkerns wird durch eine aufgelegte Platte E erreicht. Um den Kern und die Spule fließt Öl, ein Deckel dient zum Abschluß. Die Kupferspulen bilden

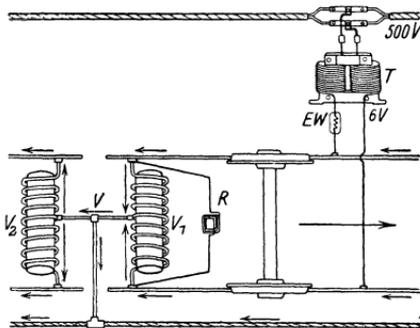


Abb. 1312. Schaltung des Impedanzverbinders.

für den Bahnrückstrom, der Gleichstrom ist, die leitende Verbindung. In Abb. 1312 ist die Wirkungsweise des Drosselstoßes oder Impedanzverbinders dargestellt.

Zu beiden Seiten eines isolierten Stoffes sind mit Öl gefüllte eiserne Kästen eingebaut, in denen Windungen V_1 und V_2 aus starken Kupferdrähten liegen. Diese Windungen sind mit den Schienenenden und die Mitten der beiden Windungen V_1 und V_2 durch Drähte V verbunden.

Der Bahnrückleitungsstrom fließt in den Schienen des einen Streckenabschnittes in der Richtung der Pfeile gegen die Mitte der einen Hälfte von V_1 , dann durch V über V_2 nach den Schienenenden des nächsten Abschnittes. Die Fahrströme fließen in den beiden Windungshälften entgegengesetzt; da die Windungszahlen gleich sind, heben die magnetisierenden Kräfte einander auf. Der Signalwechselstrom durchfließt dagegen die beiden Spulen in gleichem Sinne, findet also hier einen erheblichen Wechselstromwiderstand, so daß er gedrosselt wird. Diese Wirkung steigt bei wachsender Frequenz und mit dem Quadrate der Windungszahl. Je höher die Frequenz des Signalstroms genommen wird (50 bis 60 Per/s sind am zweckmäßigsten), um so größer ist der induktive Widerstand.

Die Trennstöße werden mit den gewöhnlichen Schienenstößen zusammengelegt und sind zwischen den Schienenköpfen mit 4 mm starken Isolierplatten aus Hartpapier oder Leder ausgefüllt, um den Stromübergang zwischen den Kopfflächen der Schienen zu verhindern.

Fährt ein Zug in einen Streckenabschnitt ein, so schließen die Zugachsen den Signalstrom kurz, die Ankerspulen des Relais R in Abb. 1312 sind somit während des Kurzschlusses der Fahrspalten nahezu stromlos.

Ein bei Untergrundbahnen verwendetes Wechselstromrelais zeigt die Abb. 1313. Das Relais besteht aus zwei hintereinander geschalteten festen Spulen F_1 und F_2 und einer beweglichen Ankerspule A . Die Wicklungen in A stehen rechtwinklig zueinander. Führen die Wicklungen Strom, so entstehen Kraftlinienfelder, die sich gleichzurichten suchen und dadurch die bewegliche Ankerspule drehen, bis die mit der Ankerspule durch eine Verbindung H drehbaren Kontakte K_1, K_2, K_3 sich gegen die festen Kontakte k_1, k_2, k_3 legen, wodurch 3 Kontaktleitungen geschlossen werden. Der Feldstrom geht dann über l_1 und l_2 zum Signaltransformator und der Ankerstrom durch L_1 und L_2 zur Schiene. Die Kontakte k_1 und K_1 usw. haben demnach den Zweck, den Strom zum Signal durchzulassen oder aufzuheben, so daß das Signal, wenn Strom vorhanden ist, auf Fahrt steht, im andern Falle auf Halt fällt. Ein Gewicht, das der

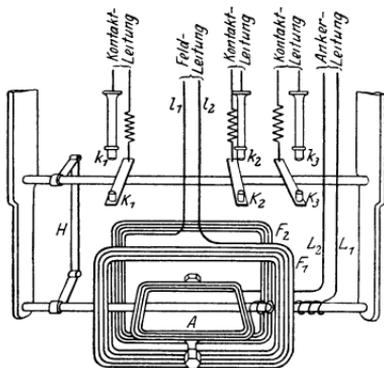


Abb. 1313. Wechselstromrelais.

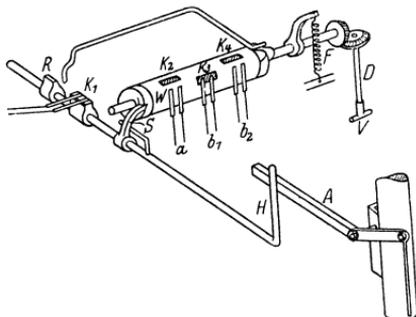


Abb. 1314. Fahrsperr.

magnetischen Kraft entgegenwirkt, dreht die Ankerspule in die Ruhelage, wenn der Anker oder die Feldspulen oder beide stromlos sind.

Das Relais enthält kein Eisen, seine Kontakte kleben daher nicht.

Die Antriebe, die bei den selbsttätigen Stellereien benutzt werden, sind dieselben, wie sie in (2030) Abb. 1308 dargestellt und beschrieben sind.

Um beim Überfahren von Haltsignalen keine Gefahr für den voraus fahrenden Zug entstehen zu lassen, sind mit den selbsttätigen Signalen selbsttätige Fahrsperrern verbunden, die mit dem Signal zusammen um das Maß einer Bremslänge vor dem zu deckenden Gleisabschnitt angeordnet sind.

Die Fahrsperrern ist am Signal oder an der Tunnelwand neben dem Lichtsignal angebracht. Sie besteht aus einem Ausleger A (Abb. 1314), der gegen einen Hebel H oberhalb der ersten rechtsseitigen Tür des vordersten Wagens bei Haltstellung des Signals anstößt. Zum Festhalten des Auslösehebels H ist auf seine Welle ein Sperrstück S aufgesetzt. Kontakt K_1 wird geöffnet und der Steuerstrom des Zuges unterbrochen. Eine Sperrklinke S wird dann aus der Walze W ausgehoben, worauf sich die Walze unter dem Zug der Feder F dreht, ihre Kontakte K_2 und K_4 an die Kontaktfedern legt und den Ausschaltstrom und den Bremsstrom einschaltet, den Bremslösestrom dagegen bei K_3 unterbricht.

Die ausgelöste Schaltwalze kann am Innern des Wagens durch Drehen des Dornes D vom Zugbegleiter, der den Schlüssel dazu vom Fahrer holt, in die Betriebsstellung zurückgelegt werden. Der Schlüssel ist unter Bleiverschluß.

Findet ein Fahrer ein selbsttätiges Signal auf Halt, so muß er 1 Minute vor dem Haltsignal warten, dann löst der Zugbegleiter mit dem im Fahrerstand hängenden Bremschlüssel die Bremsauslösung, er dreht durch einen Druck nach rechts die Schaltwalze. Ist der Wagen am Haltsignal vorbei, so drückt der Begleiter mit dem Schlüssel die Sperrklinke wieder in die Schaltwalze. Der Zug kann vorsichtig weiter fahren bis zur Station, wo zu melden ist, daß das betreffende Signal gestört ist.

Halb selbsttätige Signale sind an den Stellen vorhanden, an denen Weichen liegen, die von einem Wärter umgestellt werden müssen.

Gleis tafeln hängen über den elektrischen Schaltwerken, auf denen Glühlampengruppen die einzelnen Gleisabschnitte vom Gleisstrom aus beleuchten, und zwar sind bei freier Strecke die Abschnitte hell, bei besetzter Strecke dunkel. Die Signale zeigen auf der Gleis tafel ihre richtigen Farben.

Die Schaltwerke der selbsttätigen Stellereien sind dieselben wie in (2027).

(2032) Lichtsignale. Die neuen Bestrebungen auf dem Gebiete des Sicherungswesens der Eisenbahnen gehen dahin, Lichtsignale bei Tag und Nacht auf den Eisenbahnen einzuführen. Dies mag für Stadt- und Untergrundbahnen zweckmäßig sein, aber für Fernbahnen nicht¹⁾. Für Fernbahnen sind Formsignale besser. Ein solches Formsignal ist das Parabolsignal von Roudolf²⁾. Dies Signal hat einen parabelförmig gekrümmten Doppelflügel mit einer im Brennpunkt der Parabel stehenden Lampe, sendet also indirektes Licht aus. Es gibt ein deutliches, weithin sichtbares, nicht zu verwechselndes Bild. Die Lichtsignale sind in Kurven nur bis zu einem Winkel von 30° zu sehen, sie sind nicht so leicht aufzufinden, während eine helle Fläche, wie sie beim Parabolsignal vorhanden ist, gar nicht zu verwechseln ist.

In einem Gehäuse (Abb. 1315) sind hinter einer roten Linse r und einer grünen Linse g Glühlampenspaare angebracht, von denen nur die vordere Lampe voll leuchtet; die hintere Lampe dagegen soll beim Durchbrennen der vorderen aufleuchten. Die roten Glühlampen haben nur 5 HK. Zur Abgabe der vollen Lichtstärke braucht die vordere Lampe 8 V, die hintere 14 V. Die hinter der grünen Linse stehende vordere Lampe braucht 120 V, die hintere 130 V, beide haben bei voller Spannung 10 HK. Die grün geblendeten Lampen haben einen größeren Sockel, um Verwechslungen zu vermeiden.

Links in der Laterne sitzen zwei Spulen auf einem Eisenkern E und ein sich selbst regelnder Eisenwiderstand EW . Für die Signallampen werden vom Transformator T_1 16 V für das rote und 110 V für das grüne Licht entnommen.

Die Schaltung der Lampe ist folgende (Abb. 1315). Aus dem Transformator T_1 werden 16 V der Signallampe nach der stark ausgezogenen Linie zugeführt. Der Strom geht durch einen Eisenwiderstand EW , hinter dem er sich einmal über zwei nebeneinander geschaltete Lampen, das andere Mal über eine auf einem Eisenkern E sitzende Spule R verzweigt. Hinter den Lampen und der Spule R gehen die beiden Ströme in der gestrichelten Leitung zurück. Der in der stark ausgezogenen Linie fließende Strom hat 16 V, beim Durchfließen des Eisenwiderstandes E fällt der Strom auf 8 V; diese Spannung genügt, um die rote Lampe leuchten zu lassen. Die daneben geschaltete hintere Lampe brennt mit Unterspannung (14 V).

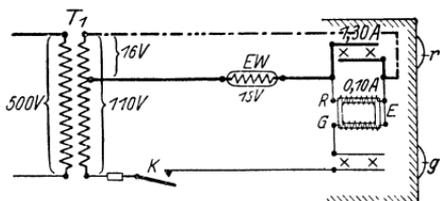


Abb. 1315. Lichtsignal.

¹⁾ Sicherungswerke im Eisenbahnbetriebe von Schubert-Roudolf S. 559 u. f. Kreidels Verlag München 1925.

²⁾ Ebenda S. 249 u. f. u. S. 258.

Der in Abb. 1315 dünn gezeichnete Stromkreis der grünen Lampe ist durch den Kontakt am Relais *A* unterbrochen. Sobald nun ein Zug aus dem von dem Relais *A* überwachten Gleisabschnitt ausfährt, schließt *A* den unterbrochenen Kontakt für den Stromkreis der grünen Lampen. Es entsteht dann der Stromlauf in der Abb. 1309.

Es geht von dem Transformator ein zweiter Stromkreis von 110 V ab durch eine Sicherung zum Kontakt des Relais *A* nach den grünen Lampen, die ebenfalls nebeneinander geschaltet sind, durch die Spule *G*, deren Windungen auf den Eisenkern *E* der Spule *R* mit aufgewickelt sind, und dann durch die für 16 und 110 V gemeinsame punktierte Rückleitung zum Transformator T_1 zurück. Der Strom von 110 V in den Windungen der Spule *G* ist so gewählt, daß das in der Nebenspule *R* vom 8-V-Strom erzeugte Wechselfeld aufgehoben wird. Der induktive Widerstand in der Spule *R* vermindert sich so, daß sich der Stromdurchfluß erhöht. Der jetzt durch den Eisenwiderstand *EW* gehende stärkere Strom erwärmt dessen dünne Drahte stärker und ruft eine Erhöhung des Widerstandes hervor, der nicht mehr 8 V, sondern 15 V verzehrt, somit an der Transformatorspannung nur 1 V übrig ist. Bei dieser Spannung leuchten die 8- und 14-V-Lampen nicht mehr. Daher muß die zweite rote Lampe nicht für 8 V, wie die erste, sondern für 14 V gebaut sein, um für die 8-V-Lampe beim Durchbrennen in der mit halber Spannung brennenden Lampe einen sicheren Ersatz zu haben.

Die Lichtsignale haben nur einen Kontakt am Relais, und zwar für die grünen Lampen, während die roten Lampen nicht durch Unterbrechung des Stromkreises, sondern durch Widerstandsänderungen unwirksam gemacht werden.

Von der guten Sichtbarkeit der Signale hängt die Sicherheit auf den Eisenbahnen ab. Lichtflächen, wie sie das Parabolsignal hat, sind besser¹⁾ als die einzelnen farbigen Lichtpunkte der Lichtsignale, die besonders in den Gefährpunkten, in den Bahnhöfen, schwer zu erkennen sind; sie heben sich von den weißen intensiven Starkstromlichtern zu wenig ab, die die farbigen Lichter in ihrer Nähe überstrahlen. Im grellen Sonnenlicht werden die farbigen Lichtsignale sehr schwer zu sehen sein.

(2033) **Zugbeeinflussungsapparate** für Fernbahnen sind noch im Versuchsstadium. Es wird erprobt, durch Magnetspulen, die übereinander hinstreichen, Zeichen auf der Lokomotive zu geben und ein Relais zu beeinflussen, das die Bremse des Zuges auslöst. Ferner wird auf drahtlosem Wege mit Wechselströmen hoher Frequenz die Aufgabe zu lösen versucht. Zur Einführung auf den deutschen Staatsbahnen ist noch keiner dieser Apparate gelangt.

Feuer- und Polizei-Telegraphie.

(2034) **Die Feuertelegraphie** unterscheidet sich von der Polizeitelegraphie dadurch, daß bei jener die Verbindung zwischen den Meldern und der Feuerwache den wichtigsten Teil bildet, während die Polizeitelegraphie vornehmlich die Verbindung zwischen den Dienststellen untereinander bezweckt. Die Polizeitelegraphie wird in neuerer Zeit durch ein Leitungsnetz ergänzt, welches die Verbindung zwischen den im Außendienst befindlichen Beamten und den Wachen ermöglicht. Dies wird durch eine Einrichtung erreicht, die derjenigen einer Feuermeldeanlage im Prinzip gleichartig ist.

Feuertelegraphie.

(2035) **Die Feuermelder.** In der Stadt verteilt, werden als öffentliche Melder in Straßen und als Privatmelder in den Häusern Kästen angebracht, welche ein mechanisches Laufwerk in Verbindung mit einer Kontaktvorrichtung enthalten. Mittels eines nach Zerschlagen einer Glasscheibe zugänglich werdenden Druckknopfes oder Zugriffes wird das mit einer vorgespannten Feder versehene Werk ausgelöst und eine Typenscheibe in Umdrehung versetzt.

¹⁾ Zeitung des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen Nr. 44 vom 29. Okt. 1925.

(2036) **Leitungsnetz.** Die Verbindung der Melder mit der Feuerwache geschah früher als Strahlenleitung mit Erde und findet sich auch heute noch in älteren Anlagen. Abb. 1316 zeigt ein solches Leitungsnetz. In allen neueren Anlagen wird die Verbindung ausschließlich als Schleifenleitung bewirkt. Ein solches Netz zeigt Abb. 1317). Der Sicherheit wegen wird jeder Melder mit einem besonderen Erdkontakt ausgerüstet und auch die Mitte der Stromquellen an Erde gelegt. Daraus ergibt sich im Falle eines Leitungsbruches ein zweiter Weg

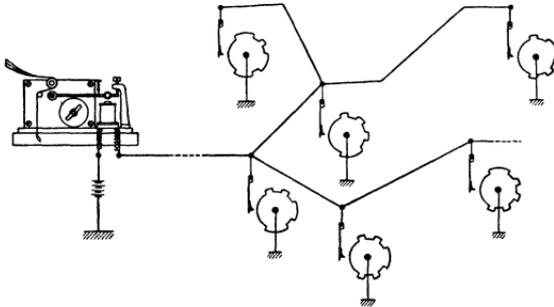


Abb. 1316. Schaltung einer älteren Feuermeldeanlage (Strahlenleitung).

über Erde. Kabelleitung wird in großen Städten ziemlich allgemein, Freileitung vorwiegend in kleineren Städten verwendet. Bei sachgemäßer Verlegung bewährt sich isolierte Freileitung sehr gut.

(2037) **Stromquellen.** Als solche finden sich nur noch Akkumulatoren Anwendung. Es empfiehlt sich nicht, zu kleine Typen zu wählen, wengleich der Stromverbrauch gering ist. In jedem Falle muß für jede Linie eine Doppelbatterie vorhanden sein, damit bei Störungen in einer Batterie die zweite stets aufgeladen zur Verfügung steht. Die Ladeschalter müssen so eingerichtet sein, daß beim Umschalten von einer Batterie auf die andere keine Stromunterbrechung eintritt (Abb. 1318).

(2038) **Kontrollvorrichtungen.** Durch Anwendung von Ruhestrom ist die Kontrolle über Leitungsbruch durch Abfall des Ankers am Empfangsrelais oder Registrierapparat gegeben. Durch Einschaltung eines Strommessers wird diese Kontrolle ergänzt, so daß auch Nebenschlüsse durch größeren Zeigerausschlag erkennbar werden. Für mehrere Schleifen meist gemeinsam, gegebenenfalls für jede einzelne Schleife, wird ferner eine Erdschlußkontrolle vorgesehen. Zu diesem Zweck wird auf der Zentrale über ein Meßinstrument und ein Relais mit hohem Widerstand die Schleifenleitung an Erde gelegt. Bei kleinem Erdschluß in der Linie schlägt der Zeiger des Instrumentes aus, bei größeren Erdschlüssen schaltet das Relais einen Wecker ein, wie aus Abb. 1319 erkennbar.

(2039) **Sicherheitseinrichtungen.** Wie bereits gesagt, erfolgt die Feuermeldung nicht nur über die Schleife, sondern auch über Erde; jedoch wird die Erdverbindung erst bei Auslösung des Melders automatisch hergestellt. Auf der Zentrale werden die Meldungen von zwei verschiedenen Geräten oder von einem mit doppelter Registriervorrichtung aufgenommen. Bei auftretendem Leitungsbruch

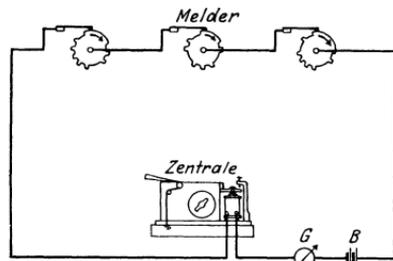


Abb. 1317. Schaltung einer Feuermeldeanlage mit Ruhestrom.

wird selbsttätig die Batteriemitte an Erde gelegt, so daß die Meldung über Erde eingehen kann. Bei gleichzeitiger Auslösung zweier Melder aus einer Schleife wird jede der beiden Meldungen über eine Schleifenhälfte von den Registrierapparaten aufgenommen. Schließlich wird durch besondere Ausgestaltung der

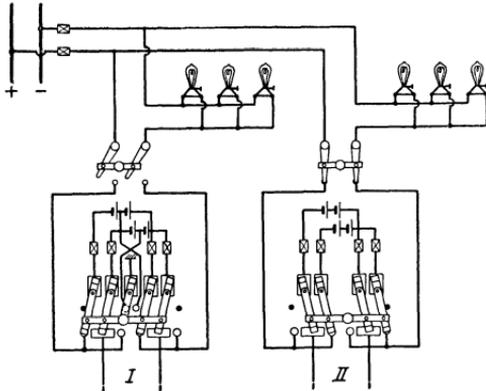


Abb. 1318. Batterieumschaltung für Sicherheitsanlagen (Siemens & Halske).

wird in Abb. 1320 dargestellt (1490). Diese auf jeder Seite der Ringlinie erforderliche Schutzeinrichtung wird ergänzt durch Spitzenblitzableiter, welche in jedem Melder vorgesehen sind. Höhere Spannungen, über 1000 Volt, überspringen den Luft-

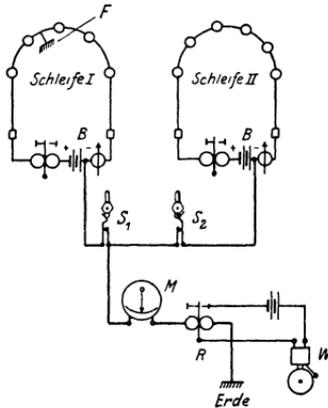


Abb. 1319. Schaltung einer Feuermeldealanlage mit Erdschlußkontrolle.

raum bei B und werden außerdem in der Leitung selbst über die Spitzen der Blitzableiter an Erde abgeführt. Entladungen, welche diesen Weg nicht gehen, werden durch den Luftleerblitzableiter V abgeleitet.

Schmelzsicherung. Erhöht sich durch Starkstromübergang die Spannung in der Schleife, so passiert der hierdurch veranlaßte Strom die in einer Glasröhre befindliche Sicherung G [(1491) u. Abb. 132C], welche bei einer Stromstärke von 1 A abschmelzen würde. Schließlich dient als Schutz gegen Kurzschluß in der eigenen Leitung noch die Feinsicherung F (1330, 1792). Diese Sicherungseinrichtung hat sich in den Schleifenleitungen der Meldeanlagen durch Jahrzehnte bewährt, so daß Blitzschäden in solchen Anlagen kaum je in Erscheinung getreten sind.

(2040) Empfangseinrichtungen.

Eine der einfachsten Empfangseinrichtungen (abgesehen von Fallklappentablos) bildet der

Zeigerapparat, wie er zuerst von der Firma Ericsson (Stockholm) entwickelt wurde. Abb. 1321 zeigt die schematische Anordnung eines solchen Apparates einschließlich der Außenschleife, wie er von Siemens & Halske seit langem und in sehr großer Zahl hergestellt wird. Hier ist das Empfangsrelais mit zwei Wicklungen ausgerüstet, so daß bei Leitungsbruch und nach erfolgter Umladung des Erdschalters die Meldungen über je die Hälfte der Batterie und halbe Relaiswicklung zum Empfangsapparat gelangen. Das Linienkontrollinstrument kann gleichzeitig als Erdschlußprüfer durch Druck auf eine Taste verwendet

werden. Die Einrichtung wird ergänzt durch Licht- und Weckersignale, welche Erdschlüsse, Drahtbruch, Telephonanruf und Feuermeldung sofort in Licht-

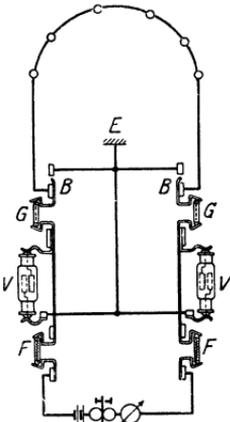


Abb. 1320. Sicherungsanordnung für Ringschleifen.

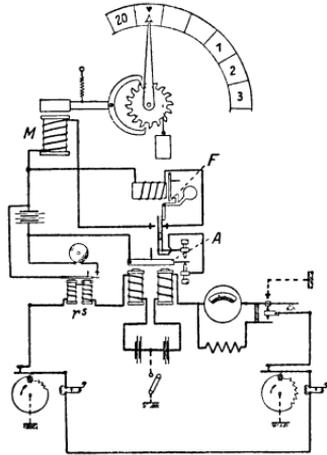


Abb. 1321. Schaltung einer Feuermelde-Zentrale nach dem Zeigerapparatsystem

schrift bekanntgeben. Eine solche Zentraleinrichtung ist außerordentlich einfach zu überwachen und zu bedienen, auch sind die Melder, welche zu einer solchen Anlage gehören, entsprechend einfach und übersichtlich ausgeführt.

Für größere Anlagen ist die Anwendung von Registrierapparaten unerlässlich. Eine weit verbreitete Schaltungs-

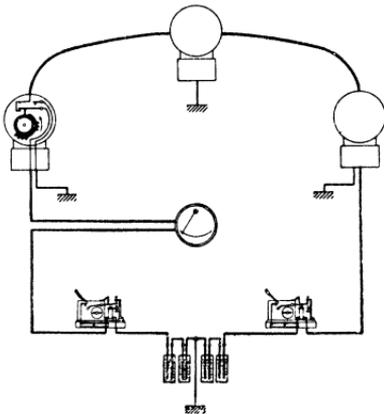


Abb 1322 Morsesicherheitsschaltung.

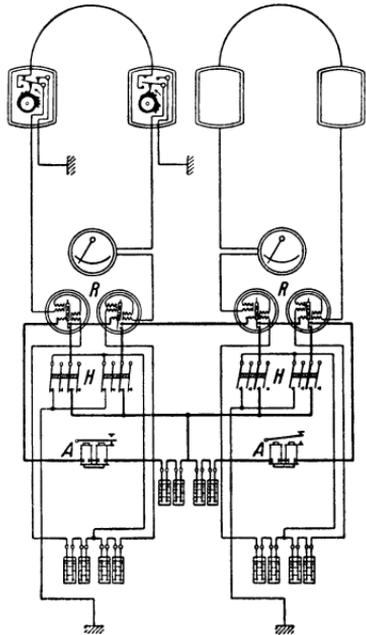


Abb. 1323. Schaltung der Siemens-Systeme I und II.

art, welche unter dem Namen Morsesicherheitsschaltung bekannt ist, ist in Abb. 1322 gekennzeichnet. Anlagen dieser Art wurden von den Firmen

Gross & Graf, Mix & Genest, Siemens & Halske u. a. ausgeführt. Aus dem Stromlauf ist erkennbar, daß nicht nur bei Leitungsbruch die Meldungen über Erde eingehen, sondern daß nach der Schaltung von Siemens & Halske, die diesem Schaltbild zugrunde liegt, auch die Meldungen unverstümmelt von je einem der beiden vorgesehenen Registrierapparate der Schleife aufgenommen werden.

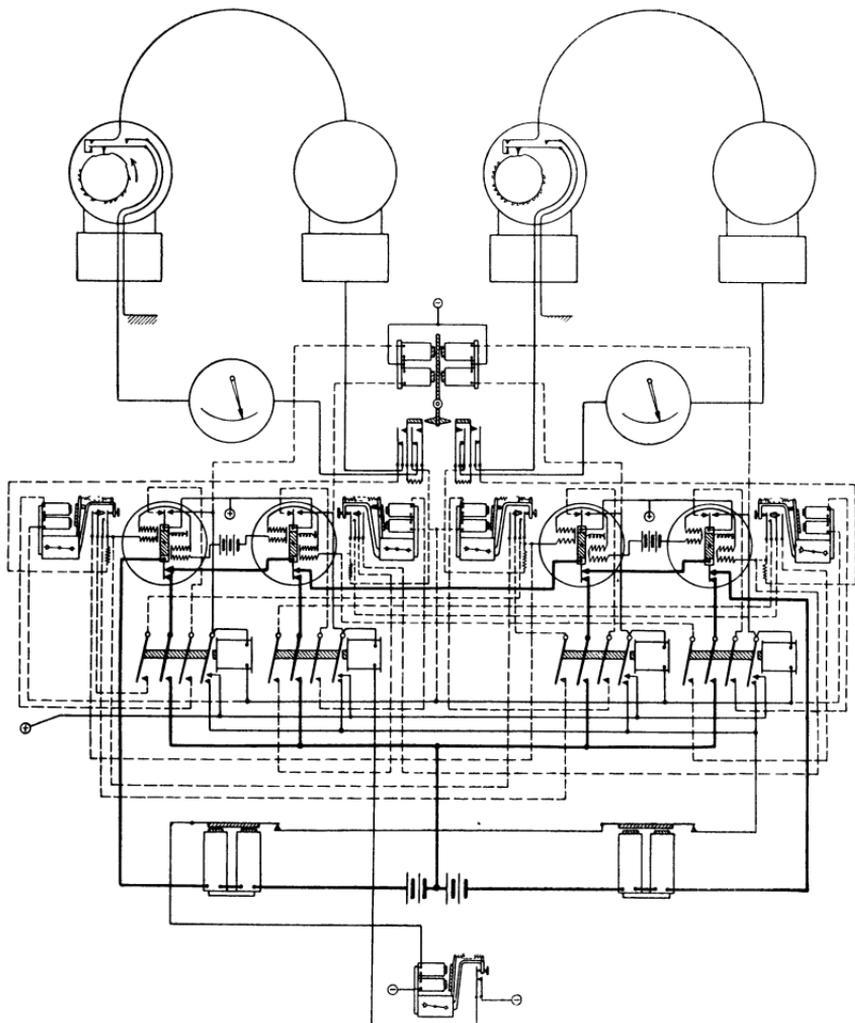


Abb. 1324. Schaltung des Siemens-Systems III.

Die Schaltung, welche seit etwa 10 Jahren in größeren Anlagen fast ausschließlich Anwendung findet, ist die der Siemens-Systeme I, II und III, die in Abb. 1323 im Prinzip gekennzeichnet ist. Die Unterschiede zwischen den Systemen I und II bestehen nur in dem verschiedenartigen Ausbau der Alarmeinrichtung. Die Schaltung ist in beiden Fällen die gleiche. Dem Siemens-System III aber liegt eine andere Schaltung zugrunde (Abb. 1324). Dieses System bietet die

weitestgehende Sicherheit, besonders dadurch, daß, wie vorerwähnt, die Auslösung beliebig vieler Melder, gleichgültig aus welchem Abschnitt der Anlage, zu keinem Ausfall von Meldungen oder Verstümmelung des Alarms führt. Abb. 1325 zeigt einen Melder für Siemens-System III.

(2041a) Alarmeinrichtungen. Die Alarmierung der Feuerwehr gestaltet sich verschieden, je nachdem, ob Berufsfeuerwehr oder freiwillige Feuerwehr in Frage kommt. Erwünscht ist, daß nach Möglichkeit die Alarmierung ohne Zutun von Menschen vor sich geht, um jede Verzögerung auszuschalten. Deshalb werden an den Feuermelder-Empfangseinrichtungen automatische Schalter angebracht, die bei der

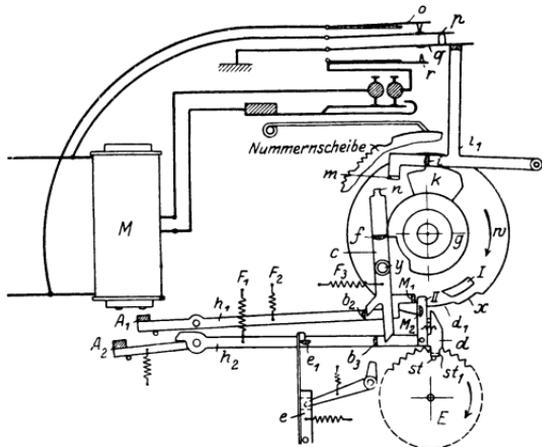


Abb. 1325. Laufwerk und Schaltung eines Feuermelders (Siemens-System III).

Meldung den Alarm einschalten. Bei Anwendung von Rasselweckern darf aber nicht jede Unterbrechung den Alarm auslösen; um dies zu verhindern, wird erst durch mehrmaliges Ansprechen des Aufnahmerelais der Wachalarm eingeschaltet. Ein andersartiger Alarm erfolgt bei dem Siemens-System II und III. Hier wird die Nummer des ausgelösten Melders, welche den Standort kennzeichnet, in zu Zahlen gruppierten Einzelschlägen von Weckern signalisiert; ferner erscheint an Lichttablos, die in beliebiger Zahl im Feuerwehrgebäude verteilt sein können, die Nummer in Lichtschrift. Bei diesen beiden Systemen spielt sich der Eingang der Meldungen, der Alarm und die Inruhestellung des gesamten Apparatmaterials völlig selbsttätig ab, so daß also überhaupt keine Bedienung durch den überwachenden Feuerwehrmann erforderlich ist. Der Grundgedanke dieser Alarmierung war schon vor 40 Jahren in Deutschland bei freiwilligen Feuerwehren verwirklicht. Für Berufsfeuerwehren wurde diese Alarmmethode in Amerika von der Gamewell-Company ausgeführt. An Stelle des Lichttablos fand von Seiten dieser Firma ein

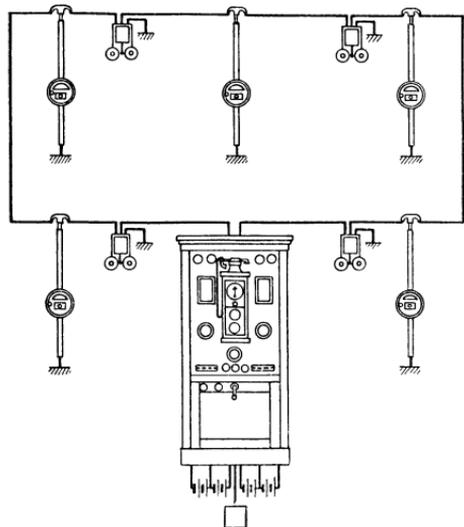


Abb. 1326. Gesamtschaltung einer Zeigerapparat-Anlage.

sogenannter Nummernapparat Verwendung, wie ihn die Siemens & Halske A.G. für Polizeimelderanlagen herstellt.

Anders gestaltet sich der Alarm bei freiwilligen Feuerwehren. Abb. 1326 zeigt eine Meldelinie mit eingebauten Alarmweckern. Es ist ersichtlich, daß für Melder und Wecker nur eine Leitung erforderlich ist. Aus der Abb. 1327 ist ferner erkennbar, daß die Wecker Magnetsysteme mit doppelter Wicklung besitzen, von welchen die eine an Erde gelegt ist. Diese Erdverbindung ist durch einen Konden-

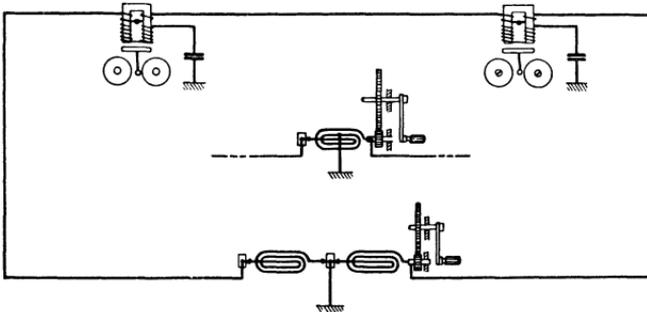


Abb. 1327. Alarmweckeranlage mit Sicherheitsschaltung.

sator verriegelt, läßt also Gleichstrom nicht durch. Wird dagegen bei geschlossener Schleife mittels eines Induktors Wechselstrom in die Linie gegeben, so durchfließt dieser die niedere Wicklung der Wecker und setzt diese in Tätigkeit. Bei einem Leitungsbruch in der Anlage findet der Wechselstrom des Induktors seinen Weg über die hochohmigen, parallel an Erde liegenden Wicklungen. Die Alarmeinrichtungen bewirken den sogenannten stillen Alarm; dieser wird deshalb bevorzugt, weil nur die Feuerwehrleute in ihren Wohnungen mit Sicherheit alarmiert werden sollen, dagegen außer der Feuerwehr niemand in der Stadt. Der unliebsame Zulauf müßiger Zuschauer fällt somit fort.

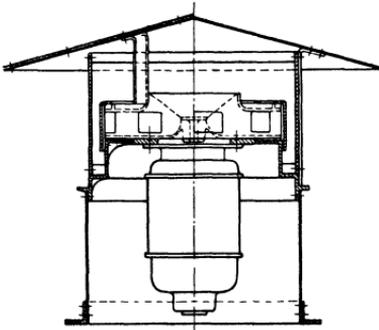


Abb. 1328. Elektrische Alarmsirene.

Alarmsirenen. Da, wo sich ein öffentlicher Alarm nicht vermeiden läßt, wie z. B. in Landstädten, deren Einwohnerschaft besonders während der Sommermonate im Felde beschäftigt ist, sind elektrische Alarmsirenen zu empfehlen. Diese bestehen aus einem Motor, welcher sich dem Ortsnetz anpaßt, und einem Schaufelrad, welches in einer eng umschließenden Kammer umläuft. Wird die Sirene in Bewegung gesetzt, so wird die Luft durch die im Umfangsmantel be-

findlichen Öffnungen hinausgedrückt und so ein intensives Geräusch erzeugt. Abb. 1328 zeigt schematisch die Anordnung einer elektrischen Alarmsirene.

(2041 b) Privatfeuermeldeanlagen. In Theatern, größeren Geschäftshäusern, Fabriken usw. wird meist die Anschaffung von eigenen Feuermeldern polizeilicherseits gefordert. Die gewöhnlich in Holzkästen untergebrachten Feuermelderlaufwerke erhalten dann eine elektrische Auslösevorrichtung, so daß der Melder über lokale Schaltungen mittels Druckknöpfen, die an den verschiedensten Stellen untergebracht sein können und über ein Tablo von beliebig viel Stellen ausgelöst werden kann. Dabei gibt die fallende Klappe im Tablo

die Stelle an, welche die Auslösung des Hauptmelders bewirkt hat. Sehr wichtig und neuerdings in größerem Umfang eingeführt sind die selbsttätig wirkenden Feuermelder, die ebenso wie ein Druckknopfmelder über das Tablo den Hauptmelder auslösen, wenn eine kritische Temperatur in dem Raum auftritt, in welchem der Melder installiert ist.

Abb. 1329 zeigt schematisch den selbsttätigen Melder der Firma Schöppe, während Abb. 1330 den Maximalmelder und Abb. 1331 den Differentialmelder der Firma Siemens & Halske zeigen. Die Melder Abb. 1330 und Abb. 1331 beruhen auf der Formänderung eines Doppelmetallstreifens bei Erwärmung. Der U-förmige Metallstreifen (Abb. 1332) besteht aus unter starkem Druck zusammengesweißtem Eisen- und Messingblech.

Durch die Anordnung der Kontakte ist es möglich, die Melder für Ruhe- oder Arbeitsstrom zu benutzen. Die Verwendung von Ruhestrom ist vorzuziehen, da dieser immer die größere Betriebssicherheit gewährt. Das U-förmige Glasrohr, Abb. 1333, welches beim Differentialmelder Verwendung findet, ist teilweise mit Quecksilber gefüllt, über dessen Spiegel sich in beiden Schenkeln eine leicht verdampfende Flüssigkeit in dem sonst luftleeren Raum der Schenkel

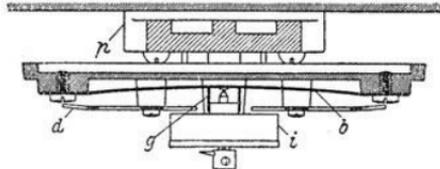


Abb. 1329. Selbsttätiger Feuermelder (System Schöppe).

Die Verwendung von Ruhestrom ist vorzuziehen, da dieser immer die größere Betriebssicherheit gewährt. Das U-förmige Glasrohr, Abb. 1333, welches beim Differentialmelder Verwendung findet, ist teilweise mit Quecksilber gefüllt, über dessen Spiegel sich in beiden Schenkeln eine leicht verdampfende Flüssigkeit in dem sonst luftleeren Raum der Schenkel

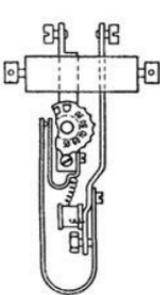


Abb. 1330. Selbsttätiger Maximal-Feuermelder (Siemens & Halske).

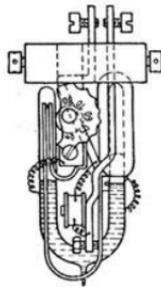


Abb. 1331. Selbsttätiger Differential-Feuermelder (Siemens & Halske).

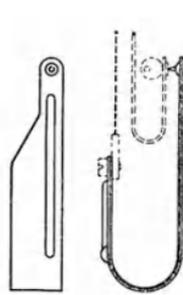


Abb. 1332. System des Maximalmelders.

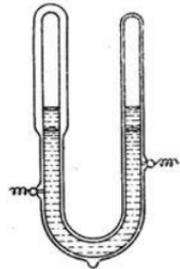


Abb. 1333. System des Differentialmelders.

befindet. Der eine der beiden Schenkel ist, wie Abb. 1333 zeigt, sehr dünnwandig, so daß eine schnell ansteigende Erwärmung die Flüssigkeit in diesem Schenkel schneller verdampft als in dem dickwandigen und das Quecksilber herunterdrückt. In das Innere des dünnwandigen Rohres ragen eingeschmolzene stromführende Silberdrähte. Wird das Quecksilber unter den ersten Draht herabgedrückt, so wird der Stromkreis geöffnet. Um Feueralarm durch Drahtbruch zu vermeiden, wird durch die Melderkontakte nur eine Stromschwächung herbeigeführt, auf welche allein die Zentraleinrichtung „Feuer“ meldet. Bei Drahtbruch spricht ein zweites Relais an und kennzeichnet den aufgetretenen Fehler ohne Feueralarm.

Polizeitelegraphie.

(2042) Allgemeines. Die Verbindung der Polizeiwachen einer Stadt untereinander und mit der Zentralstelle der Polizei bildet den Kern der Polizeitele-

graphenanlage (1334). Für diese können alle in der Telegraphie üblichen Einrichtungen, wie Morsefahrschreiber, Ferndrucker usw., vor allem aber auch die Fernsprecher in jeder Form Verwendung finden. Der außerordentlich gesteigerte Verkehr in allen großen Städten Europas macht es zur Notwendigkeit, die seit langem in Amerika gebräuchlichen Polizeimelderanlagen als Ergänzung der eigentlichen Polizeitelegraphenanlage zur Anwendung zu bringen. Unter den großen in Amerika ausgeführten Polizeimelderanlagen wurden von Siemens & Halske im Jahre 1907 in Rio de Janeiro und 1912 in Winnipeg Anlagen geliefert und installiert. Der Zweck dieser Einrichtungen ist, den unterwegs befindlichen Polizeibeamten die Möglichkeit zu geben, von der Straße aus ihre Wachen anzurufen, und andererseits sollen die unterwegs befindlichen Polizeibeamten von den Wachen aus gerufen werden können.

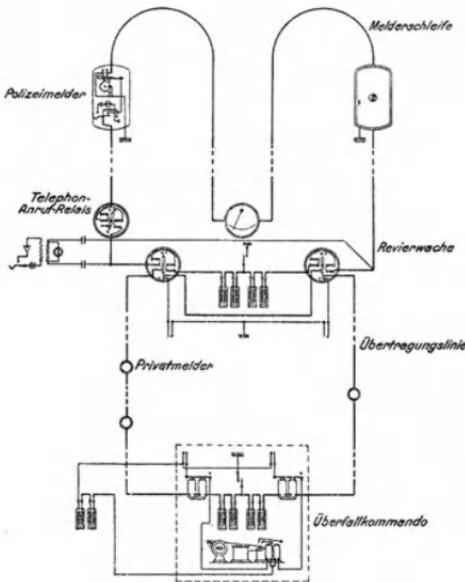


Abb 1334. Gesamtschaltung einer Polizeimelderanlage.

erkennen lassen, daß es sich nicht um einen Hilferuf handelt. Außerdem ist im Melder ein Fernsprecher vorgesehen, so daß der Polizeibeamte nötige Ergänzungen zu einer Meldung telephonisch abgeben kann. Die vorerwähnte Vorzeicheneinrichtung ist besonders wertvoll überall da, wo durch starken Straßenlärm oder aus anderen Gründen die alleinige Benutzung des Fernsprechers unvorteilhaft ist. Selbstverständlich kann die Einstellvorrichtung fortfallen, wenn man sich mit der Benutzung des Telefons und Abgabe der Meldernummer begnügen will.

Die eingehenden Meldungen werden von einem ähnlichen Apparat aufgenommen, wie er bei Feuermelderanlagen beschrieben wurde. Auch sind sämtliche schaltungstechnischen Neuerungen und Fortschritte im Fernmeldewesen auf dieses Gebiet übertragen, nur ergibt sich mit Rücksicht darauf, daß die Polizei im allgemeinen viel mehr Unterwachen hat, als die Feuerwehr, eine andersartige Verteilung bzw. Gruppierung der Melder und unter Umständen auch eine andersartige Leitungsführung. Abb 1334 zeigt die Anordnung der Melder derart, daß telephonische Meldungen an die dem Polizeimelder *RM* zunächst liegende Revier-

(2043) Meldeeinrichtungen.

Wie bei Feuermelderanlagen, werden auf den Straßen Meldekästen angebracht, die aber nicht mit Glasscheibe und Auslösehandgriff ausgerüstet sind, sondern mit einer festen Tür, die von jedem Polizeibeamten mit einem geeigneten Schlüssel geöffnet werden kann. An einer Innentür des Melders befindet sich eine Skala mit einstellbarem Zeiger, so daß die Möglichkeit gegeben ist, durch Einstellen neben der Nummer, die den Standort des Melders charakterisiert, bekannt zu geben, welche besondere Hilfe an der Meldestelle erforderlich ist, z. B. kleine Polizeihilfe, große Polizeihilfe, Krankenwagen, Kriminalpolizei und ähnliches. Durch konstruktive Einrichtung des Werkes können auch Kontrollmeldungen von den Polizeistreifen abgegeben werden, welche durch Vorzeichen und Eigenart des Eingangs der Meldungen

wache abgegeben werden können. Wird dagegen das Melderlaufwerk ausgelöst, so geht die Meldung selbsttätig ohne Umschaltung an das Überfallkommando weiter.

(2044) Wecker und Signallampe. Um die unterwegs befindlichen Sicherheitsbeamten und Stehposten an die nächstgelegenen Melder heranzurufen, wird über den in Frage kommenden Meldern eine Signallampe und ein Signalwecker angebracht. Mittels besonderer Schalter und Relais können von der Zentrale aus die Lampen oder Wecker eingeschaltet und so Signale gegeben werden. Außerdem kann mit Hilfe eines besonderen Gebers in mehrmaliger Wiederholung eine eingestellte Nummer übertragen werden, so daß die unterwegs befindlichen Streifen die Nummer abhören und eventuell erkennen können, von welchem Melder aus Hilfe gewünscht wird (Abb. 1335).

(2045) Privatpolizeimelder. Eine Ergänzung der öffentlichen Polizeimeldernanlagen ermöglicht die Verwendung von Privatmeldern. Diese werden in Privathäusern, Banken usw. angebracht und sind mit einem plombierten Zugriff und einer elektrischen Auslösung ausgerüstet. Mittels letzterer ist die Möglichkeit gegeben, durch Nebenmelder und automatisch wirkende Einrichtungen den Melder elektrisch auszulösen.

(2046) Raumschutzanlagen. Diese automatisch wirkenden Einrichtungen bilden eine wichtige Ergänzung zu den Privat-Polizeimeldern. Die Innenräume werden durch besonders konstruierte Sicherheitskontakte geschützt. Die Sicherheitskontakte sind in verschiedenen Formen je nach der Anwendungsart ausgebildet, wie z. B. Tresorkontakte, Fenster- und Türkontakte, Gabelkontakte für Vorhänge und ähnliches, sowie Rollen- und Fußbodenkontakte.

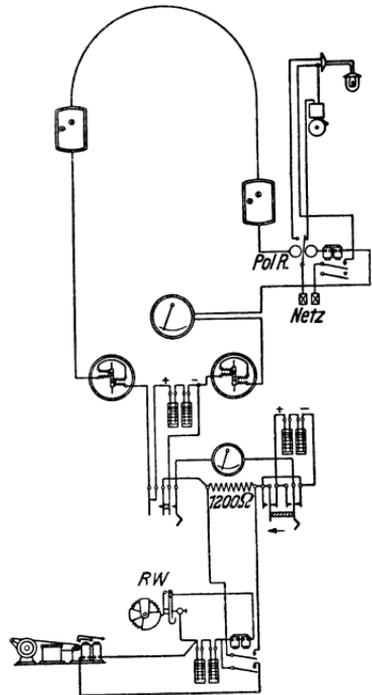


Abb. 1335. Schaltung des Melderanrufes.

Elektrische Signal-Fernmelde- und Meßapparate.

(2047) Allgemeines. Als Fernmelder im engeren Sinne bezeichnet man Apparate, die Vorgänge irgendwelcher Art auf mehr oder weniger große Entfernung elektrisch übertragen und am Empfangsorte hör- oder sichtbar machen, erforderlichenfalls auch aufzeichnen. Entsprechend den vielen Anwendungsgebieten sind auch die Formen und Ausführungen der Fernmelder nicht minder zahlreich. Im allgemeinen lassen sich folgende Gruppen aufstellen: Einfache Alarmeinrichtungen und Sicherungsapparate gegen Einbruch, Signal- und Befehlsmelder für Eisenbahnen, Bergwerke, Schiffe, Werften usw., Wasserstandsfernmelder, Fernzeiger für Umdrehungsgeschwindigkeiten, Fernmesser für Temperatur- und Druckschwankungen, Apparate zur Überwachung der Feuerungsanlagen und elektrische Leitkabel zur Orientierung der Schiffe in Hafeneinfahrten usw.

Jede Fernmeldeanlage muß wenigstens aus einem Geber und einem Empfänger bestehen, die durch Leitungen miteinander verbunden sind. Ferner hat

jeder Änderung oder Einstellung am Geber eine bestimmte Änderung oder Einstellung am Empfänger zu entsprechen.

(2048) Signalkontakte und Sicherungsapparate gegen Einbruch. Zur Sicherung von Türen, Treppenaufgängen usw. dienen einfache Arbeitskontakte, die einen Wecker einschalten. Für Fenster benutzt man Fadenkontakte; ein gespannter Faden wird beim versuchten Eindringen zerrissen oder beiseite gedrückt, öffnet oder schließt zwei Kontakte und setzt so den Wecker in Bewegung. Auch von Schmelzsicherungen wird vielfach Gebrauch gemacht (W. Blut, ETZ 1919, S. 157).

Tretkontakte werden im Fußboden, z. B. unter Schreibtischen, angebracht, um in bequemer, wenig bemerkbarer Weise mit dem Fuß Signale zu geben. Unter Dielenbrettern, Treppenstufen, Teppichen oder Läufern angeordnet, lösen sie ein Alarmsignal aus, sobald Personen die Räume betreten. Manchmal ist es erforderlich, zeitweise den Tür-, Fenster- oder Tretkontakt abstellen zu können, z. B. wenn er nur während der Nachtzeit oder beim Türkontakt nur beim Betreten oder nur beim Verlassen des Raumes in Tätigkeit treten soll. Für diese Fälle wird die Kontaktverrichtung mit einem entsprechenden Umschalter versehen.

Für Tresors, Kassengewölbe usw. verwendet man empfindlichere Anordnungen in Verbindung mit besonderen Sicherheitsschaltungen; Ruhestrombetrieb bildet hier die Regel. — Der Sicherungsapparat Argus (A.-G. M & G). Ein rohrförmiges Kontaktpendel wird vor der Tür des Kassenschranke aufgehängt, so daß es mit einem Querstift gegen diese drückt. Wird nun das Pendel z. B. beim Eindringen der Tür nach innen bewegt, oder wird es nach außen abgehoben, in jedem Falle bewirkt es das Einschalten des Alarmweckers. — Bei der Kassensicherung Atlas von M & G halten sich in drei Leitungszweigen die EMKe das Gleichgewicht; jede Änderung des Gleichgewichtszustandes (Kurzschluß, Unterbrechung usw.) bewirkt einen Alarm. Erschütterungen des Geldschranke durch gewaltsames Bearbeiten der Tür werden infolge Lageveränderung einer auf drei Kontaktspitzen ruhenden Silberkugel gemeldet. — Die Tresorsicherung von S & H besitzt ein empfindliches Hebelsystem; es wird so eingestellt, daß bei Erschütterungen ein langer Hebelarm mindestens einen von zwei Ruhekontakten unterbricht, dadurch den Ruhestromkreis öffnet, worauf Relaisanker abfallen und die Alarmwecker einschalten. Sicherungen gegen Drahtbruch und Nachlassen der Batterie sind bei dem System vorgesehen (Esselborn: Lehrb. d. Elektrotechnik, 2. Bd., S. 482. — Goetsch: Taschenb. f. Fernmeldetechn., S. 90). — Die Firma W. Blut fertigt einen Kassensicherungsapparat, der auf einer Brückenschaltung beruht (ETZ 1925, S. 150). — Neuerdings hat man auch versucht, von der Eigenschaft des Selens, bei wechselnder Belichtung seinen Widerstand zu ändern, Gebrauch zu machen (Schmidt, G.: El. Anz. 1920, S. 70. — Lewin, ETZ 1922, S. 331). — Die Süddeutsche Tel. App. Kabel u. Drahtwerke-A.-G. stellt ein Sicherheitsferschloß mit Kontrolleinrichtung her (Helios, Exp.Z. 1920, S. 2507). — Elektrische Türverriegelungen in Bankhäusern usw., ausgeführt von S & H, haben den Zweck, verdächtige Personen am Verlassen der Räume und des Gebäudes zu hindern; durch Druck auf einen Knopf werden Festhaltungen entriegelt und die Türen schließen sich durch Federkraft (K. Schmidt, Helios-Fachz. 1919, S. 305).

S & H versehen Sicherungskontakte, die sich selbsttätig auf Hochstempfindlichkeit einstellen, mit einem Magnete, der sie erst bei Einschaltung der Anlage betriebsbereit macht. Fehlalarme, infolge unvermeidlicher Feuchtigkeits- und Temperaturveränderungen der zu schützenden Objekte, sind dadurch vermieden

(2049) Signal- oder Befehlsgeber finden überall dort Verwendung, wo der Betrieb durch bestimmte Signale geregelt werden muß, weil eine Sprachverständigung infolge starker Geräusche oder aus andern Ursachen zu Mißverständnissen

führen kann. Von der großen Zahl der bestehenden Systeme seien hier nur einige derjenigen kurz erläutert, welche eine praktische Anwendung gefunden haben.

1. Glühlampenfernmelder. An der Empfangsstation sind soviel Glühlampen vorhanden, wie Zeichen oder Befehle gegeben werden sollen. An der Geberstation ist die gleiche Anzahl Kontakte vorgesehen und jeder dieser Kontakte mit einer Glühlampe an Empfänger verbunden. Wird einer der Kontakte geschlossen, so leuchtet die entsprechende Glühlampe auf und beleuchtet, z. B. eine Aufschrift auf einer vor ihr angebrachten Glasscheibe. Hierbei sind ebensoviel Verbindungsleitungen zwischen Geber und Empfänger erforderlich, wie verschiedene Zeichen gegeben werden sollen, und außerdem eine gemeinsame Rückleitung, die gleichzeitig als Leitung für den Anrufwecker dienen kann.

2. Fallklappen können an Stelle der Glühlampen Verwendung finden (Esselborn: Lehrb. d. Elektr., 2. Bd., S. 507).

3. Der Zugabrufer von S & H gibt die Richtung und die Art des Zuges an. Der Geber ist ein mehrteileriger Wahlschalter, der je nach seiner Stellung entsprechend beschriftete Tafeln auf der Empfängerseite (Bahnsteig) erscheinen läßt (Zschr. f. Eisenb.-Sichgs.wesen 1916, Nr. 24; Siemens-Zschr. 1923, S. 178). — Auch für Wartesäle werden solche Apparate, die geringeren Strom als Lichttableaus benötigen, gebaut (Goetsch: Taschenb. f. Fernmeldetechn., S. 102).

(2050) Signalanlagen für Bergwerke. In kleineren Bergwerken begnügt man sich mit der akustischen Signalgebung. Es werden meist Einschlagwecker verwendet, welche in besonders kraftiger, gegen Feuchtigkeit und Schmutz schützender Weise gebaut sind und durch Druck- oder Zugkontakte eingeschaltet werden. Jedes Signal setzt sich aus einer bestimmten Anzahl von Schlägen zusammen, die durch entsprechend vielfaches Ziehen eines der Streckenkontakte gegeben werden. Grundsätzlich müssen sämtliche Wecker ertönen, damit ein Signal an allen Stellen gehört wird. Als Betriebsstrom dient Gleich- oder Wechselstrom bis zu 220 V. Beim Gleichstrombetrieb liegen die Wecker in Reihe, beim Wechselstrombetrieb besser in Parallelschaltung. Im ersten Falle sind drei, im zweiten Fall vier durchlaufende Verbindungsleitungen erforderlich.

Größere Grubenbetriebe benutzen optisch-akustische Signalgebung. Es sind drei Arten von Stellen vorhanden, die zur Regelung des Verkehrs rasch und sicher zu signalisieren haben. Unter Tage liegen die Fullorte oder Sohlen, über Tage die Hängebank und der Maschinenraum. Meist wird von der Sohle das Signal nicht direkt zur Fördermaschine im Maschinenraum gegeben, sondern zunächst nur nach der Hängebank, die erst, nachdem sie ihrerseits fertig ist, das empfangene Signal an den Maschinenraum weitergibt.

Um ein gleichzeitiges Geben mehrerer Sohlen zu vermeiden, und einen richtigen Empfang an der Hängebank sowie eine genaue Weitergabe an den Maschinenraum zu gewährleisten, wenden S & H besondere Sicherheitsschaltungen an (Abel: Siemens-Zschr. 1923, S. 403).

Zur Regelung des Betriebes ist es notwendig, die jeweils fördernde Sohle besonders zu kennzeichnen. Dies geschieht durch Glühlampenleuchttafeln, die an den wichtigsten Punkten (Maschinenraum, Hängebank und Füllorte) aufgestellt sind und von der Hängebank aus bedient werden. An diesen Tafeln wird die Nummer der freigegebenen Sohle sichtbar, außerdem ertönt ein Weckersignal. Gleichzeitig hebt auch die Hängebank die Tastensperrung der fördernden Sohle auf, während sie für die übrigen Sohlen bestehen bleibt, so daß die abgegebenen Signale nicht gestört werden können. Zur Sichtbarmachung der Glockenschlagsignale dienen Kontrollzeiger, die im Maschinenraum und auf der Hängebank aufgestellt sind. Der Kontrollzeiger enthält ein Schrittschaltwerk, das in den Stromkreis der Signalwecker eingeschaltet ist und bei jedem Glockenschlage einen Zeiger um ein Feld weiterspringen läßt. Die Endstellung zeigt die Zahl der Glockenschläge für das Signal. Gibt nun die Hängebank das empfangene Signal zur Ausführung an den Maschinenraum weiter, so schlagen erstens sämtliche Wecker auf den drei Stellen an, zweitens geht ihr Kontrollzeiger schritt-

weise auf Null zurück und drittens rückt der Zeiger des Kontrollapparates im Maschinenraum der Schlagfolge entsprechend vor. Wenn dann die Sohle ein neues Signal nach der Hängebank gibt, so springt der Kontrollzeiger im Maschinenraum auf Null zurück, während der auf der Hängebank jetzt wieder mit jedem Glockenschlage um einen Schritt vorrückt. Auf diese Weise wird eine gegenseitige Kontrolle ausgeübt, und Irrtümer sind so gut wie ausgeschlossen.

Gruppensignale. Statt Einzelschläge können auch Kombinationen von Gruppenschlägen erforderlich werden; jede Gruppe, aus 1, 2 oder 3 Schlägen bestehend, ist von der andern durch kurze Pausen getrennt. Die Gruppen können beliebig zusammengestellt sein, wodurch die Anzahl der zur Verfügung stehenden Zeichen steigt, während ihre Zeitdauer im allgemeinen eine kürzere wird. Hierfür reicht der Kontrollzeiger nicht mehr aus, denn er läßt die Gruppeneinteilung nicht erkennen, da er nur Einzelschläge zählt.

Zur Anzeige von Gruppensignalen verwendet man deswegen andere Apparate. M & G haben eine Einrichtung konstruiert, bei der die Gruppenzeichen auf einer mattierten Glasscheibe mit Hilfe einer Projektionseinrichtung als leuchtende Striche erscheinen. — Der Apparat von S & H enthält neben der Projektionseinrichtung noch eine Registriervorrichtung, die im Falle eines Unglücks den Nachweis ermöglicht, welche Stelle bei der Signalgebung oder der Ausführung ein Versehen begangen hat. Dem aufzeichnenden Apparat liegt folgender Gedanke zugrunde: Bei jedem Glockenschlage wird in ein Papierband, das in derselben Weise wie der Papierstreifen eines Morseapparates vorwärts bewegt wird, ein kleines Loch gestanzt; die Abstände der Löcher entsprechen den Zeitabständen zwischen den einzelnen Glockenschlägen. Das Bild des gelochten Streifens wird stark vergrößert durch eine Projektionslampe auf einen weißen Schirm geworfen und erscheint in einem Spiegel hinter einer Glasscheibe. Auf diese Weise ziehen die Signale in der Reihenfolge, wie sie gegeben werden, hinter dem Glasfenster, das über die ganze Breite des Apparates reicht, als leuchtende Punkte vorüber. Unter dem Fenster leuchtet gleichzeitig die Nummer der signalgebenden Sohle auf. An Hand des gelochten Streifens ist auch später noch eine Kontrolle des Signals möglich.

Literatur: Ryba: Die elektrischen Signalvorrichtungen in Bergwerken. 1906. — Heintz: El. Journal 1921, S. 5, 36. — Bacon: El. World Bd. 76, S. 372. 1921. — Siemens-Z. 1922, S. 388, 411. — ETZ 1925, S. 1944. — El. Anz. 1925, S. 297. — Esselborn: Lehrbuch d. Elektr. 2. Bd. 1924. — Goetsch: Taschenbuch f. Fernmelde-techn. 1925.

(2051) Fernmelder für Schiffe, Werften usw. 1. Das Sechscrollensystem von S & H. Sechs Elektromagnetrollen sind im Empfänger im Kreise angeordnet und bilden die Wicklungen von drei Elektromagneten, deren Polschuhe auf einen im Mittelpunkt des Systems gelagerten Drehanker einwirken. Das eine Ende jeder Wicklung liegt an der Rückleitung, die zur Stromquelle führt; die drei freien Enden sind über Einzellleitungen mit den entsprechenden Segmenten eines Kommutators verbunden, der den Geber darstellt. Auf den Segmenten schleift ein Kontaktarm, der mit dem andern Pol der Stromquelle in Verbindung steht und von dem Handhebel des Gebers gedreht wird. Je nach der Stellung des Kontaktarmes wird der eine oder andere Elektromagnet erregt und der Anker des Empfängers entsprechend eingestellt. Mit Hilfe einer geeigneten Übersetzung im Geber und Empfänger läßt sich die Anzahl der Signale beliebig vermehren. Um den richtigen Empfang eines Signals bestätigen zu können, gibt man der Empfangsstelle ebenfalls einen Geber und der Gebestelle einen Empfänger. In die gemeinsame Rückleitung sind meistens noch Einschlagwecker eingeschaltet, die beim Geben oder Bestätigen eines Signals ertönen und die Aufmerksamkeit erregen (Raps: ETZ 1899, S. 645).

2. Bei einem andern Fernmelder von S & H (Abb. 1336) liegt die Geberwicklung W als Spannungsteiler geschaltet an der Stromquelle. Beim Drehen des Geberhebels schleifen auf der Wicklung drei um 120° versetzte Kontaktarme k_1, k_2, k_3 und führen je nach ihrer Stellung der Läuferwicklung A des Emp-

fängers Ströme verschiedener Stärke und Richtung zu, wodurch im Läufer A ein veränderliches Kraftfeld entsteht; letzteres bewirkt zusammen mit dem unveränderlichen Magnetfeld m_1 , m_2 des Ständers die Drehung des Läufers und damit die des Zeigers (Esselborn: Lehrbuch Bd. 2; Goetsch: Taschenbuch, S. 98).

3. Fernmelder von Neufeldt & Kuhnke, Kiel. Der Geber ist im Prinzip dem vorigen ähnlich, hat jedoch nur zwei Kontaktarme, die um 90° gegeneinander versetzt sind. Der Läufer des Empfängers trägt auf einer Kupfertrommel zwei rechtwinklig zueinander liegende Wicklungen; sie werden von Strömen durchflossen, durch deren Teil- und Richtungsverhältnis ein resultierendes Magnetfeld entsteht, das mit dem Ständerfeld ein Drehmoment erzeugt (Dräger: ETZ 1920, S. 1031).

4. Das Drehfeldfernzeigersystem der AEG. Am Geber ist eine Anzahl Kontakte kreisförmig angeordnet, die untereinander durch abgestufte Widerstände in Verbindung stehen. Zwei diametral entgegengesetzte Punkte dieser Widerstandsanordnung liegen an Plus und Minus der Stromquelle. Von den Kontakten werden durch drei um 120° versetzte Bürsten die Ströme für den Empfänger abgenommen, die sich in ihrer Phase gleichfalls um 120° unterscheiden und nach dem Sinusgesetz verlaufen. Infolgedessen ändert sich das Verhältnis der durch die Empfängerspulen fließenden Ströme bei Spannungsschwankungen des zugeführten Gleichstromes nicht. Die Spulen beeinflussen einen getrennt erregten Anker, der aus zwei z-förmigen Teilen besteht und infolge des erzeugten resultierenden Magnetfeldes nur immer die Lage einnimmt, welche der Stellung des Geberhebels entspricht (ETZ 1900, S. 603).

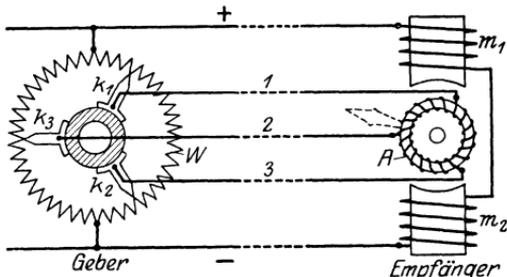


Abb. 1336 Fernzeiger für Gleichstrom (S & H).

5. Das sogenannte Weckerquittungssystem, welches auf dem Prinzip der Wheatstoneschen Brücke beruht, verwendet die AEG in Verbindung mit ihren Fernmeldeapparaten (Esselborn: 2. Bd., S. 506).

6. Der Wechselstromfernmelder von S & H besteht aus je einem gleichzeitig gebauten kleinen Motor als Geber und Empfänger. Den einphasig gewickelten Ständern wird der Betriebsstrom zugeführt, die dreiphasig gewickelten Läufer sind durch Leitungen verbunden und gegeneinander geschaltet. Bei gleicher Feldlage der Läufer sind keine Spannungsunterschiede in ihren Wicklungen vorhanden. Eine Störung der Spannungsgleichheit tritt aber ein, sobald der Geberläufer gedreht wird. Es fließen Induktionsströme zum Empfänger, die seinen Läufer ebenfalls verstellen (Arldt: Deutscher Schiffsbau, 1908, S. 204).

In ähnlicher Weise arbeitet auch die sogenannte „Selsyn“-Einrichtung, jedoch liegt bei ihr die Netzspannung an den Läuferwicklungen (Gen. El. Rev. 1921, S. 210).

7. Der Fernmelder der Felten & Guilleaume-Lahmeyerwerke beruht im wesentlichen darauf, daß am Empfänger auf einen sichelförmigen Drehkörper von zwei Wechselstrommagneten entgegengesetzte Zugkräfte ausgeübt werden, die eine Funktion der Masseneinstellung des Drehkörpers sind. Die Spulen der Elektromagnete sind mit ihrem einen Ende unmittelbar miteinander verbunden und stehen über eine Leitung mit dem beweglichen Geberkontakt eines Regelungstransformators auf der Geberseite in Verbindung; die beiden andern Enden sind über zwei Leitungen an die Sekundärwicklung dieses Trans-

formators geführt, dessen Primärwicklung vom Netzstrom gespeist wird. Durch Verschieben des Geberkontaktes an der unterteilten Sekundärwicklung wird die Verteilung der zur Verfügung stehenden Spannung auf die beiden Spulen geändert und hierdurch, infolge der jeweils eingestellten, verschieden starken Induktionswirkung der beiden Elektromagnete, die entsprechende Einstellung des Drehkörpers mit dem Zeiger bewirkt (DRP 206689).

8. Resonanzfernmelder (s. 8. Aufl. S. 835), die mit Gleich- oder Wechselstrom betrieben werden können, haben die in sie gesetzten Erwartungen nicht erfüllt und finden neuerdings kaum noch Verwendung.

9. Fernmelder nach dem Prinzip der Spannungsmessung s. Heubach, ETZ 1902, S. 300.

10. Kompaßfernübertragung nach Einthoven (ETZ 1905, S. 386) wurde vor der Einführung des Kreiselkompasses auf vielen Schiffen von S & H eingerichtet.

11. Über Signaleinrichtungen auf Handelsschiffen s. H. Franklin Harvey: Gen. El. Rev. 1921, S. 190.

(2052) Wasserstandsfernmelder. Man unterscheidet: a) Voll- und Leermelder (Geber), die nur den höchsten und tiefsten Wasserstand nach einem entfernten Orte melden, wo der Anzeiger (Empfänger) aufgestellt ist.

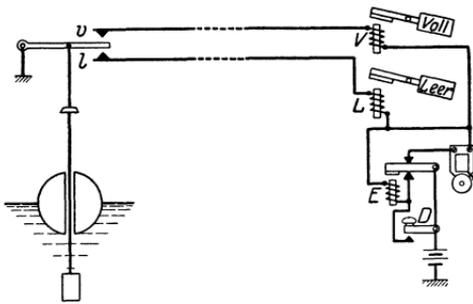


Abb. 1337. Voll- und Leermelder (M & G).

b) Anzeiger in Stufen, wobei auch dazwischenliegende Wasserstandshöhen angegeben werden. Letztere teilt man wieder in Fein- und Grobmelder, je nachdem sie Wasserspiegelschwankungen von einigen Millimetern oder mehreren Zentimetern erkennen lassen. Sehr gebräuchlich ist eine Kombination

der Voll- und Leeranzeige mit der Meldung in Stufen. Daneben wird häufig noch eine Schreibvorrichtung verwendet, welche die Wasserspiegelschwankungen fortlaufend aufzeichnet.

1. Der Voll- und Leermelder von M & G (Abb. 1337) hat einen Schwimmer, der bei höchstem oder tiefstem Wasserstand die Kontakte (v) und (l) schließt; dadurch kann auf der Empfängerseite entweder über den Elektromagnet V oder L Strom fließen, wodurch die Tafeln „Voll“ oder „Leer“ erscheinen. Gleichzeitig läutet ein Wecker. Durch Drücken einer Taste (F) wird der Elektromagnet (E) eingeschaltet, dessen Anker den Wecker abschaltet und so lange angezogen bleibt, bis einer der Kontakte (v oder l) geöffnet und der Stromkreis wieder unterbrochen wird.

2. Beim Voll- und Leermelder von S & H hängt der Schwimmer an einer Kette, die über zwei Rollen läuft und durch ein Gewicht gespannt erhalten wird. Auf der Kette sitzen, dem höchsten und tiefsten Wasserstand entsprechend, zwei verstellbare Kettenklemmen, die in den jeweiligen Endlagen (durch Anschläge geben) Kontakte schließen. Dieser Voll- und Leermelder kann auch für Stufenmeldung (mm oder cm) eingerichtet werden. Ein Kettenrad betätigt dann eine Kontaktvorrichtung, wodurch Stromstöße nacheinander über die beiden Verbindungsleitungen (Erde dient als Rückleitung) zum Empfänger gesandt werden, und dort zwei Elektromagnete, je nachdem der Wasserspiegel steigt oder fällt, in dem einen oder andern Sinne erregen. Ein leicht beweglicher Anker, der sich zwischen den Polschuhen der Elektromagnete dreht, überträgt die Bewegung auf einen Zeiger (Helios-Exp.Z. 1919, S. 1875; Z. Fernmeldetechn. 1924, S. 17).

3. In der Regel dienen die Fernleitungen der Wasserstandsfernmeldeanlage zugleich dem Fernsprechverkehr zwischen Geber- und Empfängerstelle (El. World, Bd. 78, S. 828. 1921). Ferner kann mit der Wasserstandsfernmeldeeinrichtung auf denselben Leitungen eine automatische Pumpensteuerung (An- und Abschalten elektrisch angetriebener Pumpen) erfolgen (Siemens-Zschr. 1923, Heft 10).

4. Beim Flutmesser von H. Tinsley wird die Höhe des Wasserstandes durch Messung des elektrischen Widerstandes eines Stromweges ermittelt, der sich mit der Höhe ändert (El. Review Bd. 90, S. 245. 1922).

Auf einem ähnlichen Prinzip beruht auch der Ägirstab, der von verschiedenen Firmen vertrieben wird.

5. Fernmeldeeinrichtungen für Wassermesser haben ein Kontaktwerk, das kurze Stromstöße nach einem Empfänger sendet, der ähnlich gebaut ist wie der Registrierapparat für Wasserstandsfernmelder (Siemens-Zschr. 1922, S. 487).

(2053) Fernzeiger für Umdrehungsgeschwindigkeiten. Ein kleiner Generator (Geber), der Gleich- oder Wechselstrom erzeugt, ist mit der Welle der Maschine, deren Umlaufgeschwindigkeit ermittelt werden soll, gekuppelt. Als Empfänger dient ein Spannungszeiger, dessen Skala in Drehzahlen geeicht ist. Häufig ist noch ein besonderes Schauzeichen vorhanden, welches die Drehrichtung der Welle erkennen läßt.

1. S & H verwenden eine Wechselstrommaschine mit Gleichstromerregung, bei welcher der erzeugte Wechselstrom, infolge besonderer Anordnung der Gleich- und Wechselstromspulen im Ständer, nur von den Umdrehungen des Läufers abhängt.

2. H & B fertigen Drehzahlmesser nach dem Prinzip der Spannungsmessung, aber auch Geräte an, bei denen schwingende Zungen zur Anzeige der Umdrehungen dienen (Ferntachometer). Die letzteren Apparate werden durch Widerstandsschwankungen in den Fernleitungen nicht beeinflusst. Der Betrieb erfolgt durch Wechselstrom (Z. Fernmeldetechn. 1920, S. 42).

3. Die AFG benutzt als Geber eine magnetelektrische Maschine, ebenso W. Morrel (Helios-Fachz. 1919, S. 218) in Verbindung mit einem Drehspulengalvanometer.

4. Bei einem von Griffith (Rev. gén. électr. Bd. 12, S. 38 D; 1922) angegebenen Apparat zur Bestimmung der Drehzahl von Motoren für Flugzeuge erzeugt der Geber Foucaultströme.

5. Der Pulsartotelegraph von Evershed & Vignoles beruht auf folgendem Prinzip: Den einen Zweig eines Brückenvierecks bildet ein Kondensator, dessen Anschlüsse fortwährend vertauscht werden, und zwar in Abhängigkeit von der Drehung der Welle, deren Umlaufgeschwindigkeit festgestellt werden soll. Infolgedessen kann die Änderung der Brückeneinstellung als Maß für die Geschwindigkeit benutzt werden (Electr. Bd. 86, S. 227; London 1921. — El. Review Bd. 88, S. 641; 1921).

6. S & H bauen einen Apparat, der die Feststellung des Drehmomentes und der Leistung von Wellen jeder Art erlaubt (Dingl. Pol. J. Bd 335, S. 265; 1920).

7. Neuerdings ist es auch gelungen, die Schwingungen von Maschinen auf photographischem Wege sichtbar zu machen (Schmaltz, ETZ 1922, S. 1283).

Literatur: Z. Fernmeldetechn. 1921, S. 125.

(2154) Elektrische Temperaturmessung. Elektrische Fernthermometer bieten den Vorteil, den Temperaturanzeiger (Empfänger) vom eigentlichen Thermometer (Geber) trennen und in einer Entfernung bis zu mehreren 100 m an leicht erreichbaren Orten aufstellen zu können. Die früher benutzten Kontaktthermometer kommen mehr und mehr außer Gebrauch. Neuerdings verwendet man entweder Widerstandsthermometer oder thermoelektrische Pyrometer.

1. Widerstandsthermometer beruhen auf der Eigenschaft metallischer Leiter, ihren elektrischen Widerstand mit der Temperatur zu ändern. Als Wider-

stand dient eine in Quarzglas eingeschmolzene Platinspirale (bei 0°C etwa $100\ \Omega$), die gegen mechanische Beschädigungen durch einen Mantel aus Kupfer und Stahl geschützt ist. Die Widerstandsänderung für 1° Temperaturschwankung beträgt ungefähr $0,4\ \Omega$.

2. Der Temperaturanzeiger ist ein empfindliches Meßinstrument, dessen Skala in Celsiusgraden geeicht wird. Entweder liest man die Temperatur direkt am Instrument ab, oder läßt sie mit Hilfe einer Schreibvorrichtung als punktierte Kurve fortlaufend auf einem Papierstreifen aufzeichnen. Zur Messung wird gewöhnlich die Brücke (Abb. 1338) benutzt. Die Brückenarme a, b, c sind unempfindlich gegen Temperaturschwankungen, d wird durch die Prüftaste (P) zur Kontrolle eingeschaltet; dabei muß der Zeiger des Drehspulinstrumentes (D) bis zum Endpunkt der Skala ausschlagen. Ist dies nicht der Fall, so kann am Regelwiderstand (R) nachgestellt werden. Danach wird durch Drücken von T_1 oder T_2 eines der Widerstandsthermometer x_1, x_2 eingeschaltet, worauf das Instrument die Temperatur des x_1 oder x_2 umgebenden Raumes anzeigt. Die Zahl der an eine Brücke anschaltbaren Thermometer ist unbegrenzt, jedoch ist für jedes eine Taste und eine Leitung erforderlich, und die Messungen dürfen nur nacheinander vorgenommen werden. Eine Entriegelungseinrichtung sorgt dafür, daß beim Drücken einer Taste die vorher gedrückte wieder herauspringt. Mit Fernthermometern dieser Art lassen sich Temperaturen von -50° bis etwa $+500^{\circ}$ messen. Die Entfernung zwischen Thermometer und Anzeigeort kann bei Verwendung von Kupferzuleitungen (Widerstand etwa $16\ \Omega$) 500 m betragen. Die Verlegung der Leitungen hat in feuchten Räumen besonders sorgfältig zu geschehen.

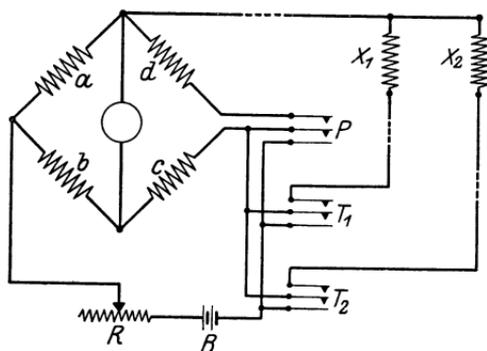


Abb. 1338. Temperaturmessung mit Widerstandsthermometer.

ber. Widerstandsthermometer werden in neuzeitlich eingerichteten Krankenhäusern benutzt, um Fieberkurven punktweise aufzunehmen. Beim Temperaturschreiber von S & H bewegt ein Uhrwerk einen Papierstreifen langsam fort und läßt in bestimmten Zeitabständen einen Hebel auf den Zeiger eines eingebauten Instruments fallen; bei jedem Herabfallen des Hebels berührt der Zeiger das Papier und drückt es gegen ein Farbband, wodurch auf dem Papier ein Punkt erscheint. Da der Hebel den Instrumentzeiger sofort wieder freigibt, so kann dieser in der Zwischenzeit sich frei bewegen, bis der Hebel von neuem betätigt wird.

Literatur: El. World Bd. 72, S. 740. 1919; Helios 1919, S. 297...306. — Z. Fernmeldetechn. 1920, S. 46...52. — El. u. Maschinenb. 1922, S. 12.

4. Thermoelektrische Pyrometer dienen zur Bestimmung höherer Temperaturen (bis 1600°). Zwei etwa $0,5$ bis 3 mm starke Drahte aus verschiedenen Metallen sind an einem Ende miteinander zusammengelötet oder verschweißt und bilden das Thermoelement. Die in den freien Schenkeln bei S_1 und S_2 (Abb. 1339) infolge Erwärmung entstehende Spannung ist dem Temperaturunterschied zwischen warmen und kalten Enden proportional; ein in S_1 und S_2 angeschaltetes empfindliches Meßinstrument (Milli-Voltmeter), das nach Celsiusgraden geeicht ist, zeigt den Temperaturunterschied an. Da der Pyrometerkopf mitunter sehr heiß wird, verlängert man die freien Schenkel durch sogenannte Kompensationsleitungen, um die Stromabnahmepunkte auf die Raumtemperatur

zu bringen. Die jeweils erreichte Höchsttemperatur hängt von der Wahl der Metalle ab (s. folgende Übersicht).

Metalle	Höchsttemperatur
Platin-Platinrhodium	1600° C
Platin-Platiniridium	1100° „
Eisen-Konstantan	800° „
Silber- „	600° „
Kupfer- „	550° „

Thermoelemente für maximal 600° C erhalten Schutzrohre aus Eisen, bis zu 1100° sind Quarzrohre geeignet, doch dürfen sie nicht dauernd dieser Temperatur ausgesetzt werden. S & H verwenden unzerbrechliche Schutzrohre aus einer Speziallegierung (El. Anz. 1920, S. 929, 935, 939; Rev. gén. électr. 1922, Bd. 11, S. 933).

5. Optische Verfahren der Temperaturmessung (Strahlungs-pyrometer). Man unterscheidet Gesamt- und Teilstrahlungs-pyrometer. Zuerst gehören: Das Strahlungs-pyrometer von Féry¹⁾, das bolometrische Meßinstrument von Hirschsohn-Braun, das Ardrometer von Siemens & Halske und das Strahlungs-pyrometer von R. Hase; zur zweiten Gruppe: das Wanner pyrometer¹⁾ und das Glühfadenpyrometer nach Holborn-Kurlbaum.

Gesamtstrahlungs-pyrometer haben ebenfalls Thermoelemente, die sich jedoch nicht unmittelbar in der zu messenden Glüh-temperatur befinden, sondern durch Wärmestrahlung in 1 bis 2 m Entfernung erregt werden.

Beim Ardrometer von S & H gelangen die von dem glühenden Körper ausgehenden Wärmestrahlen durch eine Sammellinse auf ein geschwärztes Platinblech von 0,007 mm Stärke, in dessen Mitte ein kleines Thermoelement (Drahtstärke 0,03 mm) hart angelötet ist, das durch zwei Leitungen mit einem sehr empfindlichen Meßinstrument (Milli-Voltmeter, Meßbereich bis 15 mV) in Verbindung steht. Erhitzt sich das Platinblech, so zeigt das in Celsiusgraden geeichte Instrument dessen Übertemperatur gegen die Umgebung an. Hierbei gilt das von Stefan u. Boltzmann aufgestellte Gesetz, daß die Strahlungsenergie proportional ist dem Unterschied der 4. Potenz der absoluten Temperatur von Strahler und Empfänger. Das Ardrometer eignet sich am besten zur Messung von Temperaturen zwischen 700 und 2000° (Keinath: ETZ 1921, S. 1384).

Von den Teilstrahlungs-pyrometern, die auf dem Vergleich der Glühfarben zweier Körper beruhen (subjektives Verfahren), sei das Glühfadenpyrometer nach Holborn-Kurlbaum in der Ausführung von S & H kurz beschrieben. Zwischen der Okular- und Objektivlinse eines Fernrohres befindet sich eine kleine Glühlampe, die mit einem regelbaren Widerstand, einem Strommesser und einem Akkumulator in einem Stromkreis liegt. Beim Drehen der Widerstandskurbel würde die Helligkeit der Lampe zu- oder abnehmen und jede vom Instrument angezeigte Stromstärke einer bestimmten Fadentemperatur entsprechen. Die Beziehung zwischen diesen beiden Größen ergibt graphisch dargestellt eine Kurve, deren Verlauf nach Eichung der Glühlampe bekannt ist. An Hand dieser Kurve kann man dem Instrument eine Skala geben, aus der sich die jeweilige

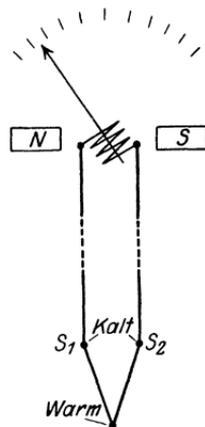


Abb. 1339. Thermoelektrischer Pyrometer.

¹⁾ Berndt: Dinglers Polyt. Journ. 1919, S. 209.

Fadentemperatur ablesen läßt. Bringt man nun das Bild des glühenden Körpers, dessen Temperatur ermittelt werden soll, mit dem Bilde des Glühfadens im Fernrohr zur Deckung und verstellt die Kurbel des Widerstandes so lange, bis das Bild des Glühfadens verschwindet, so besteht zwischen den Temperaturen beider Körper kein Unterschied, sie sind also gleich, und das Instrument gibt die gesuchte Temperatur an. — Der Meßbereich dieses Apparates reicht normal bis 2000° , läßt sich aber durch sogenannte Rauchgläser, die vor der Objektivlinse eingefügt werden, noch erweitern.

• Literatur: Helios 1920, S. 265, 273. — Stahl u. Eisen 1920, S. 1490. — ETZ 1920, S. 427 u. 1922, S. 795. — Siemens-Z. 1921, S. 331, 358. — Hel. F. 1925, S. 217

(2055) Apparate zur Bestimmung von Druckschwankungen. 1. Der Anemoklinograph von S & H dient zur Untersuchung der Windstruktur und stellt die Geschwindigkeit, Richtung und Neigung des Windes fest. Während die Messung der Geschwindigkeit und der Neigung auf einer Brückenmethode beruht, wird die Richtung mit Hilfe einer Anordnung ermittelt, bei der eine Spannungsmessung zur Anwendung kommt (Esselborn: Lehrb., Bd. 2, S. 496).

2. Dem Anemometer von Mac Gregor-Morris (El. Review (London), Bd. 87, S. 345; 1920) liegt ebenfalls eine Brückenmessung zugrunde.

3. Moore (El. Review, Bd. 85, S. 492; 1919) benutzt eine kleine magnetoelektrische Maschine in Verbindung mit einem Spannungszweiger, von dessen Skala die Windgeschwindigkeit abgelesen wird.

4. Der Druckmesser von H & B. Durch den Druck wird ein zylinderförmiger Drehkörper angetrieben, auf dessen Umfang (Mantel) ein Stufenwiderstand angeordnet ist, der mit einem Galvanometer und einer Batterie in einem Stromkreis liegt. Je nach dem Druck ändert sich die Geschwindigkeit des Drehkörpers und damit der Widerstand im Stromkreise. Am Instrument kann der Druck direkt abgelesen werden (Helios-Fachz. 1919, S. 25).

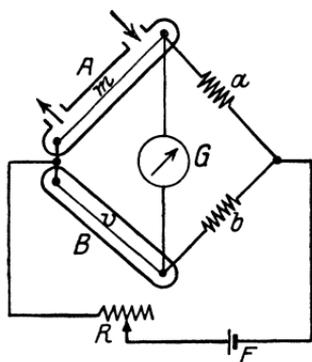


Abb. 1340. Elektrischer Rauchgasprüfer.

(2056) Elektrische Rauchgasprüfer von S & H dienen in Feuerungsanlagen zur Bestimmung des Kohlensäure- und Kohlenoxydgehaltes der Rauchgase. Ein zu niedriger Gehalt an Kohlensäure (CO_2) läßt erkennen, daß der Feuerung zuviel Luft zugeführt wird, die unnötig erhitzt werden muß und beträchtliche Wärmemengen durch den Schornstein entführt. Andererseits weist ein zu hoher Prozentsatz an Kohlenoxyd (CO) auf eine unvollkommene Verbrennung der Heizstoffe hin. Es sind also wirtschaftliche Gründe für die Konstruktion und Einführung dieser Apparate maßgebend gewesen. Eine vollständige Prüfeinrichtung besteht aus einem CO_2 - und einem CO -Messers.

CO_2 -Messers. Die Kohlensäure hat ein etwa 40 vH. geringeres Wärmeleitvermögen als die Luft und die übrigen Bestandteile der Rauchgase; hierauf gründet sich das Meßverfahren (Abb. 1340).

Zwei dünne Platindrähte m und v von gleichen Abmessungen und gleichem Widerstand bilden mit den beiden temperaturunempfindlichen Widerständen a und b die Zweige einer Wheatstoneschen Brücke, in welcher G das Galvanometer, E die Stromquelle und R ein Regelwiderstand ist. Während sich der Meßdraht m in einem Rohr A befindet, das von den Rauchgasen durchströmt wird, ist der Vergleichsdraht v in dem allseitig geschlossenen Rohr B , das Luft enthält, ausgespannt. Fließt ein konstanter Strom durch die Brücke, so wird, falls die Rauchgase CO_2 enthalten, der Draht m sich stärker erhitzen als v , weil ersterer die Wärme langsamer an seine Umgebung verliert als der Draht v , der

dem höheren Wärmeleitvermögen der Luft ausgesetzt ist. Die Folge ist ein Widerstandsunterschied zwischen m und v , der das Gleichgewicht der Brücke stört und am Galvanometer G einen Ausschlag bewirkt, aus dem man den Gehalt der Rauchgase an CO_2 in Prozenten ablesen kann.

CO-Messer. Anordnung und Schaltung dieses Apparates weichen im Prinzip nur unwesentlich von Abb. 1340 ab. Das CO wird zu CO_2 verbrannt einerseits durch stärkeres Erhitzen der Drahte in der Brücke, andererseits mit Hilfe des meist in genügender Menge in den Rauchgasen vorhandenen Sauerstoffs, unter Umständen unter geringer Luftzufuhr (20 vH.). Gegenüber unedlen Metallen bieten die verwendeten Platindrahte den Vorteil, die Verbrennung schon bei 400 bis 500° einzuleiten (Katalysatorwirkung).

Die Apparate sind entweder fest in die Anlagen eingebaut oder werden tragbar ausgeführt. Häufig haben die Anzeigeeinstrumente eine doppelte Skala. Nach Umschaltung auf ein Pyrometer zeigen sie auch die Temperatur der Rauchgase an. — Zur standigen Überwachung mehrerer Feuerungsstellen werden die Instrumente häufig in Registrierapparate eingebaut.

Literatur: Z. Ver. D. Ing. 1920, S. 895. — Siemens-Z. 1921, S. 460. — Electr. Bd. 89, S. 543; 1922. — El. Review Bd. 90, S. 210; 1922. — El. Anz. 1925, S. 1288.

(2057) Leitkabel für Schiffe. Inmitten der Fahrinne einer Hafeneinfahrt ist auf dem Meeresboden ein Kabel ausgelegt, an dessen einem Ende der Pol einer Wechselstrommaschine (500 Per/s) angeschlossen ist; das andere Kabelende ist frei und der andere Pol der Maschine liegt an Erde. Die vom Kabelleiter ausgehenden elektromagnetischen Wellen wirken auf geeignete Empfangsapparate, welche die Schiffe mit sich führen. Zu berücksichtigen ist dabei, daß das elektromagnetische Feld des Kabels durch das Wasser etwas verzerrt wird (Lichte: ETZ 1920, S. 88).

Neuerdings ist von der Gelap ein verbessertes Verfahren ausgearbeitet worden. Die vom Kabel ausgehenden Wellen wirken auf eine Rahmenantenne, die sich an Bord des Schiffes befindet und mit einer Empfangs- bzw. Verstärkereinrichtung verbunden ist. Die Schwingungen werden in einem Telephon als Ton hörbar. Erreicht der Ton sein Maximum, so befindet sich das Schiff direkt über dem Leitkabel und im richtigen Kurs. Bei Verwendung zweier Rahmen läßt sich eine Nullmethode mit der Einrichtung verbinden. An die Stelle des Telephons tritt dann ein Differentialgalvanometer und die Abweichungen vom Kurs können sichtbar gemacht werden.

Literatur: Engelhardt: Hansa 1922, S. 1325. — Drysdale: El. Review Bd. 87, S. 379, 409, 442; 1920. — Marriot: Rev. gén. électr. Bd. 7, S. 127; 1920. — Bennett, I. I.: Electr. Bd. 87, S. 202; 1921. — Crossley: Rev. gén. électr. Bd. 9, S. 645; 1921. — Loth, W. A.: Ibid. Bd. 9, S. 899; 1921.

Die Wasserschallapparate.

(2058) Allgemeines. Die Wasserschallapparate haben verschiedene Anwendungsgebiete; hauptsächlich werden sie zu navigatorischen Zwecken, zur Nachrichtenübermittlung und zum Abhören von Geräuschen im Wasser, neuerdings auch zum akustischen Loten benutzt. Man unterscheidet Wasserschallsender und -empfänger. Diese sind in der Ausföhrung den verschiedenen Anwendungszwecken angepaßt und daher untereinander mehr oder weniger verschieden. Im nachstehenden sind eine Anzahl besonders wichtiger Ausführungsformen dieser Apparate behandelt, sowie einige Gesichtspunkte für ihren Aufbau und ihre Anwendungen gegeben. (Siehe F. Aigner: Unterwasserschalltechnik, Berlin W: M. Krayn, 1922).

(2059) Die Wasserschallsender. In die Wasserschalltechnik haben sich seit langem die mit pneumatisch oder elektrisch erzeugten Kräften angeschlagenen Glocken und im letzten Jahrzehnt vor allem die elektrisch erregten Membransender eingeföhrt. Da die Glocken nur mit verhältnismäßig langsam aufeinander folgenden Schlägen angeschlagen werden können, während die elektrischen Mem-

bransender in beliebig eingeteilten kurzen Zeitabschnitten einschaltbar sind, eignen sich die Membransender in weit höherem Maße als die Glocken zum Morsen, d. h. für die Nachrichtenübermittlung. Auch für die Abgabe bestimmter Gruppen von Signalen (Kennungen für die Ansteuerung bestimmter Punkte in See) sind die elektrisch erregten Membransender vorteilhafter als die Glocken. Darüber hinaus sind die Membransender auch in ihrer Güte (Leistung, Betriebssicherheit) den Glocken überlegen. Die neuere Entwicklung führt daher immer mehr dazu, daß die elektrischen Membransender die Glocken verdrängen.

(2060) Die elektrischen Membransender (auch „Oszillatoren“ genannt) bestehen im wesentlichen aus einer Membran, die die eine Seite eines wasserdichten Gehäuses abschließt, und aus einer Erregungsvorrichtung, die die Membran in mechanische Schwingungen versetzt und die im Innern des Gehäuses untergebracht ist. Man unterscheidet zwei typisch verschiedene Ausführungsformen, die sich beide in der Praxis bewährt haben. Die eine beruht auf dem elektromagnetischen Prinzip (ähnlich dem des gebräuchlichen Telephons), die andere auf dem elektrodynamischen Prinzip (im konstanten Magnetfeld schwingender wechselstromdurchflossener Leiter). Nach dem elektromagnetischen

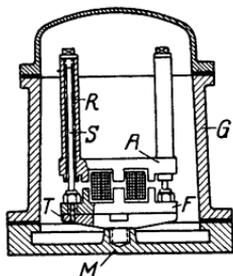


Abb. 1341. Elektromagnetisch erregter Sender: *G* Gehäuse, *M* Membran, *F* Magnetfeld, *T* Befestigungstisch, *A* Anker, *RS* Rohr-Stabsystem

Prinzip ist der Wasserschallender der Signal-Gesellschaft, Kiel (du Bois-Reymond, A.: Hahnemann, W. und Hecht, H.: Entwicklung, Wirkung und Leistung des elektromagnetisch erregten Unterwasserschallenders nach dem Telephonprinzip, Zschr. techn. Phys. 1921, Nr. 1 u. 2), nach dem elektrodynamischen der nach dem Erfinder genannte „Fessenden-Oszillator“ der Submarine Signal Company, Boston (Fay, H. J. H.: Submarine Signalling Fessenden-Oscillator, Amer. Soc. Naval Eng., Februar 1917) gebaut.

(2061) Der elektromagnetisch erregte Sender hat sich in den letzten Jahren in steigendem Maße durchgesetzt; sein prinzipielles Aufbauschema ist in der Abb. 1341 dargestellt. *G* ist das Gehäuse des Senders, *M* die Membran, *F* das Magnetfeld, das mittels des Tisches *T* an dem Mittelpunkt der Membran befestigt ist, und *A* der dem Magnetfeld gegenüberstehende Anker. Zwischen Anker und Magnetfeld ist die Wechselstromwicklung und im Falle des polarisierten Betriebes des Senders die hierfür nötige Gleichstromwicklung untergebracht. *A* und *F* sind durch eine Kombination von Rohren bzw. Stäben *RS* miteinander derart verbunden, daß diese Rohre bzw. Stäbe longitudinal elastisch beansprucht werden, wenn Feld und Anker sich nähern oder entfernen. Diese Rohre oder Stäbe *RS* bilden also mit der frei schwingenden Masse *A* und den am Mittelpunkt der Membran wirkenden Massen einen mechanisch-akustischen Schwingungskörper, genannt Tonpilz, der mit der Membran gekoppelt ist (Gehlhoff: Lehrbuch der technischen Physik, Bd. 1, S. 158). Das aus diesem Tonpilz und der Membran sich ergebende Schwingungssystem hat im Wasser bei den modernen Ausführungen der Sender eine Eigenfrequenz von etwa 1000 Per/s. Diese Frequenz hat sich in jahrelangen praktischen Erprobungen als besonders vorteilhaft ergeben.

Für den Fall der Wasserschallerzeugung mittels elektrischer Wechselstromenergie ergibt sich infolge der geringen Kompressibilität des Wassers zur Erreichung eines guten Wirkungsgrades des Senders die Forderung, die Membran mit kleiner Amplitude und großen Kräften, den Magnetanker aber mit größeren Amplituden und kleineren Kräften schwingen zu lassen, d. h. zwischen Anker und Membran eine mechanische Übersetzung einzuschalten. Durch entsprechende Bemessung der Masse *A* im Verhältnis zu der am Mittelpunkt der Membran schwingenden Massengruppe stellt man zwischen der Amplitude der Mem-

bran schwingenden Massengruppe stellt man zwischen der Amplitude der Mem-

bran und der Amplitude des Ankers A das erforderliche Übersetzungsverhältnis her.

Der Wirkungsgrad des Senders teilt sich ähnlich wie beim Telephon (1677, in einen elektromechanischen und einen mechanisch-akustischen. Der elektromechanische wird durch die Verluste in dem Eisen und den Spulen des Elektromagnets bestimmt; er ist bei den praktisch ausgeführten Exemplaren etwa 60 bis 70 vH. Der mechanisch-akustische ist durch das Verhältnis der Strahlungsdämpfung im Wasser zur Gesamtdämpfung gegeben. Letztere ist die Summe aus Strahlungsdämpfung und Verlustdämpfung durch innere Reibung des Senders. Man bestimmt diese Dämpfungen dadurch, daß man den Wasserschallsender das eine Mal im Vakuum oder, was praktisch gleichbedeutend ist, in Luft, das andere Mal im Wasser betreibt und aus den hierbei erhaltenen Resonanzkurven die zugehörigen Dämpfungen bestimmt. Die aus der in Luft aufgenommenen Resonanzkurve sich ergebende ist die Verlustdämpfung, die aus der im Wasser aufgenommenen Resonanzkurve sich ergebende ist die Gesamtdämpfung und die Differenz beider Dämpfungen ist die Strahlungsdämpfung. Der mechanisch-akustische Wirkungsgrad beträgt bei sorgfältiger mechanischer Ausführung der Sender (vor allem gute Verschraubungen) etwa 90 vH. Der Gesamtwirkungsgrad eines solchen Wasserschallsenders übersteigt also 50 vH.

(2062) **Die Wasserschallempfänger.** Die einzelnen Empfängertypen kann man nach verschiedenen Gesichtspunkten gruppieren: erstens nach der Art des Umwandlungsprozesses (Mikrophon-, Magnet- oder rein akustische Empfänger), zweitens nach der durch ihren Verwendungszweck bestimmten Resonanzkurve (schmaler Frequenzbereich: Ton- oder Signalempfänger; breiter Frequenzbereich: Geräusch- oder Horchempfänger) und drittens nach der Art ihres Zusammenwirkens mit dem Schallfeld (gerichtete oder ungerichtete Empfänger). Über ihre prinzipiellen Grundlagen s. Gehlhoff: Lehrbuch der techn. Physik, Bd. 1, Teil III Akustik, S. 166 u. f.).

Beim Mikrophonempfänger veranlaßt die ankommende Schallenergie das Mikrophon zu mechanischen Schwingungen und hierdurch zum Erzeugen von Wechselstromenergie wesentlich größeren Betrages (1710), die meist einem Telephon zugeführt und als Luftschall in diesem wahrnehmbar gemacht wird. Die verbreitetste Ausführung solcher Mikrophonempfänger ist in der Abb. 1342 in ihrem prinzipiellen Aufbauschema gegeben. G ist das Gehäuse, welches auf der einen Seite durch die Membran M abgeschlossen ist und in welches wasserdicht das Kabel K eingeführt ist. An der Mitte der Membran ist innen das Mikrophon befestigt, welches aus den beiden Elektroden E_1 und E_2 und dem dazwischen gelagerten Kohlepulver besteht. Die Elektrode E_2 ist an der Mikrophonkapsel P betestigt, welche mit der an der Membran befestigten Elektrode E_1 durch die Mikrophonmembran m elastisch verbunden ist. Letztere besteht meist aus Isolationsmaterial, z. B. Glimmer, und isoliert die Elektrode E_1 von E_2 und dem Gehäuse. Diese Mikrophonmembran m bildet mit der freien, aus Elektrode E_1 und Mikrophongehäuse P bestehenden Masse und den am Mittelpunkt der Mem-

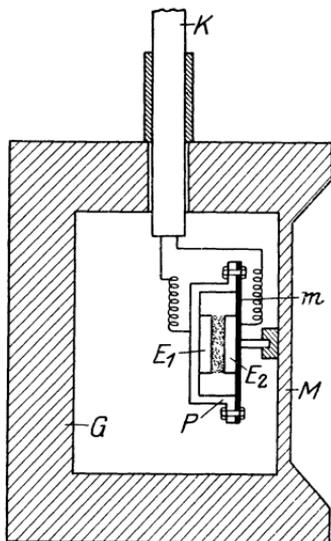


Abb. 1342. Mikrophonempfänger: G Gehäuse, M Gehäusemembran, K Zuleitungskabel, E_1 E_2 Mikrophonelektroden, P Mikrophonkapsel, m Mikrophonmembran.

bran M wirkenden Massen einen mechanisch-akustischen Schwingungskörper, Tonpilz, der mit der Membran M gekoppelt ist. (s. Hahnemann, W.: Die Unterwasserschalltechnik, B. d. Schiffsbaut. Ges. 1919). Das aus diesem Tonpilz und der Membran M sich ergebende Schwingungssystem hat im Wasser bei den meisten ausgeführten Signalempfängern eine Eigenfrequenz von etwa 1000 Per/s, ist also auf die jetzt gebräuchlichen elektrischen Membransender abgestimmt.

Beim Magnetempfänger (Magnetophon) ruft die ankommende Schallenergie zunächst mechanische Schwingungen eines Magnetsystems hervor, von dem die Energie dieser Schwingungen in elektrische Energie umgeformt wird. Während der Mikrophonempfänger infolge seiner Verstärkerwirkung eine größere elektrische Energie erzeugt, als der ihn erregenden Wasserschallenergie entspricht, handelt es sich beim Magnetempfänger um eine einfache Energieumformung mit entsprechenden Verlusten. Seine Empfindlichkeit ist daher der des Mikrophonempfängers unterlegen und wird mittels elektrischer Verstärker, die zwischen Magnetophon und Telephon eingeschaltet werden, erhöht.

Sein prinzipielles Aufbauschema ist dem des Mikrophonempfängers bzw. dem des elektrischen Membransenders ganz ähnlich, nur daß an die Stelle der beiden Elektroden des Mikrophonempfängers Feld und Anker eines Magnets treten, und zwar ist meist der Feldmagnet an die Stelle der Elektrode E_2 , der Anker an die Stelle der Elektrode E_1 zu setzen. Anker und Feldmagnet sind wieder durch ein elastisches Glied miteinander verbunden. Trotz der geringeren Empfindlichkeit des Magnetempfängers wird er in bestimmten Fällen dem Mikrophonempfänger vorgezogen, besonders wenn es sich um große Betriebssicherheit handelt.

Beim reinakustischen Empfänger wird die von der an das Wasser angrenzenden Membran aufgenommene Wasserschallenergie direkt in Luftschall umgeformt. Damit hierbei die Wasserschallenergie zu einem nennenswerten Betrag in Luftschall übergeht, muß der an die Membran innen angrenzende Luftraum ähnlich wie der Muschel- oder Kopplungsraum beim Telephon (1693) sehr niedrig oder schmal ausgebildet werden. Dieser Kopplungsraum bildet zusammen mit der Membran wieder ein gekoppeltes Schwingungssystem bestimmter Eigenfrequenzen und Dämpfungen. (Näheres hierüber s. Hahnemann, W., Hecht, H. und Lichte, H.: Ein Apparat zur Umformung von Wasserschall in Luftschall und umgekehrt, Z. techn. Phys., 4. Jahrg. 1923, S. 93).

Da es sich beim reinakustischen Empfänger ähnlich wie beim Magnetophon um eine einfache Umformung der Energie mit entsprechenden Verlusten handelt, ist seine Empfindlichkeit der des Mikrophons ebenfalls unterlegen. Im Gegensatz zum Magnetophon lassen sich hier aber keine elektrischen Verstärker anwenden. Trotz seiner außerordentlichen Einachtheit wird daher der reinakustische Empfänger nur wenig angewandt.

(2063) Der Frequenzbereich, für den die Wasserschallempfänger gebaut werden, richtet sich nach ihrem Anwendungszweck; er wird bei den verschiedenen Ausführungsformen der Empfänger dadurch hergestellt, daß die Kopplung, Zahl und Dämpfung ihrer einzelnen Schwingungsgebilde entsprechend bemessen wird, wodurch ihre Resonanzkurve die gewünschte Gestalt erhält. Dies geschieht sowohl bei den Mikrophon- und Magnetempfängern, als auch bei den reinakustischen Empfängern.

Bei den Tonempfängern erstreckt sich die Resonanzkurve nur auf ein schmales Gebiet, das der Frequenz entspricht, mit welcher die in Frage kommenden Sender geben. Diese Empfänger dienen zum Empfang von Sendesignalen und werden daher auch Signalempfänger genannt.

Bei den Horchempängern handelt es sich darum, innerhalb eines möglichst großen Frequenzbereiches akustische Energie aufzunehmen. Ihre Resonanzkurve wird daher möglichst breit gestaltet. Diese Empfänger dienen hauptsächlich zum Abhören von Geräuschen im Wasser und werden daher auch Geräuschempänger genannt.

(2064) Gerichtete oder ungerichtete Sender- oder Empfängeranordnungen gibt es in sehr verschiedenen Ausführungsformen. Beim gerichteten Empfang unterscheidet man hauptsächlich die Schattenmethode (Schiffskörper als Schallschatten im Wasser), die binaurale Methode (Bestimmung der Zeitdifferenz des ankommenden Schalles durch Mitteneindruck in zwei in bestimmter Entfernung voneinander angebrachten Empfängern, deren zugehörige Telephone je an einem Ohr abgehört werden) und die Gruppenmethode (zahlreiche, in bestimmter Entfernung voneinander untergebrachte Empfänger an ein und dasselbe Telephon geführt und Maximaleffekt abgehört).

Während die Schattenmethode fast allgemein in der Schifffahrt bei der Navigation mit Wasserschallsignalmitteln angewandt wird, werden die anderen beiden Methoden einzeln oder mitunter kombiniert fast ausschließlich zu militärischen Zwecken zum Abhören unterseeischer Geräusche benutzt.

(2065) Die Wasserschallreichweite. Für die Ausbreitung des Schalles im Wasser, welche meistens in der offenen See, also im Meer, in Frage kommt, spielen die dort gegebenen Verhältnisse eine große Rolle. Es hat sich gezeigt, daß diese Ausbreitung durchaus nicht so störungsfrei stattfindet, wie zunächst beim Aufkommen der Wasserschalltechnik angenommen wurde; insbesondere sind es die Temperatur- und Salzgehaltschichtungen und die Reflexionen des Schalles am Boden und der Oberfläche des Meeres, die beim Ausbreitungsvorgang eine große Rolle spielen. Die Temperaturschichtungen sind besonders abhängig vom Ort und von der Jahreszeit, und daher treten auch Schwankungen in der Reichweite abhängig von Ort und Sommer und Winter auf. Schwankungen der Reichweite von 1:10 sind hierbei nicht selten. (Näheres hierüber siehe: Lichte, H.: Über den Einfluß horizontaler Temperaturschichtung des Seewassers auf die Reichweite von Unterwasserschallsignalen, Phys. Z., 20. Jahrg. 1919, S. 385 — Barkhausen, H. und Lichte, H.: Quantitative Unterwasserschallversuche, Ann. Physik, IV. Folge, Bd. 62, S. 485; 1920. — Berger, Richard: Die Schalltechnik, Sammlung Vieweg, Heft 83, Friedr. Vieweg u. Sohn, A.-G., Braunschweig 1926.)

Haus- und Gasthoftelegraphen.

(2066) Allgemeines. Die Anlagen sind entweder zur Übermittlung von Nachrichten von einem Raum zum andern bestimmt, oder sie dienen nur zu Signalzwecken.

Im ersten Fall erfolgt der Betrieb meistens mittels Fernsprecher, im zweiten Fall werden akustische und optische Signalapparate benutzt; im nachfolgenden werden nur die Anlagen zu Signalzwecken behandelt.

(2067) Gebeapparate. Als Geber verwendet man Kontaktknöpfe, welche Druck- und Zugkontakte sein können und für Arbeits- und Ruhestrom hergestellt werden.

Die Kontaktknopfe für Druck (Druckknopfe) (Abb. 1343) bestehen aus einem Gehäuse aus Holz, Porzellan oder Metall, zwei Blattfedern 1 und 2 und einem zylindrischen Körper 3 aus Holz, Bein, Porzellan. Durch Niederdrücken des Knopfes werden die Federn 1 und 2 (Arbeitsstrom) in Berührung gebracht, oder es wird bei anderer Anordnung der Federn der schon zwischen ihnen bestehende Kontakt aufgehoben (Ruhestrom).



Abb. 1343. Kontaktknopf.

Bei den Kontaktknopfen auf Zug (Zugkontakte) wird durch eine Zugstange der Kontakt hergestellt, indem gewöhnlich die Enden zweier isolierter Federn von einem isolierenden Ring gezogen werden und durch Berührung eines Metallringes Stromschluß herbeiführen. Eine starke Feder führt die Zugstange wieder in ihre Ruhelage zurück. — Bei einer anderen Ausführung wird ein rechtwinklig an der Zugstange befestigtes Metallstück schrag gegen zwei isolierte Federn gedrückt (Reibkontakt). Solche Zugkontakte werden meist in feuchten Räumen

(Badezimmer) gebraucht. Man befestigt sie dann unter der Decke, wo sie vor Spritzwasser sicher sind, und befestigt an der Zugstange eine lange Schnur.

Die Kontaktgeber lassen sich auch als Trekkontakte ausführen. In dieser Form werden sie besonders in Banken verwendet, um z. B. dem Kassierer die Möglichkeit zum Einschalten von Alarmeinrichtungen auch dann zu geben, wenn der Beamte die Hand nicht frei hat (Überfall).

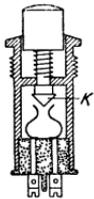


Abb. 1344.
Kontakt-
knopf für
Unterputz-
montage.

Da in Hotels und neuzeitig eingerichteten Wohnräumen die Leitungen meist unter Putz verlegt werden, hat eine andere Form der Kontaktgeber große Verbreitung gefunden. Abb. 1344 zeigt einen solchen Kontakt im Schnitt. Der metallische Kegel k wird zwischen die Kontaktfedern gedrückt. Das Gehäuse ist nahezu wasserdicht und demnach auch zur Montage in feuchten Räumen geeignet. Die Abmessungen des Kontaktgebers sind so gering, daß sich leicht mehrere auf einer verhältnismäßig kleinen Platte anbringen lassen. Die Kontakte werden als Arbeits-, Ruhe- und Umschaltekontakte ausgeführt.

Die Geberapparate werden in der verschiedenartigsten Ausführung hergestellt, als Tischkontakte, Briefbeschwerer, Notizblöcke, Haustürdruckplatten für mehrere Stockwerke usw.

(2068) Türkontakte sollen selbsttätig das Öffnen einer Tür anzeigen, indem durch ihre Bewegung ein Wecker in Tätigkeit tritt. Der Türkontakt schließt den Weckerkreis entweder so lange, wie die Tür geöffnet bleibt, oder nur für kurze Zeit während des Öffnens und Schließens. Die Kontakte können auch so gebaut werden, daß sie nur beim Öffnen oder nur beim Schließen ansprechen.

Der einfachste Apparat besteht aus einem gebogenen Metallstück, welches am oberen Türpfosten angebracht wird; gegen den zweimal rechtwinklig umgebogenen Teil legt sich ein federnder Streifen, der beim Schließen der Tür von einem am oberen Türrahmen angebrachten Stift abgedrückt wird. Das gebogene Metallstück und der federnde Streifen werden mit dem Stromkreis verbunden. — Häufig werden auch zwei voneinander isolierte Metallstücke, ein festes und ein federndes, in den Türpfosten eingelassen; solange die Tür geschlossen ist, drückt ihre Kante das federnde Stück ab. Wird die Tür geöffnet, so legt sich der federnde Streifen mit seinem unteren Ende gegen den festgeschraubten Streifen, und der Weckerkreis wird geschlossen. — Soll für den zweiten Fall der Wecker nur kurze Zeit beim Öffnen und Schließen ertönen, so schraubt man am Türpfosten zwei senkrecht gegen letzteren abstehende Federn an; die untere wird mit einem länglichen Wulst versehen, gegen den die obere Türkante bei dem Vorbeidrehen schleift; hierdurch wird die untere Feder gehoben und mit der oberen in Kontakt gebracht. — Für den dritten Fall wird am Türpfosten ein beweglicher Ausleger befestigt, in dessen schräg eingefrästem Längsschlitz eine Rolle beweglich angeordnet ist. Beim Öffnen der Tür streift die obere Türkante an der Rolle und hebt den Ausleger in die Höhe, wodurch der Kontakt geschlossen wird. Beim Schließen der Tür gleitet nur die Rolle in dem schrägen Schlitz des Auslegers nach oben, während der Ausleger selbst in Ruhe bleibt. Der Kontakt bleibt also geöffnet. Bei umgekehrter Montage des Auslegers wirkt die Rolle auch umgekehrt.

Selbsttätige Kontakte ähnlicher Bauart werden auch an anderen Stellen angeordnet, z. B. an Fenstern, beweglichen Treppenstufen, an der Klappe des Briefkastens usw.

(2069) Signalapparate. Als solche dienen Wecker, Hupen und Anzeigeapparate mit Klappen oder Glühlampen (Ruftafeln).

Wecker. Der neutrale (Gleichstrom-) Wecker (Abb. 1345) enthält einen gewöhnlichen Elektromagnet mit beweglichem Anker; dieser ist in der Regel mit einer Blattfeder f_1 am Gestell befestigt. Schaltet man nur die Magnetbewicklung in den Stromkreis, so erhält man den Einschlagwecker; um den Schlag kräftiger zu machen, wird die Feder f_2 weit zurückgeschraubt. Beim Lautschläger

ist der Anker der eine Arm eines zweiarmigen Hebels; der andere längere Arm ist als Klöppel ausgebildet und hat einen größeren Hub, als der Anker.

Der Rasselwecker entsteht durch Einfügung von Umschaltkontakten in den Stromweg; beim Wecker mit Selbstunterbrechung führt der Weg über die Feder f_2 , den Anker, die Windungen zur zweiten Klemme; beim Wecker mit Selbstausschluß (auch Kurzschlußwecker genannt) fließt der Strom von der ersten Klemme über die strichpunktierte Verbindung zur Wicklung, an deren Ende eine Kontaktschraube der Feder f_3 gegenübersteht. In jenem Falle unterbricht der Anker beim Anzug den Strom, in diesem schließt er die Wicklung kurz. Kurzschlußwecker dürfen nur in Anlagen mit Ruftafel oder für Reihenschaltung verwendet werden, da sonst die Batterie leidet. Beim Nebenschlußwecker wird beim Anzug des Ankers an Stelle der Spulen ein Widerstand eingeschaltet. Ist dieser Widerstand im entgegengesetzten Sinne auf die Magnetspulen gewickelt, so erhält man den Gegenstromwecker. Läßt man Glocke und Klöppel weg, so erhält man den Schnarrwecker (Brummer).

Zur Erzeugung sehr lauter Signale verwendet man Glockenschalen mit großem Durchmesser (Stahlguß, Bronze), mit besonders schwerem Klöppel und kräftigen Magneten. Wasser- und gasdichte Wecker werden in abgedichtete Gußeisengehäuse eingebaut. Die Ankerachse wird entweder mittels einer Stopfbuchse dicht herausgeführt, oder man befestigt den Anker einerseits und den Klöppel andererseits an einem biegsamen dünnen Metallblech, das gasdicht in einer Aussparung der Gehäusewand angebracht wird. Das Metallblech biegt sich beim Ankeranzug durch und überträgt die Bewegung auf den Klöppel (Membranwecker). Für besonders geräuschvolle Räume und für Aufstellung im Freien werden auch Motorwecker zum Anschluß an Starkstrom gebaut.

Um bleibend sichtbare Zeichen zu erhalten, verwendet man die Fallscheibe, die von einer am Anker des Weckers befestigten Nase gehalten wird und beim ersten Anzug des Ankers niederfällt und sichtbar wird; unter Umständen schließt sie dabei noch einen zweiten Stromkreis, welcher dem Wecker den Strom der eigenen Batterie zuführt und ihn weiterarbeiten läßt, bis die Fallscheibe wieder aufgerichtet wird (Fortschellwecker). Bei manchen Weckern wird das elektromagnetische Werk im Innern der Glockenschale angebracht. Der Langsamschläger ist ein Rasselwecker, bei dem der Anker beim Anzug ein kleines Schwungrad in Bewegung setzt, das in der Ruhelage einen Kontakt, der im Hauptstrom liegt, unter Federkraft schließt. Indem es ausschwingt, unterbricht es den Stromkreis und schließt ihn erst bei der Rückschwingung, doch nur auf so lange, bis es wieder einen Antrieb vom Strom erhält. An Stelle eines Schwungrades mit Rasselwecker kann man auch einen Relaisunterbrecher mit Verzögerung und Einschlagwecker benutzen.

Polarisierte Wecker werden in Haustelegraphenanlagen gewöhnlich nicht verwendet, dagegen sind sie in der Fernsprechtechnik üblich (1730).

(2070) Hupen. Befinden sich in einem Raume bereits andere Wecker (Fernsprechapparate) oder soll ein Anruf besonders scharf hervorgehoben werden, so verwendet man, besonders auch in geräuschvollen Räumen, elektrische Hupen. Diese werden für Batteriespannungen von 8 V aufwärts oder zum Anschluß an Starkstrom (Gleich- oder Wechselstrom) bis 220 V gebaut.

Hupen für Gleichstrom arbeiten als Selbstunterbrecher. Vor dem Elektromagnet E (Abb. 1346) ist eine kräftige Eisenmembran M angebracht, die sich beim Einschalten nach den Polen des Magneten zu durchbiegt und dadurch den Kon-

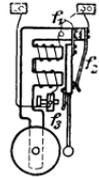


Abb. 1345. Gleichstromwecker.

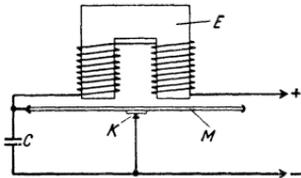


Abb. 1346. Gleichstromhupe.

takt K öffnet. Die Membran schnell zurück, schließt den Kontakt K wieder und gerät auf diese Weise in dauernde Schwingungen. Die Höhe und Stärke des Tons läßt sich durch Vorspannen der Membran bzw. durch Verstellen des Kontaktes K in gewissen Grenzen (etwa 600 bis 800 Per/s) verändern. Der kleine Kondensator C dient zum Funkenloschen und verhindert vorzeitiges Verschmoren des Kontaktes K .

Bei größeren Hupen benutzt man einen Topfmagnet. Die als Unterbrecher geschaltete Ankermembran dient meist nicht selbst als Schallerzeuger, sondern ein an ihr befestigter Stift schlägt kräftig gegen eine stärkere Membran größeren Durchmessers. Diese Hupen tonen besonders scharf und durchdringend.

Hupen für Wechselstrom haben den Vorteil, daß Unterbrechungskontakte entbehrlich sind. Sie lassen sich aber in der Tonhöhe nicht regulieren. Um dem an sich tiefen Ton der Hupe eine hellere, trompetenähnliche Klangfarbe zu geben, verwendet man mit Vorteil zwei im Mittelpunkt gekuppelte Membranen, von denen die innere bei jedem Polwechsel einmal kräftig auf die Polschuhe des Magnets aufschlägt.

(2071) Anzeigeanparate (Ruftafeln) mit Fallklappe dienen zum Erkennen der rufenden Stelle. Die Fallklappe besteht aus einem Elektromagnet, dessen Anker in der Ruhelage eine an einem drehbaren Hebel angebrachte Fallscheibe festhält. Beim Anziehen des Ankers wird die Scheibe freigegeben und dreht durch ihre Schwere den Hebel bis zu einem Anschlag. Hierbei wird entweder die mit einer Bezeichnung versehene Scheibe hinter einem Glasfenster sichtbar oder sie zeigt durch ihren Fall eine vorher verdeckt gewesene Bezeichnung. Eine größere Zahl solcher Elektromagnete mit Fallscheiben wird in einem Holzkasten vereinigt. Die Fallscheibe muß mechanisch wieder in ihre Ruhelage gebracht werden. Zuweilen wird auch durch das Herabfallen der Scheibe ein Ortsstromkreis mit Wecker geschlossen; letzterer ertönt dann so lange, bis die Scheibe in ihre Ruhelage zurückgestellt wird. Meistens durchfließt aber jeder einen Elektromagnet in Tätigkeit setzende Strom gleichzeitig einen für alle Scheiben gemeinsamen Wecker, der so lange ertönt, wie der Druckknopf den Kontakt herstellt.

Für einfache Anlagen kann man einen Wecker mit Fallscheibe benutzen, um festzustellen, ob gerufen worden ist oder um einen zweiten Weckerkreis zu schließen.

An Stelle der an einem drehbaren Hebel befestigten Fallscheibe ist auch die Vertikalklappe infolge ihrer einfachen Konstruktion sehr verbreitet. An der Fahne ist ein schmaler Metallstreifen befestigt, der in einer Führung senkrecht niedergleiten kann, wenn die durch den Anker festgehaltene Nase freigegeben wird. Diese Ausführung gestattet auch, durch Wiederholung der Stützpunkte den ganzen Weg der Klappe beim Fall zu unterteilen. Besonders in Hotelanlagen ist es oft üblich, von den rufenden Stellen durch ein-, zwei- oder dreimaliges Drücken des Kontaktes verschiedene Signale zu geben (Kellner, Mädchen, Diener). Die Klappe fällt alsdann bei einmaligem Drücken um $\frac{1}{3}$ des ganzen Weges, beim zweiten Kontaktgeben um $\frac{2}{3}$ und erst beim dritten Stromschluß in die letzte Stellung. Hinter dem Deckglas werden dann immer nur die besonders gekennzeichneten drei Teile der Fahne einzeln sichtbar.

Sollen in Tätigkeit gesetzte Fallklappen von irgend einer anderen Stelle wieder in die Ruhelage zurückgenommen werden, so gelangen sogenannte Stromwechsellklappen zur Anwendung. Diese enthalten zwei voneinander unabhängige Elektromagnete mit einem zwischen beiden drehbaren Anker, auf dem die Rufklappe befestigt ist. Zum Abstellen wird der zweite Elektromagnet erregt, der Anker folgt nach dieser Richtung und führt die Klappe in die Ruhelage zurück. Besteht der Anker aus einem permanenten Magnete, so erfolgt die Rückstellung durch Umkehrung der Stromrichtung in den Spulen.

(2072) Glühlampenruftafel. An Stelle der Klappen verwendet man in größeren Signalaruftafeln mit Vorteil Glühlampen, die direkt oder durch ein Relais eingeschaltet werden. Glühlampenruftafeln sind übersichtlicher und in den Ab-

messungen meist kleiner als Klappentafeln; sie arbeiten geräuschlos und können von einer entfernten Stelle abgeschaltet werden. Meist werden Glühlampen derselben Form, wie bei Fernsprechämtern (1178) benutzt, Spannung meist 24 oder 12 V, Stromverbrauch je Lampe 0,08 bis 0,12 A.

Sind nur einige Signale zu geben oder sollen die Signale möglichst auffallend sein, so ordnet man die Signallampen hinter Mattglasscheiben an, auf denen das Signalwort geschrieben ist. Solche Glühlampenuf- und Klappentafeln werden als Kommando- oder Gefahrmeldeanlagen besonders in Maschinenhäusern, auf Schiffen usw. sowie als Fahrtrichtungsweiser im Eisenbahnbetriebe benutzt.

Häufig kommt es nur darauf an, von einer Stelle nach einer oder mehreren anderen eine Zahl zu signalisieren. Anstatt nun als Empfänger Ruf- und Klappentafeln mit 10 Feldern (für die Ziffer 1 bis 0) zu verwenden, kann man die Glühlampen in einem Gehäuse geringerer Abmessung (mit nur einem Feld) so anordnen, daß durch Einschalten einiger dieser Lampen die Ziffer sichtbar erscheint. Durch 11 in je einer besonders geformten Lichtkammer angeordnete kleine Lampen können alle Ziffern zusammengestellt werden (Abb. 1347). Zum Einschalten der Lampen in Gruppen kann man Schalter oder Drucktasten mit entsprechender Kontaktzahl benutzen. Nach einer für Devisenfernsprecher in Großbanken entwickelten Ausführung wird zur Einstellung der Ziffer eine Wahlscheibe benutzt, wie sie als Nummernschalter an den Teilnehmerstationen der Selbstanschlußfernsprechanlagen üblich ist (1961). Durch die Impulse der Scheibe wird ein Wähler gesteuert, an dessen Kontakten Einschalterelais mit mehreren Federn für die einzelnen Lampenkombinationen angeschlossen sind. Der Wähler wird zweckmäßig in der Nähe der Lampentafeln angeordnet. Da zur Verbindung zwischen Nummernscheibe und Wähler nur zwei Leitungen erforderlich sind, kann bei dieser Anordnung erheblich an Leitungsmaterial gespart werden.

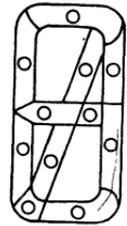


Abb 1347.
Lichtkammer.

(2073) Gasthofsanlagen. Haustelegaphenanlagen mit Weckern und Fallklappenruf- und Klappentafeln haben den Nachteil, daß die Gäste durch das häufige Klingeln gestört werden. Zudem ist der Ort, von welchem der Ruf erfolgte, nur an der Ruf- und Klappentafel erkenntlich. Etwa auf dem Gang sich aufhaltende Bedienungspersonen müssen bei einem Klingelzeichen zunächst in den Raum eilen, in dem die Ruf- und Klappentafel sich befindet, wobei sie oft an dem Zimmer, das Bedienung wünscht, vorbeigehen und somit unnötige Wege machen. Das Geräusch des Klingelns ist auch in Krankenhäusern sehr störend. Man benutzt daher für größere Hotels und Krankenhäuser mit Vorliebe die geräuschlos wirkenden Lichtsignalanlagen. Bei diesem System werden über den Zimmertüren und in dem Aufenthaltsraum der Bedienung Ruflampen angeordnet, auf Gängen dagegen Richtungs- oder Gruppenlampen. Drückt ein Gast auf den Rufknopf in seinem Zimmer, so leuchten die Ruf- und Richtungslampen auf. Die Bedienungsperson wird durch die Richtungslampen an den Kreuzungen der Gänge auf dem kürzesten Wege zum Zimmer des rufenden Gastes geleitet, über dessen Eingangstür die Ruflampe brennt. Befindet sich die bedienende Person auf dem Gang, so kann sie an den Lampen sehen, von welchem Zimmer gerufen worden ist und braucht demnach nicht in das Dienerrzimmer zurückzugehen. Beim Eintreten in das Zimmer des Gastes löscht die gerufene Person durch Drücken auf einen Abstellknopf alle Lampen dieses Signals aus. Die Lampen werden für verschiedene Bedienungspersonen (Kellner, Mädchen, Diener) in verschiedener Farbe (rot, grün, blau) ausgeführt. Die Lampen selbst werden meist in der Architektur angepaßte Fassungen angebracht, die Leitungen unter Putz verlegt, so daß die ganze Anlage ein gefälliges Äußere aufweist. Für solche Anlagen sind auch weniger Leitungen erforderlich als für Ruf- und Klappentafelanlagen.

In dem Aufenthaltsraum der Bedienung werden manchmal außer den Ruflampentafeln noch gedämpft klingelnde Wecker (Langsamschläger) angeordnet. Auch

ist eine Kombination mit Ruftafeln insofern möglich, als z. B. im Pförtneraum oder bei der Stockwerksaufsicht Überwachungstafeln vorgesehen werden, nach denen die Geschwindigkeit der Bedienung beurteilt werden kann.

Während der Morgenstunden sind die Stubenmädchen meist mit Aufräumen der Zimmer beschäftigt und halten sich daher nicht im Dienerraum auf. Ein um diese Zeit dort ankommendes Lichtsignal wird daher nicht bemerkt werden. Durch eine besondere Einrichtung kann das Mädchen in dem Zimmer, in dem sie gerade beschäftigt ist, einen Klopfer (Schnarre) einschalten, der ertönt, sowie ein Ruf im Dienerraum eingeht. Das Zimmermädchen braucht nun nicht bis zum Dienerraum zu gehen, um die rufende Zimmernummer festzustellen, sondern sie findet die rufende Stelle durch die Richtungs- und Zimmerlampen.

Um in Gasthöfen eine große Anzahl von Bestellungen zu vermitteln, dient das „Pansignal“ von Carleton. In jedem Zimmer befindet sich ein Sender, in welchen man Stöpsel, entsprechend den Angaben in einer Liste, einsetzen kann. Dann ist das Triebwerk aufzuziehen und die Zentrale zu benachrichtigen. Diese schaltet die Leitung auf zwei Morseregistrierapparate und gibt durch Tastendruck die Sperrung der Sender frei. Im Sender dreht sich nur ein Arm über eine Reihe von Kontakten, welche Zimmernummer, Listennummer und weitere Angaben enthalten. Auch Ferndrucker (1482) und Kopiertelegraphen (Teleautograph) werden besonders im Auslande zum Verkehr zwischen den Stockwerkskellern, den Geschäftsräumen und der Küche verwendet. In letzter Zeit jedoch werden größere Gasthöfe immer mit ausgedehnten Fernsprechanlagen ausgerüstet, wobei jeder Gast in seinem Zimmer einen Apparat erhält. Die Bestellungen und das Wecken werden daher neuerdings meist mit Hilfe des Fernsprechers erledigt.

(2074) Stromquellen. Als Stromquellen verwendet man in der Regel Elemente nach Konstruktion der Leclanché- oder Beutelemente, auch Trocken-elemente (1112 u. folg.). Auch läßt sich bei Vorhandensein von Starkstrom die Betriebskraft von diesem unter Vorschaltung von Glimmlichtröhren (Reduktor), bei Wechselstrom über Klingeltransformatoren abnehmen. Bei Lichtsignalanlagen wird die Aufstellung von Sammlerbatterien nicht zu umgehen sein. Ist Wechselstrom vorhanden, so kann man die Signallampen über passend bemessene Transformatoren von der Lichtleitung speisen und kann dann für die Relais mit einer kleineren Sammlerbatterie auskommen (vgl. auch die „Vorschriften über den Anschluß von Fernmeldeanlagen an Starkstrom“).

(2075) Schaltungen für Haus- und Gasthofsignale. Es kann die Signaleinrichtung dazu dienen, um a) von einer oder mehreren Rufstellen aus nach einer Richtung hin nur Weckrufe zu geben, b) von der Empfangsstelle auch Rücksignale zu geben, c) auf der Empfangsstelle nicht allein die Weckrufe zu erhalten, sondern auch aus einem sichtbar werdenden Zeichen die Lage der rufenden Stelle zu erkennen.

Zur Erreichung dieser Zwecke kann man Arbeits- oder Ruhestrom anwenden. Am häufigsten werden Arbeitsstromschaltungen benutzt.

a) Weckrufe nach einer Richtung.

1. Soll ein Wecker von einer Stelle aus betrieben werden, so werden die Batterie B , der Druckknopf (Taste) T und der Wecker W hintereinander geschaltet (Wecker mit Selbstunterbrechung, Abb. 1348). — Sollen mehrere Wecker gleichzeitig auf den Tastendruck einer Stelle ertönen, so verwendet man Wecker mit Selbstausschluß (Nebenschlußwecker) und schaltet diese hintereinander, Abb. 1349. — Hat man Wecker gleicher Type und mit genügend hohem Widerstand, so können die Wecker auch parallel geschaltet werden, Abb. 1350.

2. Sind mehrere Rufstellen T_1 bis T_3 vorhanden, so bildet man aus Batterie B , Wecker W und dem entferntest belegenen Druckknopf T_1 einen Stromkreis und legt alle anderen Druckknöpfe T_2 bis T_3 mittels Zuleitungen parallel an die beiden Zweige der Hauptleitung. Abb. 1351.

b) Weckrufe nach beiden Richtungen (sogenannte Korrespondenzleitung).

Es sind drei Leitungen erforderlich. Der Druckknopf T_1 , die Batterie und der Wecker W_1 sind in einen Stromkreis zu legen und als Nebenschluß der Druckknopf T_2 mit dem Wecker W_2 , Abb. 1352.

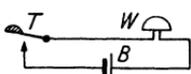


Abb. 1348. Anlage mit 1 Taste und 1 Wecker.

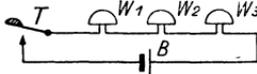


Abb. 1349. Anlage mit 1 Taste und mehreren Nebenschlußweckern.

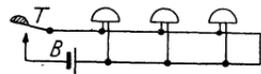


Abb. 1350. Anlage mit 1 Taste und mehreren Selbstunterbrechungweckern.

c) Auf der Empfangsstelle soll die rufende Stelle erkennbar werden. Außer dem Wecker ist ein Anzeigegerät mit Fallscheibe erforderlich. Man kann die Einrichtung so treffen, daß der Elektromagnet einer Fallscheibe KI mit dem

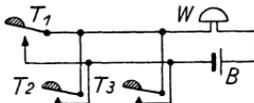


Abb. 1351. Anlage mit mehreren Tasten und 1 Wecker.

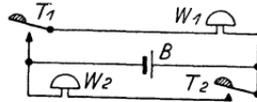


Abb. 1352. Korrespondenzanlage.

Wecker zugleich vom Strome beeinflusst wird, der Wecker W also nur so lange ertönt, wie die Taste T geschlossen ist, Abb. 1353, oder daß beim Fallen der Scheibe KI der Ortsstromkreis, in dem der Wecker liegt, durch den Klappen-

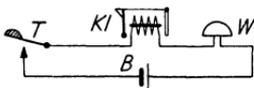


Abb. 1353. Anlage mit Fallklappe.

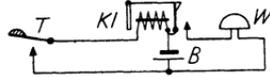


Abb. 1354 Anlage mit Fallklappe mit Damenkontakt.

kontakt KI geschlossen wird. Der Wecker ertönt dann bis zur Abstellung der Scheibe, Abb. 1354.

Von der Batterie B aus kann man (Abb. 1355) einen Leitungszweig mit Abzweigungen zu den Tasten T_2, T_3, T_1 und von jedem Druckknopf eine besondere Leitung zurück nach den Elektromagneten KI_1, KI_2, KI_3 der Signaleinrichtung führen. Das andere Ende jeder Elektromagnetwicklung liegt an der gemeinsamen Klemme des Signalgerätes, die über den Wecker zum anderen Batteriepol führt. Jeder Druckknopf setzt den zugehörigen Elektromagnet in Tätigkeit. — Will man in jedem Stockwerk einen besonderen Signalscheibenapparat betreiben, so wird der eine Zweig der Hauptleitung von der Batterie aus bis in das oberste Stockwerk geleitet (Abb. 1356), und von dieser Leitung werden Abzweigungen in die anderen Stockwerke geführt. Mit den Abzweigungen verbindet man die Druckknöpfe T , andererseits führen von letzteren Leitungen zu den Signalapparaten jeden Stockwerks. Von jeder Stockwerkstafel führt eine Leitung zu der Kontrollruftafel KT , deren gemeinsame Leitung über den Wecker zur Batterie zurückführt. Für die Zeit regen Verkehrs wird der Wecker der Kontrolltafel kurzgeschlossen. — Zur einfachen Kontrolle kann bei der Aufsichtsstelle eine Pendeltafel benutzt werden, deren Klappen in den Rückleitungen der Stockwerkstafeln liegen (Abb. 1356). Soll hingegen auch die Zeit zwischen Ruf und Bedienung überwacht werden, so ist eine Stromwechselfa-

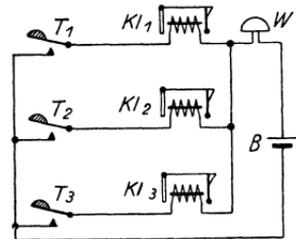


Abb. 1355. Anlage mit Ruftafel.

Stromwechselfa-

Klappen in der Rückleitung liegen und zweckmäßig mit den Kontakten der Abstellvorrichtung an den Stockwerkstafeln zurückgestellt werden.

(2076) Schaltung einer Lichtsignalanlage (Abb. 1357). Durch Drücken auf die Taste *ZT* im Zimmer des Gastes wird die Zimmerlampe *ZL* zum Leuchten gebracht. Gleichzeitig wird das Relais *Z* unter Strom gesetzt, das seine Kontakte *Z₁* und *Z₂* schließt und die Lampe *ZL* und Relaiswicklung *Z* über Kontakt *Z₁* auch dann noch unter Strom halt, wenn die Taste *ZT* losgelassen ist. Der Kontakt *Z₂* schaltet die für mehrere Zimmer gemeinsame Richtungslampe *RL* ein, gleichzeitig auch ein Richtungsrelais *R*. Von dem Kontakt *r* dieses Relais führt nun die Leitung weiter zu der nächsten in der Richtung zum Dienerraum liegenden Richtungslampe und so fort bis zur Bedienungsruflampe. Beim Eintreten in das Zimmer des Gastes wird die Taste *AT* betätigt, Relais *Z* fällt ab und alle Lampen erlöschen. Wird außer dieser Lichtrufeinrichtung noch eine Überwachungstafel gewünscht, so führt zu dieser die vom Kontakt *r* kommende Leitung zunächst über eine Lampe.

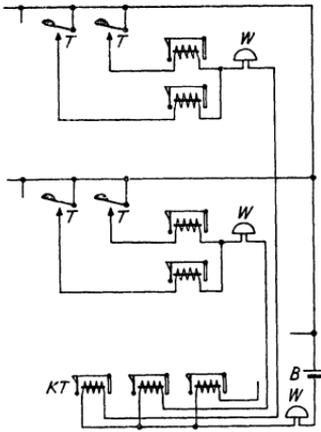


Abb. 1356. Anlage mit Stockwerkstafeln und Kontrolltafel.

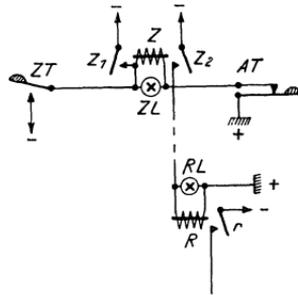


Abb. 1357. Lichtsignalanlage.

(2077) Herstellung der Leitungen innerhalb der Räume. Material: Für die Leitungen innerhalb der Räume ist isolierter Kupferdraht zu wählen, je nach den Verhältnissen mit Baumwolle umspinnen und mit Wachs getränkter (WD) oder besser gummiisolierter Draht (ZD oder NGA).

Type	Durchmesser des Kupferleiters	Isolation	Durchmesser des isolierten Leiters mm	Gewicht kg/km	Widerstand in Ω /km
Wachsdraht WD	0,8	2mal Baumwolle gewachst	1,6	6,3	rd. 35
	1 mm		1,9	9,0	„ 22
Zimmerleitungsdraht ZD	0,8 1 mm	Kupferleiter verzinkt, nahtlose Gummihülle mit Baumwolle beflochten und paraffiniert	2,7 3,2	11,7 15,5	rd. 35 „ 22
Normal-Gummiader (NGA)	1,13 (1 qmm)	nahtlose Gummihülle, gummiertes Band, schwarze imprägnierte Baumwollumklöpfung	4,5	30	rd. 18

(2078) Befestigung der Leitungen. Freiliegende Leitungen sind mittels verzinkter Eisenhaken oder Klammern zu befestigen. Beim Einschlagen ist mit Vorsicht zu verfahren, damit die isolierende Hülle nicht beschädigt wird. Zuweilen befestigt man auch Porzellanrollen mittels eines Stiftes oder eines Stahldübels mit Schraube an den Wänden und bindet die Leitung an diese Rollchen. — Dauerhafter ist die Verlegung in Isolierrohr, die alsdann wie bei Starkstromanlagen erfolgt, nur daß die Leiterquerschnitte (gemäß obiger Tabelle) geringer gehalten werden können. Für mehradrige Leitungen ist auch Bleikabel üblich (vgl. Starkstromausgabe 679, 680).

Neuerdings wird die Verlegung überwiegend unter Putz ausgeführt. Die Leitungen können dann in schmale, in den Wandputz eingesägte Rillen verlegt werden. Für solche Verlegung ist nur gummiisolierter Draht (ZD oder NGA) zu verwenden. Besser ist die Verlegung in Rohr. Ist das Mauerwerk feucht, so ist Peschelrohr zu verwenden. — Bei Lichtsignalanlagen ist oft mit erheblichen Stromstärken in den Speiseleitungen zu rechnen. Bei Bemessung der Querschnitte ist der Spannungsabfall zu berücksichtigen. — Wanddurchführungen sind nach der in der Starkstromtechnik üblichen Weise zu schützen.

Literatur: Canter: Haus- und Hoteltelegraphen. — Erfurth: Haustelegaphie. — Mix Genest: Anleitung zum Bau elektrischer Haustelegaphen, Telephon- und Blitzableiteranlagen. — Goetsch: Taschenbuch für Fernmeldetechniker. — Lindner: Schaltungsbuch für Schwachstromanlagen.

Elektrische Uhren.

(2079) Arten der Uhren. Mit dem Namen „elektrische Uhren“ sollten nur Uhren bezeichnet werden, die rein elektrisch betrieben werden. Als solche gelten die elektrische Pendeluhr als Einzeluhr und die sympathische oder Nebenuhr. Diese sind, ohne mechanisches Gangwerk, lediglich mit Elektromagnet oder Elektromotor ausgerüstet. Daneben werden, fälschlich als „elektrische Uhren“ bezeichnet die Hauptuhren für Zentraluhrenanlagen, mit oder ohne elektrischen Aufzug, das mechanische Werk aber ergänzt durch ein Kontaktwerk zur Abgabe des Stromimpulses; das gleiche gilt für Nebenuhren mit mechanischem Gangwerk, elektrischem Aufzug und einer elektrischen Einstellvorrichtung, welche in gewissen Zeitabschnitten einen Stromimpuls zwecks Einstellung der Uhr auf richtige Zeit erhält.

(2080) Pendeluhrn mit elektrischem Antriebe. Konstruktion Siemens mit Hipscher Wippe. Antrieb und Regulierung der Uhr bzw. Zeiger durch ein freischwingendes Pendel. Der am unteren Ende des Pendels angeordnete Eisenanker *a* (Abb. 1358) steht unter dem Einfluß des Elektromagnets *e*. Dieser erhält Strom, wenn die Pendelschwingungen kürzer werden und dadurch das am Pendel befestigte, an der Oberseite geriefelte Prisma nicht mehr unter der an der Feder *f* angeordneten, leicht beweglichen Stahlpalette (Hipsche Wippe) hindurchgleitet, sondern im Moment der Umkehr diese anhebt und damit den Kontakt zwischen den Federn *f* und *f*¹ schließt. Der so erregte Elektromagnet zieht den Anker *a* an und wirkt beschleunigend auf das Pendel. Der auf diese Weise dem Pendel erteilte Anstoß hat zur Folge, daß ein neuer Kontaktschluß erst nach einer größeren Anzahl Schwingungen erfolgt. Das Pendel dient bei dieser Uhr nicht nur als Gangregler, sondern es überträgt die ihm durch seine Ausgestaltung und den elektrischen Strom gegebenen 40 Doppelschwingungen in der Minute über die Pendelgabel auf das Zeigerwerk, wie aus Abb. 1358 erkennbar. Die Uhr kann auch mit einem Pendel anderer Schwingungszahl hergestellt werden.

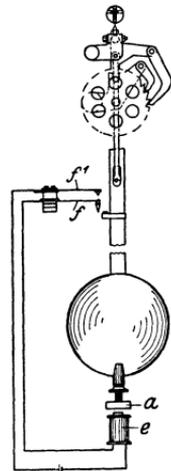


Abb. 1358. Elektrischer Pendelantrieb (System Siemens).

Favarger (Abb.1359) läßt das Pendel bei jeder Schwingung links oder rechts einen Kontakt schließen und damit ein Hilfsuhrwerk voranbewegen, das von Zeit zu Zeit einen in seiner Stärke einstellbaren kurzen Stromstoß durch die eine der beiden Spulen schickt und damit dem Pendel, an dessen unterem Ende ein gebogener Magnetstab befestigt ist, einen Antrieb gibt. Die Spulen tragen im Innern geschlossene Kupfer- oder andere Metallhülsen, wodurch die Bewegung gedämpft wird. Die zweite Spule dient dazu, durch eine zusätzliche Kraft den Gang des Pendels zu verzögern oder zu beschleunigen.

E. Pfeiffer bringt den auf das Pendel wirkenden Elektromagnet oberhalb der Aufhängefeder an; ein vom Pendel gesteuerter Kontakt bringt die Stromschlüsse links und rechts hervor, worauf der Elektromagnet der Pendelstange einen Antrieb nach rechts bzw. links erteilt.

Diese Uhren werden nur zur Regulierung von Mutteruhren und für wissenschaftliche Zwecke verwandt.

In den letzten Jahren macht sich besonders im Auslande das Bestreben bemerkbar, die elektrischen Pendeluhren als Gebrauchsuhr im Sinne der bisherigen mechanischen Zimmeruhren zu entwickeln. Ein typisches Beispiel dafür bildet die Uhr von Favre-Bulle. Alle diese Uhren haben gemeinsam den Fehler, daß der Gang neben anderem auch vom Zustand der Stromquelle abhängig ist. Sie halten, besonders auf lange Zeit, nicht die Ganggenauigkeit, die mit einer mechanischen Präzisionsuhr erreicht wird.

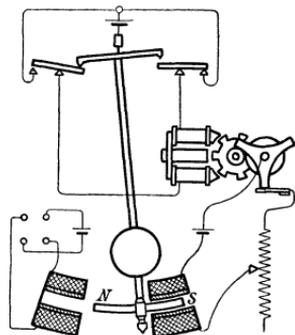


Abb. 1359. Elektrischer Pendelantrieb und Nebenuhrkontakt (System Favarger).

(2081) Sympathische Uhren

(elektromagnetische Zeigerwerke). Das Elektromagnetsystem einer sympathischen Uhr nimmt den Stromstoß, welcher von einer Zentralstelle aus in bestimmten Zeitabschnitten (halbminütlich oder minutlich) in die Linie gegeben wird, auf, bewegt den Anker und damit die Zeiger. Die ersten Uhren dieser Art waren mit einfachen, nicht polarisierten Elektromagneten ausgerüstet und zeigten sehr häufig Fehler durch ungewollten Zeigersprung, entweder bei einer zufälligen Wiederholung des Kontaktes oder wenn ein Fremdstrom in die Leitung gelangte. Später entstanden Werke, deren Elektromagnetsysteme durch einen permanenten Magnet polarisiert wurden, so daß diesen Nebenuhren die Stromimpulse in dauernd wechselnder Richtung zugeführt werden müssen. So kann zwar bei Eintritt eines Fremdstromes anderer Richtung, als der letzte von der Zentraluhr gegebene Stromstoß, der Zeiger um eine oder eine halbe Minute fortbewegt werden, dieser Fehler wird aber beim nächsten Impuls ausgeglichen, da auf diesen, der dann wieder die Richtung des Fremdstromes hat, das polarisierte System nicht anspricht. Unzählige Konstruktionen dieser Art entstanden, aber nur wenige haben trotz der scheinbaren Einfachheit der Aufgabe den Anforderungen genügt. Grundlegend im konstruktiven Aufbau, wenn auch nicht in jedem Falle praktisch, hat die Firma Hipp-Favarger wiederum gewirkt, jedoch sind die Konstruktionen dieser Art inzwischen überholt. Die Abb. 1360, 1361 und 1362 zeigen die ältesten Konstruktionen.

Als eine Uhr, die in ihrem konstruktiven Aufbau durchaus praktisch zu nennen ist und die sich schon über Jahrzehnte gut bewährt hat, ist die der Konstruktion Grau anzusehen. Abb. 1363 zeigt diese Ausführung; es ist erkennbar, daß ein Doppel-Z-Anker zwischen den Polen eines polarisierten Elektromagnets drehbar angeordnet ist. Um das Schleudern des Ankers zu verhindern, ist eine Fangvorrichtung vorgesehen. Die Übersetzung auf das Zeigerwerk geschieht in bekannter Weise.

Die sympathische Uhr der Siemens & Halske A.G. ist mit Schwingankerwerk ausgerüstet. Die Anordnung des permanenten Magnets und die Verlänge-

rung des Ankers ist so günstig, daß diese Uhr eine außerordentliche Kraftleistung aufweist. Es ist bei verhältnismäßig kleinen Abmessungen möglich, mit dieser

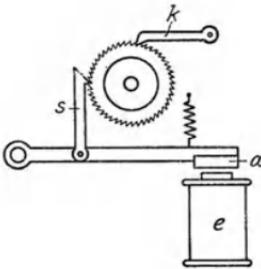


Abb. 1360. Gleichstrom-Nebenuhr (Steinheil).

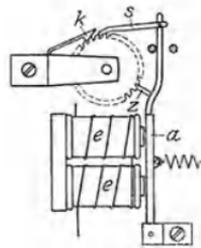


Abb. 1361. Gleichstrom-Nebenuhr (Siemens).



Abb. 1362. Polarisierter Nebenuhr (Stöhrer).

sympathischen Uhr sehr große Zeiger zu betreiben. Mittels eines Klinkenwerkes muß die Hin- und Herbewegung in eine fortlaufende umgesetzt werden, wie dies Abb. 1364 zeigt.

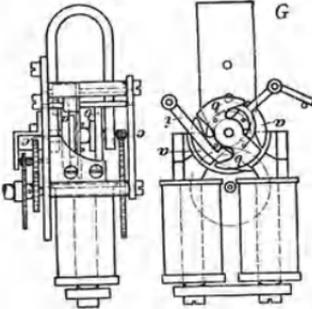


Abb. 1363. Polarisierter Nebenuhr (Grau-Wagner).

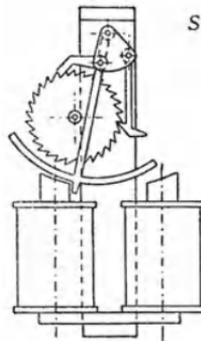


Abb. 1364. Polarisierter Nebenuhr (Siemens & Halske).

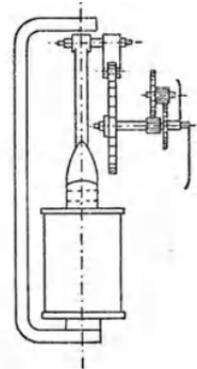


Abb. 1365. Polarisierter Nebenuhr (Siemens & Halske).

Eine in der Wirkung erheblich schwächere und daher nur für Innenräume verwendbare Konstruktion zeigt ein zweiter Typ der gleichen Firma (Abb. 1365). Der hier vorgesehene einfache Z-Anker sitzt direkt auf einer Schneckenwelle, welche über ein Schneckenrad das Zeigerwerk ohne weitere Übersetzung antreibt. Der besondere Vorzug dieser Uhr ist der geräuschlose Gang, weil eine Sperrvorrichtung mit Rücksicht auf die Schnecke nicht erforderlich ist. Durch den Fortfall aller weiteren Mechanismen ist die Uhr im Gang außerordentlich zuverlässig und Störungen nicht unterworfen.

In ihren Kraftleistungen gleichfalls gering ist die Magneta-Uhr (Ab. 1366). Die Konstruktion dieser Uhr ist dem besonderen System angepaßt, d. h. die Uhr

muß auf einen sehr kurzen Induktionsstromstoß, welcher vom Induktor der Hauptuhr ausgeht, ansprechen.

Die Uhr der AEG besteht aus einem Stahlmagnet, in dessen Feld sich zwei flache, eisenlose Spulen befinden, die sich je nach der Richtung des hindurchfließenden Stromes hin und herbewegen. Die schwingende Bewegung wird mittels Klinken auf das Steigrad übertragen.

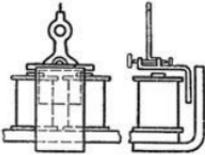


Abb. 1366. Polariserte Nebenuhr (Magneta).

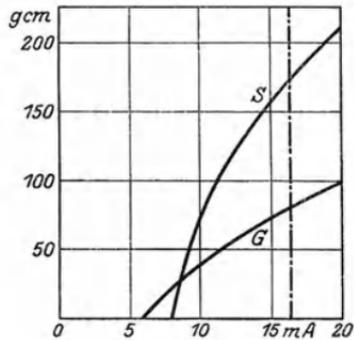


Abb. 1367. Leistungskurven.

Die Verwendung sympathischer Uhren, besonders solcher großen Durchmessers, im Freien, hat zur Voraussetzung, daß die Zeiger durch Glasscheibe gegen Winddruck und Schnee geschützt werden müssen. Deshalb sind diese Werke nur bedingt als Turmuhren verwendbar.

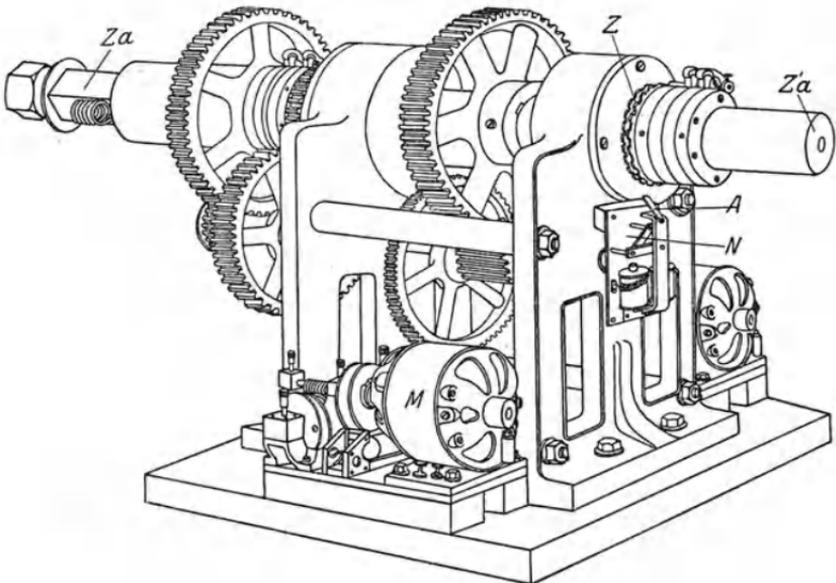


Abb. 1368. Turmuhrwerk mit Mo.orantrieb.

Das Verhältnis der Kräfteleistungen zu dem aufgewendeten Strom für die Uhren Abb. 1363 (G) und Abb. 1364 (S) zeigen die Kurven Abb. 1367. Wie aus den Kurven ersichtlich, müssen den Uhren für entsprechende Kräfteleistungen

auch entsprechende Ströme zugeführt werden; dementsprechend sind die Elektromagnetwicklungen zu wählen.

(2082) Turmuhren. Erheblich größere Kraftleistungen werden bei Turmuhren erforderlich. Für solche können, wie schon erwähnt, sympathische Werke nur bedingt Anwendung finden, und zwar da, wo die Abdeckung des Zeigerwerkes durch besondere Glasscheibe möglich ist. Letzteres empfiehlt sich im allgemeinen nicht wegen der Spiegelung; aus praktischen Gründen ist die Abdeckung durch Glasscheibe auch nur bis zu gewissen Durchmessern möglich.

Eine rein elektrische Turmuhr zeigt Abb 1368. Bei dieser Uhr nimmt ein sympathisches Nebenuhrwerk die Stromimpulse von der Hauptuhr auf und über-

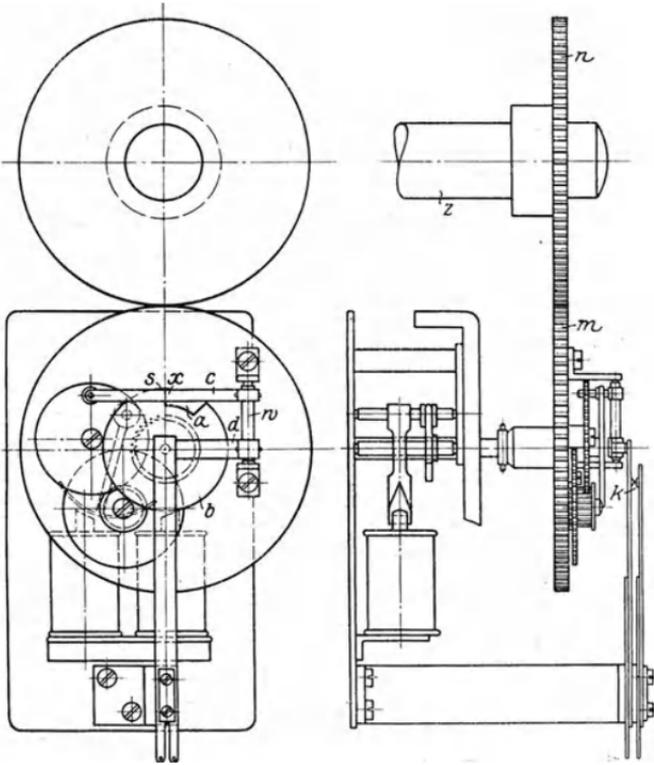


Abb. 1369. Nachstellvorrichtung für Turmuhren mit Motorantrieb b.

trägt sie auf die in Abb. 1369 dargestellten Kontakte und Nachstellvorrichtungen so, daß die Scheibe *b* etwas gedreht wird. Diese Drehung verursacht ein Anheben des Hebels *c*, dessen bei *x* vorgesehene Nase auf eine schräge Fläche *a* der Ausnehmung in der Scheibe *b* aufläuft. Da der Hebel *c* mit der Welle *w* fest verbunden ist, so wird auch der Hebel *d* angehoben; dieser schließt den Kontakt *k*, wodurch der Motor des Werkes eingeschaltet wird. Der Motor bewegt die Zeigerachse *z* und damit die Zeiger. Das auf dem anderen Ende der Zeigerachse befestigte Zahnrad *n* steht im Eingriff mit dem Zahnrad *m*, welches beweglich auf der Achse befestigt ist; so läuft die Nase wieder zurück in die Ausnehmung, wodurch der Kontakt wieder geöffnet und der Motor ausgeschaltet wird. Dieses Spiel wiederholt sich minutlich oder halbsminutlich nach Maßgabe der von der

Hauptuhr ausgehenden Impulse. — Wird für den Motor keine besondere Akkumulatorenbatterie vorgesehen, sondern wird er an ein Starkstromnetz angeschlossen, so liegt die Gefahr vor, daß der Strom einmal ausfällt und die Zeiger stehen bleiben. Da aber die von der Hauptuhr kommenden Stromimpulse die Scheibe minutlich weiterbewegen, so bleibt die Nase auf der Stirnfläche der Scheibe ruhen und der Kontakt bleibt geschlossen, bis der Starkstrom wieder einsetzt und damit zwangsläufig und absolut zuverlässig der Motor so lange eingeschaltet bleibt, bis die Nase wieder einfällt, der Kontakt geöffnet und das Zeiger-

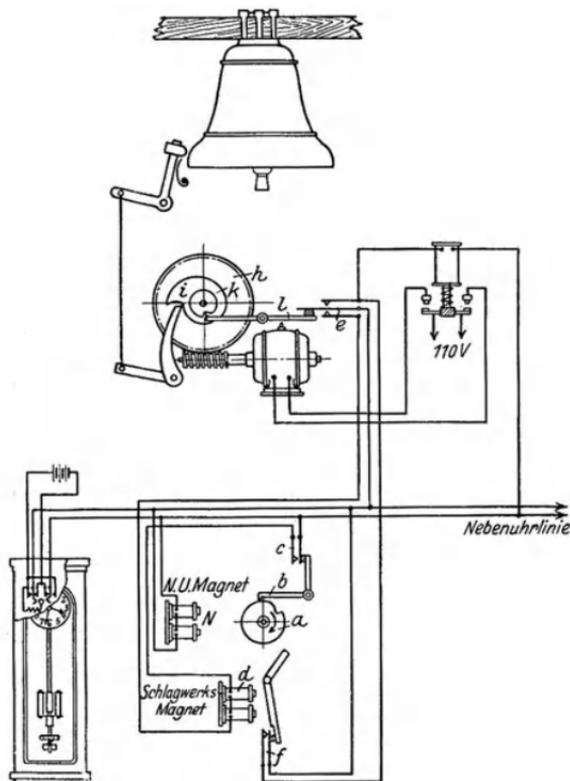


Abb. 1370. Turmuhr-Schlagwerk mit Motorantrieb.

werk der Uhr auf richtige Zeit gebracht ist. — Diese Uhr eignet sich besonders für ganz große und schwere Zeiger, für welche Gewichtswerke nicht mehr ausreichen.

Vorhandene mechanische Turmuhren können gleichfalls an ein Zentraluhrennetz angeschlossen werden. Es wird dann durch ein sympathisches Uhrwerk der kontinuierliche Gang des Werkes gehemmt und nur minutlich freigegeben; die Zeiger werden auf diese Weise wie bei sympathischen Uhren um je eine Minute fortbewegt. Das Gewicht kann mittels Motors aufgezogen werden; die Ein- und Ausschaltung des Motors erfolgt selbsttätig durch das Gewicht. Bei mechanischen Turmuhren ist das Schlagwerk in allen Fällen mit dem Gangwerk der Uhr direkt gekuppelt; es sind also oftmals — der Lage des Turmuhrwerkes und der für den Stundenschlag in Betracht kommenden Glocken entsprechend — große Entfernungen bis zu den Hammerzügen zu überbrücken.

Dem vorbeschriebenen elektrischen Turmuhrwerk kann dagegen ein Turmuherschlagwerk, in Abb. 1370 schematisch dargestellt, beigegeben werden, das lediglich elektrisch gesteuert wird und demzufolge mechanisch vollkommen unabhängig vom Gehwerk ist. Die Aufstellung kann der Lage der Glocken entsprechend günstig gewählt werden. Ein solches elektrisches Schlagwerk ist in seinem mechanischen Aufbau außerordentlich viel einfacher, als Turmuherschlagwerke alter Konstruktion.

(2083) Nicht rein elektrische Uhren. Die Mutteruhr mit mechanischem Werk und Kontaktwerk zum Betriebe von Nebenuhren usw. Da dem Gang dieser Uhr entsprechend die angeschlossenen Uhren richtige oder falsche Zeit zeigen, so sollten in allen Fällen erstklassige Werke mit zuverlässigem Gang Verwendung finden. An Stelle des Schlagwerkes tritt das Kontaktwerk. Abb. 1371 zeigt den Kontakt für mehrere Linien, wie ihn verschiedene Firmen (Wagner, Bohmeyer und andere) verwenden. Bei diesem Kontaktwerk erfolgt die Stromabgabe in die angeschlossenen Linien nacheinander; es tritt aus diesem Grunde eine Zeitdifferenz zwischen den Uhren der einzelnen Linien ein.

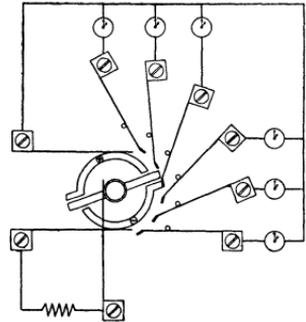


Abb. 1371. Kontaktanordnung an Hauptuhren (für 6 Schleifen).

Abb. 1372 zeigt eine Kontakteinrichtung von Siemens & Halske für etwa 50 Uhreneinheiten, Abb. 1373 eine solche für etwa 100 Uhreneinheiten. Darüber hinaus kommen die in (2092) beschriebenen Kontaktapparate und Schaltungen zur Anwendung. Die Kontakte (Abb. 1372 und 1373) bieten den Vorteil, daß im Ruhezustande, also vor dem Öffnen und Schließen der Batterie, die Leitungen, in welche

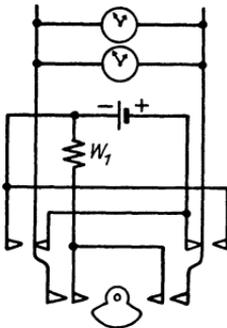


Abb. 1372. Kontakteinrichtung von Siemens & Halske (für kleine Anlagen.)

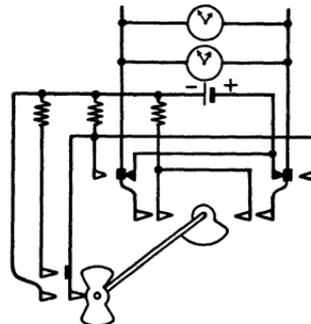


Abb. 1373. Kontakteinrichtung von Siemens & Halske (für größere Anlagen).

die Nebenuhren geschaltet sind, kurzgeschlossen werden. Es werden so die schädlichen Wirkungen der beim Öffnen und Schließen der Stromquelle in den Elektromagneten der Nebenuhren entstehenden Induktionsströme vermieden. Um aber die Funkenbildung an den Kontakten und damit deren Verbrennen vollständig zu vermeiden, werden Stromschluß und Unterbrechung stufenweise über Widerstandsspulen bewirkt. Abb. 1372 zeigt den Kontakt mit einer Spule (also 2 Stufen), Abb. 1373 mit 3 Spulen (also 4 Stufen) ausgerüstet. So ist es möglich, den Strom für eine große Anzahl Uhren über einen Kontakt zu leiten.

(2084) Mechanische Uhr mit elektrischem Aufzug. Die elektrischen Aufzugsvorrichtungen für mechanische Uhren sind in außerordentlich vielen unterschied-

lichen Ausführungsformen hergestellt worden. Die ersten Einrichtungen bestanden aus Elektromagneten, deren Anker zu Hebeln ausgebaut waren; die Elektromagnete wurden durch die Uhr selbst in gewissen Zeitabschnitten an die Stromquelle gelegt, wodurch die Feder oder das Gewicht aufgezogen wurde. Später erhielten diese Elektromagnete die Form von kleinen Motoren und in jüngster Zeit erhalten sie mehrfach die Form von elektrischen Nebenuhren. Diese Form wird vornehmlich gewählt, wenn die Einzeluhr als Mutteruhr für eine Zentraluhrenanlage Verwendung findet, und es erhält dann das Aufzugwerk wie die Nebenuhren selbst minutlich oder halbminutlich einen Stromimpuls, um das Antriebsgewicht zu heben, oder die Antriebsfeder nachzuspannen.

(2085) Nebenuhr mit mechanischem Gangwerk (Fernstellsystem). An Stelle sympathischer Uhren verwendet die Normalzeit G. m. b. H. nach den Vorschlägen von W. Förster selbständige mechanische Einzeluhren, die mit selbsttätigem Aufzug versehen sind und in bestimmten Zeitabschnitten von einer Zentralstelle aus selbsttätig auf richtige Zeit eingestellt werden. Die Regulierung kommt dadurch zustande, daß bei jeder der in eine Linie geschalteten Uhren zu einer bestimmten, regelmäßig wiederkehrenden, aber bei jeder Uhr anderen Zeit von der Uhr selbst ein Kontakt geschlossen wird, welcher die vorgenannte Sperrvorrichtung an Erde und damit in den Stromkreis der Linie schaltet. Die Sperrvorrichtung hebt die Verbindung zwischen dem Gangregler (Pendel) und dem Uhrwerk auf; nun schwingt der Gangregler solange frei, bis durch Öffnen des Stromkreises auf der Zentrale die Verbindung zwischen dem Gangregler und dem Uhrwerk wieder hergestellt wird. Dies geschieht genau in dem in Betracht kommenden richtigen Zeitpunkt. Die Uhr ist also solange außer Betrieb, als Differenz zwischen der von der Uhr angezeigten Zeit im Moment der Einschaltung und der in Betracht kommenden richtigen Zeit besteht.

Eine Registriervorrichtung an der Hauptuhr kennzeichnet linienweise die Regulierung aller angeschlossenen Uhren; falls eine Uhr vom Regulierimpuls nicht erfaßt worden ist, kann Abhilfe herbeigeführt werden, d. h. die Uhr wieder richtiggestellt und einreguliert werden. Als ein Vorteil in diesem System könnte es angesehen werden, daß ein Leitungsbruch die Uhren nicht zum Stillstehen bringt, wie dies bei sympathischen Uhren der Fall wäre. Wird der Leitungsbruch so schnell behoben, daß die durch den Bruch immer weiter ansteigende Differenz der Uhren mit Rücksicht auf ihre Voreilung nicht zu groß wird, so dürfte dieses auch wirklich als Vorteil angesehen werden. Im anderen Falle aber ist die falsche Zeitangabe schädlicher als gar keine Zeitangabe.

Im Vergleich mechanischer Uhren mit sympathischen Uhren, welche also die Zeigereinstellung in Abständen von einer halben oder einer ganzen Minute bewirken, könnte weiter als Nachteil der sympathischen Uhren angeführt werden, daß, namentlich bei Minuteneinstellung, im letzten Moment eine Differenz von 59 Sekunden irrtümlich abgelesen werden kann, während dies bei kontinuierlich laufenden Zeigerwerken nicht der Fall ist. Dagegen geben die sympathischen Uhren die Möglichkeit, im Moment des Zeigersprunges absolut zuverlässig die richtige Zeit abzulesen, während Uhren mit kontinuierlichem Gang wegen der Zahnluft im Zeigerwerk und wegen der Parallaxe eine richtige Ablesung nur zulassen, wenn ein Sekundenzeiger vorhanden ist und wenn dieser mit dem Gang der Minuten- und Stundenzeiger genau übereinstimmt.

Eine besondere Art der elektrisch einstellbaren Uhren bilden solche elektrischen Pendeluhren, deren Einstellung ohne Rücksicht auf Vor- oder Nach-eilung und ohne Rücksicht auf bestimmte Zeitabschnitte beim Auftreten auch geringer Gangdifferenzen möglich ist. Diese Uhren eignen sich besonders als Unterhauptuhren in sehr ausgedehnten Uhrenanlagen (Näheres siehe 2089).

(2086) Das Leitungsnetz muß sich dem System anpassen. Für periodisch gestellte Uhren kann man, wie (2085) erwähnt, Einfachleitungen mit Erde als Rückleitung verwenden. Für sympathische Uhren wurde früher dieselbe Schaltung angewendet. Mit Rücksicht aber auf Induktionsstörungen aus dem Straßen-

bahnnetz usw. verwendet man nur noch Doppel- oder Schleifenleitung. Die „Magneta“ verwendet mit Rücksicht auf die Stromquelle mit höherer Spannung (2088) die Serienschaltung. Aber auch bei Verwendung von Akkumulatoren ist Schleifenleitung zu empfehlen, da die sympathischen Uhren, alle mit gleichem Widerstand ausgerüstet, dann auch gleichen Strom erhalten, während bei Parallelschaltung, namentlich bei langen Leitungen, ein Spannungsabfall eintritt. Die Schleifenleitung hat den weiteren Vorteil, daß bei Leitungsbruch alle Uhren gleichzeitig stehen bleiben, so daß nach Behebung des Fehlers von der Zentrale aus alle Uhren vermittels Nachstellschalter wieder auf die richtige Zeit gebracht werden können, während bei Parallelschaltung zwar auch die hinter dem Bruch liegenden Uhren stehen bleiben, diese aber am Ort einzeln wieder gestellt werden müssen.

Uhrenanlagen und Stromquellen.

(2087) Systeme. Gleichmäßiger Gang großer Uhrenanlagen ist nur möglich unter Verwendung des elektrischen Stromes. Die in Betracht kommende Aufgabe kann aber unter Benutzung verschiedener Systeme durchgeführt werden, wie schon vorher erwähnt, zunächst durch Verwendung elektrisch einstellbarer Uhren (System der Normalzeit), durch sympathische Uhren und neuerdings in einer dritten Weise unter Verwendung kleinster Synchronmotoren, welche, mit Zeigerwerk ausgerüstet, als Nebenuhr in ein Starkstromnetz eingeschaltet werden. Die Leitungsnetze für die zuerst genannten beiden Systeme werden (2086) beschrieben.

(2088) Die Stromquellen bestehen bei beiden älteren Systemen in den meisten Fällen aus Akkumulatorbatterien, nur bei kleinen Anlagen können galvanische Elemente Verwendung finden. Beim System der Magneta wird dagegen an Stelle dieser Stromquellen ein Magnetinduktor, welcher mit der Betriebshauptuhr verbunden ist, verwandt. Das Gewicht zum Betriebe dieses Induktors wird von der Hauptuhr minutlich freigegeben; es wirft den Anker zur Abgabe eines Stromstoßes in der einen Richtung um eine Halbdrehung herum, während die nächste Halbdrehung des Ankers die entgegengesetzte Stromrichtung ergibt. Dieser Stromstoß ist außerordentlich kurz; daher sind die Nebenuhren so konstruiert, daß sie auf diesen kurzen Stromstoß reagieren.

(2089) Sympathische Uhren. Wird bei dem System der sympathischen Nebenuhren das Netz sehr umfangreich, so verwendet die Siemens & Halske A.G. als Unterhauptuhren die elektrische Pendeluhr mit einer Korrekturvorrichtung, wie Abb. 1374 zeigt. Diese Einrichtung an der Hauptuhr funktioniert so, daß bei einer Differenz von 1 bis 2 s Vor- oder Nacheilung der Uhr die an einer auf der Sekundenzeigerachse befestigten Scheibe vorgesehenen Nocken in den Bereich des darüberliegenden Kontaktes kommen und so dem Elektromagnet den Stromimpuls zuführen, welcher die sympathischen Uhren minutlich fortbewegt. Der Elektromagnet zieht seinen Anker an und bewirkt durch den Korrekturhebel, der in eine an der gleichen Scheibe vorgesehenen Ausnehmung einschlägt, die Richtigstellung des Sekundenzeigers und damit der Uhr. Dieser Vorgang wird sich bei einer gut einregulierten Uhr am Tage höchstens ein- bis zweimal ergeben, so daß die Einstellvorrichtung keine Belastung des Uhrennetzes darstellt. An Unterhauptuhren dieser Art kann nun ebenso wie an die Zentralhauptuhr eine beliebige Anzahl Nebenuhren angeschlossen werden.

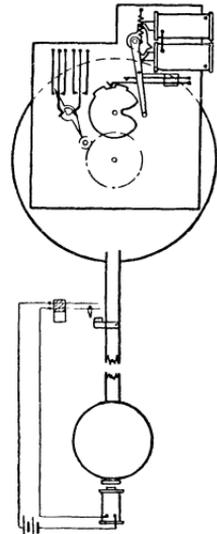


Abb. 1374. Elektrische Pendeluhr mit Zeigereinstellvorrichtung

(2090) Nebenuhren mit Einstellvorrichtung. Bei diesem System lassen sich ähnliche Uhren, mit Kontaktvorrichtung ausgerüstet, gleichfalls als Unterhauptuhren verwenden. In beiden Fällen müssen die Unterzentralen natürlich wieder durch Batterien ergänzt werden.

(2091) Anlagen ohne eigenes Leitungsnetz. Synchronmotoruhren nach Laplace, Patent Michl. Die Wechselstromerzeuger auf Starkstromzentralen werden so genau auf richtiger Tourenzahl gehalten, daß die Summe der Wechsel in der Zeiteinheit dem Sollwert entspricht. Die Geschwindigkeit, mit welcher der Wechselstromerzeuger läuft, ist maßgebend für die ihm angeschlossenen Synchronmotoren. Diese werden zur Verwendung in Nebenuhren sehr einfach und klein gehalten und mit einem Zeigerwerk so ausgerüstet, daß bei der in Betracht kommenden Tourenzahl die Zeiger mit richtiger Geschwindigkeit kontinuierlich fortbewegt werden. Dieses Uhrensystem bedingt, daß die Frequenz des Wechselstromerzeugers ständig von einer genau gehenden Uhr kontrolliert bzw. reguliert wird; es ist also nötig, daß die Umdrehungszahl des Wechselstromerzeugers dauernd auf richtiger Frequenz gehalten wird.

Der Stromverbrauch der kleinen Synchronmotoren in den Uhren ist so gering, daß er gar nicht in Betracht kommt. Es können also bei diesem System in das Starkstromnetz einer Wechsel- oder Drehstromanlage beliebig viel Uhren eingeschaltet werden, und es fällt die Verlegung besonderer Leitungen und die Beschaffung einer Stromquelle vollkommen weg. Die Uhren müssen zunächst von Hand in Gang gesetzt werden; hierfür sind sie entsprechend eingerichtet. Ist die Synchronmotoruhr nur mit dem Synchronmotor als Gangwerk ausgerüstet, so ergibt sich der Nachteil, daß bei etwaigem Ausfall des Stromes sämtliche Uhren stehen bleiben und nach Behebung der Störung jede Uhr einzeln in Betrieb gesetzt werden muß. Um dies zu vermeiden, werden wichtige Uhren noch mit einem mechanischen Uhrwerk ausgerüstet, welches den Betrieb des Zeigerwerkes übernimmt, falls der Strom ausfällt. Den Aufzug dieser mechanischen Uhrwerke bewirkt während des normalen Betriebes der Synchronmotor. Bei größerer, kräftiger Ausgestaltung der Synchron-Nebenuhr kann diese auch für Turmuhrzeiger Verwendung finden, nachdem die Kraftleistung der Motoren entsprechend vergrößert worden ist.

Wie weit dieses System Verbreitung finden wird, ist zunächst nicht abzusehen. Es wird in erster Linie darauf ankommen, ob die Uhren, besonders bei Störungen im Leitungsnetz, einen ausreichend richtigen Gang beibehalten und die Überleitung vom elektrischen zum mechanischen Betrieb zuverlässig funktioniert, weil sonst die Einregulierung der einzelnen Uhren, die sich von der Zentrale aus nicht bewirken läßt, Unzuträglichkeiten mit sich führen würde, die bei einer Zentraluhrenanlage nicht in Kauf genommen werden können.

Es sei an dieser Stelle noch erwähnt, daß in Aachen eine ziemlich umfangreiche Uhrenanlage gleichfalls ohne besonderes Leitungsnetz und ohne besondere Batterie in Kombination mit der städtischen Feuermeldeanlage seit 1912 in Betrieb ist. Hier wird das rein sympathische Uhrensystem verwendet; durch entsprechende Vorrichtungen wird erreicht, daß sich die auf der gleichen Linie verlaufenden Stromstöße der Uhrenanlage und der Feuermeldeanlage gegenseitig nicht stören. Es kann lediglich der Fall eintreten, daß bei Eingang von Feuermeldungen der Stromimpuls für den Transport der sympathischen Uhren um so viel Sekunden zurückgehalten wird, wie es der Ablauf des ausgelösten Feuermelders bedingt. Diese Verzögerung kommt aber nur für den einen in Betracht kommenden Stromimpuls in Frage und wird beim nächsten Minutenkontakt wieder vollkommen ausgeglichen. Das gesamte Leitungsnetz der Anlage steht unter dauernder Ruhestromkontrolle, so daß jeder etwa auftretende Fehler in der Anlage sofort bemerkt wird.

Eine der ältesten Synchronisierungseinrichtungen ist in einigen Uhren der Stadt Berlin noch heute vorhanden; die hier verwendete Einrichtung wird auch

benutzt, um Hauptuhren einer Zentrale in absolut gleichem Gang zu halten. Zu dem Zweck wird am unteren Ende des Pendels ein Anker angebracht. Ein am Gehäuse befestigter Elektromagnet erhält von der ersten Uhr jede zweite Sekunde einen Stromimpuls, welcher auf den am Pendel der zweiten Uhr befestigten Anker einwirkt, derart, daß die Schwingungen der so miteinander verbundenen Uhren bzw. Pendel absolut synchron bleiben (Foucault).

Zur Zeit werden Mitteilungen über ein unter dem Namen Tel-System gehendes Uhrensystem verbreitet. Hier sollen, wie neuerdings beim Telegraphen, übergelagerte Ströme Verwendung finden, jedoch in diesem Falle dem Starkstromnetz übergelagert. Der Vorteil bei diesem viel Aufsehen machenden System ist nicht größer wie beim Synchronmotorsystem, da für dieses auch das Starkstromnetz Verwendung finden kann. In jedem Falle werden bei beiden Systemen die Unterbrechungen im Starkstromnetz auf die Uhren übertragen. Die Anforderungen an eine Zentraluhrenanlage sind aber nach dieser Richtung bedeutend größer als die an das Licht- und Kraftnetz gestellten, da nach Behebung der Störung oder auch gewollten Unterbrechung (Einschaltung von Motoren usw.) von der Störung im Netz nichts zurückbleibt. Beim Uhrennetz aber bleibt die durch die Störung verursachte Differenz bestehen (hieran können auch eingefügte mechanische Uhren nichts ändern, da man ja sonst solche ausschließlich verwenden konnte). Wer aber mit Uhrenanlagen zu tun hat, wird wissen, wie empfindlich der Teilnehmer gegen Störungen in der Uhrenanlage ist. Daher ist diesen Versuchen zunächst die Zukunft abzusprechen.

(2092) Zentral- und Überwachungseinrichtungen. Die Zentraleinrichtungen der Uhrenanlagen mit sympathischen Nebenuhren sind je nach Größe der in Betracht kommenden Anlagen unterschiedlich gestaltet. In jedem Fall ist auch für die kleinste Anlage eine Hauptuhr mit gutem Gang erforderlich. In etwas größeren Anlagen wird man zur Sicherheit eine Reservehauptuhr vorsehen. Die Kontaktvorrichtungen dieser Hauptuhr werden in (2083) beschrieben und von den verschiedenen Firmen unterschiedlich ausgeführt.

Um den Ausbau ganz großer Anlagen zu ermöglichen, hat die Firma Siemens & Halske folgende Ergänzungen der Zentraleinrichtungen konstruiert. Auf einer Schalttafel werden für eine größere Anzahl Linien gemeinsam zwei Relais angeordnet (Abb. 1375) mit einer größeren Anzahl Kontakte, welche durch den

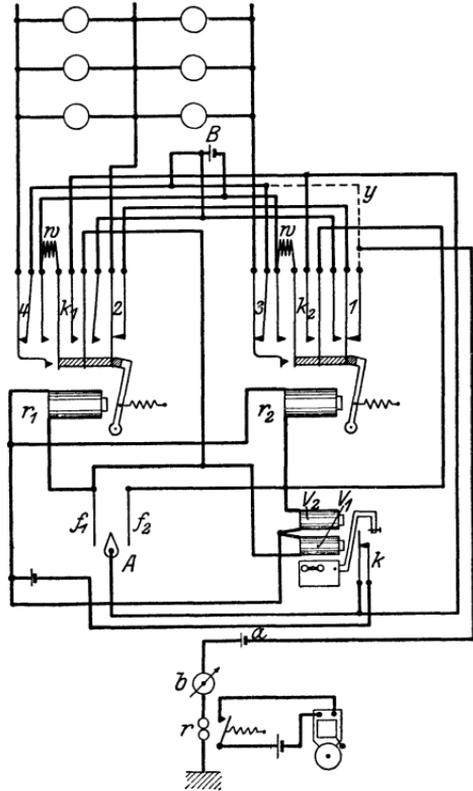


Abb. 1375. Prinzipschaltung von Stromwende- und Verzögerungsrelais (System Siemens & Halske) für 3 Leiter.

Anker dieser Relais beeinflußt werden. Das eine dieser Relais nimmt den Stromimpuls der Hauptuhr auf und verbindet den Pluspol der Batterie mit dem Netz, während der zweite Elektromagnet den darauf folgenden Kontakt aufnimmt und damit den Minuspol der Batterie an das Netz legt, so daß also die Stromrichtung in jeder Minute gewechselt wird. Die Vorrichtung hat im übrigen alle die Eigenschaften, welche die mit der Hauptuhr direkt verbundene Kontaktvorrichtung unter Abb. 1373 zeigt. Es ist möglich, einen kräftigen Stromstoß auch in eine größere Anzahl Linien zu geben. Unter dem Einfluß des Ankeranzuges werden, wie Abb. 1375 erkennen läßt, die im Relais vorhandenen Kontakte der Reihe nach so geöffnet bzw. geschlossen, daß der Strom unter Verwendung

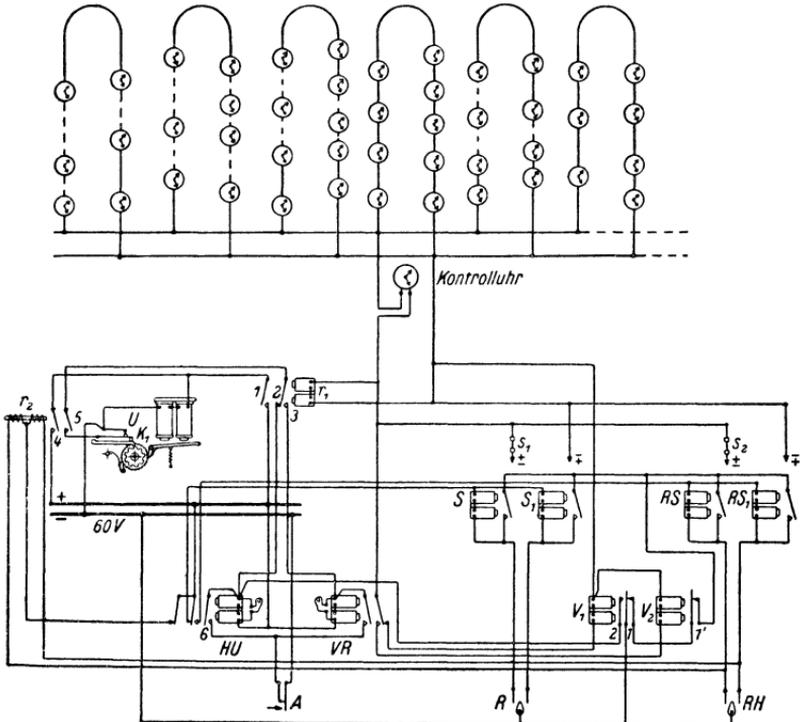


Abb. 1376/77. Zentraleinrichtung mit selbsttätiger Hauptuhrumschaltung.

von Funkenloschspulen stufenweise ein- und ausgeschaltet wird. Ein dieser Relaiseinrichtung angefügter Verzögerungsmechanismus bestimmt durch seine Einstellung die Dauer des Kontaktschlusses, die je nach dem Umfange der Anlage und der Art des Leitungsmaterials (Kabel oder Freileitung mit Rücksicht auf die Kapazität der Leitung) unterschiedlich zu bemessen ist.

Eine weitere Ergänzung erfährt diese Einrichtung durch den in Abb. 1376 skizzierten Apparat, welcher, wie das Schema erkennen läßt, bei etwaigem Versagen der Betriebshauptuhr (z. B. nach Abb. 1374; in Abb. 1376 R) automatisch die Reservehauptuhr RH so einschaltet, daß sie ohne Störung den Betrieb aufnimmt. Zur Überwachung des Leitungsnetzes ist auf der Schalttafel neben den Relais und dem Verzögerungsmechanismus S, S₁ ein Stromzeiger (in Abb. 1376 nicht gezeichnet) vorgesehen, welcher bei Kontaktschluß den in die Anlage

geführten Strom ablesen läßt. Eine Erdschlußkontrolle wird durch ein kleines Meßinstrument, welches über einen größeren Widerstand an Erde liegt, dauernd ausgeübt (wie in Abb 1375); mit Hilfe eines Relais wird dann ein Wecker eingeschaltet, wenn ein Erdschluß größeren Umfang annimmt. Schließlich kann die Zentraleinrichtung noch durch einen Registrierapparat ergänzt werden, welcher etwaige Störungen in der Fortschaltung einzelner Nebenuhren erkennen läßt; diese Einrichtung hat keine weitere Verbreitung gefunden, weil keine Notwendigkeit zu ihrer Anwendung vorliegt.

Ganz große Anlagen erfahren weiteren Ausbau durch Einfügung der zur Aufnahme des Zeitzeichens erforderlichen Relais, gegebenen Falles ergänzt durch einen Registrierapparat, welcher eine auf eine Zehntelsekunde genaue Ablesung der Gangdifferenz sämtlicher in Betracht kommenden Uhren im Vergleich mit der von der Sternwarte eingehenden astronomischen Zeit ermöglicht.

Bei dem System der elektrisch eingestellten Nebenuhren (Feineinstellsystem) besteht die Zentraleinrichtung im wesentlichen aus einer kraftigen, entsprechend ausgerüsteten Kontakt- und Kontrolluhr. Meist wird diese Uhr durch eine besondere Betriebshauptuhr synchronisiert. Die Kontaktvorrichtung der Zentraluhr bewirkt in regelmäßiger Folge von $3\frac{3}{4}$ Minuten die Herstellung des Regulierstromkreises für die einzelnen, parallel angeschlossenen Linien und durch Aufhebung der Regulierstromkreise genau zu den festgelegten Zeitpunkten die Wiederfreigabe der in jeder Nebenuhr wirksamen Sperrvorrichtung und damit deren Richtigstellung. Gleichzeitig wird eine Kontrolltrommel langsam gedreht, auf welcher durch besondere, jede einzelne Linie bezeichnende Registrierapparate Kontrollmarkierungen bewirkt werden. Aus Zeitpunkt, Dauer und Charakteristik jedes einzelnen Registrierzeichens läßt sich mittels eines besonderen Ablesemaßstabes erkennen, welche Differenzen die einzelnen Uhren zeigen. Bei dem System der Magneta ist die Zentrale insoweit einfacher, als der der Hauptuhr angebaute Induktor eine besondere Stromquelle ersetzt. Eine Überwachung der Linien fällt fort, wenn nicht für diesen Zweck eine Überwachungsbatterie aufgestellt wird. Der Anschluß eines großen Netzes an eine Betriebsuhr ist nicht gut möglich, weil der Induktor nur eine geringe Stromstärke hergibt. Dagegen kann in eine Linie mit Rücksicht auf die in Betracht kommende Spannung eine größere Zahl von Nebenuhren geschaltet werden.

Die Zeitverteilung im Reich geschieht in umfassender Weise über die Eisenbahnstationen. Vom Schlesischen Bahnhof aus werden durch einen Zentralapparat, welcher im Jahre 1896 von Siemens & Halske für diesen Zweck konstruiert wurde, Zeitzeichen (MEZ-Zeichen) morgens um 8 Uhr über die Telegraphenleitungen an sämtliche Stationen gegeben. Es werden zu diesem Zweck die Telegraphenleitungen der Eisenbahnen 2 Minuten freigegeben.

(2093) Zeitball- und Zeitsignalstationen. Die Zeitballstation gibt durch einen mittags 12 Uhr niederfallenden Ball die genaue Zeit an. Der Ball (ein Hohlkörper von 1 bis 2 m Durchmesser in dunkler Farbe) befindet sich auf einem weithin sichtbaren Gerüst und wird durch einen Elektromotor vermittels eines Schnecken-vorgeleges und eines Kettenantriebes gehoben und in der höchsten Lage durch kräftige Haltemagnete festgehalten. Das Zeitzeichen, welches die Haltevorrichtung lost, geht von der Sternwarte oder einer von dieser regulierten Uhr aus (vgl. Schellen, Der elektromagn. Telegraph, S. 1183; Beschreibung des Zeitballes in Lissabon ETZ 1886, S. 423, wo die technischen Einzelheiten genau angegeben sind, ferner 1887, S. 272). Beim Falle erhält die Zeitsendestelle ein Rücksignal. Die Halte- und Auslösevorrichtungen des Balles sind verschieden.

Neuerdings finden Zeitlichtsignalrichtungen, wie solche die Firma Siemens & Halske A.G. wiederholt ausgeführt hat, Anwendung. Diese haben gegenüber den Zeitballrichtungen den Vorteil, daß auch bei unsichtigem Wetter und auch des Nachts weithin deutlich sichtbare Zeichen gegeben werden können. Starke Glühlampen werden von einer astronomischen Uhr 5 min vor der Zeitbestimmung eingeschaltet, wodurch die Schiffe selbst in weiter Entfernung auf

das Zeitsignal aufmerksam gemacht werden. Der Moment des Verlöschens gibt die genaue Zeit an.

Literatur. Bohmeyer, C.: Anleitung zur Aufstellung und Behandlung elektrischer Uhren. — Bügler, R.: Die Turmuhren des Wernerwerkes. Siemens-Zeitschr. 2. Jahr, Heft 7. — Ders.: Elektrische Sicherheits- und Zeitdienstanlagen. Ebenda, 2. Jahr, Heft 11 u. 12. — Favarger: Etude sur l'installation de l'heure électrique dans une ville. Inventions-Revue 1911 (Chaux de fonds). — Ders.: Die Elektrizität und ihre Verwertung zur Zeitmessung. — Fiedler: Die elektrischen Uhren und Zeit-Telegraph. (Hartlebensche Bibliothek, Bd. 40), Wien 1890. — Gelcich, Eugen: Geschichte der Uhrmacherskunst. Verlag Bernhard Friedrich Voigt, Weimar 1887. — Hope-Jones: Electric times service. J. Inst. El. Eng. Bd. 29, S. 119, 286. 1900; Bd. 45, S. 49. 1910. — Königsworther: AEG-Zeitung Jahrg. 12, Heft 3. — Krumm, Gustav: Die elektrischen Uhren. — Mansel: Automatisch-telephonische Zeitübermittlung. Siemens-Zeitschr. 2. Jahr, Heft 12. — Merling: Die elektrischen Uhren. Braunschweig 1884. — Riefler, Dr. S.: Präzisions-Pendeluhr und Zeitdienstanlagen für Sternwarten. Verlag Theodor Ackermann, München 1907. — Saunier, Claudius: Praktisches Handbuch für Uhrmacher. — Ders.: Geschichte der Zeitmeßkunst. — Schneebeli, Prof. Dr.: Die elektrischen Uhren mit besonderer Rücksicht auf die von Hipp konstruierten. Verlag Orell Fußli & Co., Zürich 1878. — Testorf, Friedrich: Die Elektrizität als Antriebskraft für Zeitmeßinstrumente. — Tobler: Die elektrischen Uhren und die Feuerwehr-Telegraphie. (Hartlebensche Bibliothek, Bd. 13.) Wien 1883. — 2. Aufl. von Zacharias 1909. — Willigt, I.: Die elektrischen Zeitdienstanlagen in dem Reichsbahndirektionsbezirk Berlin. Siemens-Zeitschr. 3. Jahr, Heft 1 u. 2. — Ders.: Selbsttätige Zeiteinstellung elektrischer Bahnhofsuhranlagen unter Verwendung der Telegraphenlinien und des MEZ-Zeichens. Ebenda 3. Jahr, Heft 8 u. 9. — Ders.: Die elektrischen Zeitdienst-, Sicherheits- und Kontrollanlagen der Nord-Süd-Bahn Berlin. Ebenda 4. Jahr, Heft 1. — Zacharias, Johannes: Elektrotechnik für Uhrmacher.

Gebäude-Blitzableiter.

Leitungs-Blitzableiter s. Starkstromausgabe (976) und (993).

(2094) Arten der Blitzschläge. Die Mehrzahl der Schläge sind Flächen- oder Linienblitze. Die Richtung der Entladung ist schwer zu bestimmen, da die Endigung des Blitzes häufig büschelartig ist und aus demselben Blitzstiel Entladungen nach vielen Richtungen austreten. Das Überspringen auf benachbarte Leiter findet auf große Entfernungen statt. Die ionisierten Luftstrecken bieten geringeren Widerstand als gebogene Leiterstrecken.

Kugelblitze verlaufen gewöhnlich als Feuererscheinung längs eines Leiters oder Halbleiters und verschwinden unter explosionsartigen Erscheinungen. Zerstörungen erfolgen in der Regel hierbei nur an einzelnen oder wenigen Stellen im Gegensatz zu den normalen Blitzen, bei denen Zerstörungen auf dem ganzen Blitzweg erfolgen.

Nebenentladungen können stattfinden durch Überschlag zwischen den durch Influenz geladenen Leitern oder durch Induktionserscheinungen, letzteres besonders in den Stark- und Schwachstromleitungen.

(2095) Die Blitzgefahr für einen Ort wird bedingt durch die Umgebung und die Beschaffenheit des Ortes. Der Blitz sucht das Grundwasser und die damit zusammenhängenden feuchten Erdschichten, Wasserläufe, metallische Rohrsysteme usw. zu erreichen. Man bezeichnet deshalb als Entladungspunkte solche Stellen der Erdoberfläche oder der oberen Bodenschichten, welche dem Blitz einen gutleitenden Weg mit den oberen leitenden Schichten der Erde oder dem Grundwasser gewähren.

(2096) Entladungspunkte sind, geordnet nach Wichtigkeit: Gas- und Wasserleitungen; fließende und stehende Gewässer, Brunnen, Grundwasser, Stellen, wo sich Abfallwasser (Abfluß der Regenrinnen u. dgl.) im Erdreich sammelt, sumpfige und andere feuchte, mit Gras oder Buschwerk bestandene Stellen. Gebäude werden besonders gefährdet, wenn sie über die normale Höhe hinausragen oder wenn sie auf Höhen oder einzeln stehen. Auch die Verwendung ausgedehnter Metallkonstruktionen oder vieler Gas- und Wasserleitungen kann ein Gebäude gefährden.

Elektrische Leitungen, Starkstrom- und Fernsprechleitungen, können unter günstigen Umständen (Schutzvorrichtungen im Netz, Erdungen u. dgl.) die Blitzgefahr für Gebäude herabsetzen, bei ungünstiger Anlage erhöhen. Benach-

barte hohe Bäume haben schon häufig aufgenommene Blitzschläge auf Gebäude übergeleitet.

Enge Täler und benachbarte Waldungen können gegebenenfalls eine Verengerung der Gefahr bedeuten.

Einschlagstellen, geordnet nach der Häufigkeit, mit der sie getroffen werden, sind: Fabrikschornsteine, Kirchtürme, Turm- und Giebelspitzen von Wohnhäusern, Hausschornsteine, First. Besonders die Wetterseite der Gebäude ist den Einschlägen mehr ausgesetzt.

(2097) Zerstörungen durch Blitzschläge. Zerstörungen treten in der Regel nur dort auf, wo der Blitz sich nicht in Leitern fortpflanzen kann, sondern die Leiter verlassen muß, oder dort, wo die Leiter zu schwach sind; doch werden häufig selbst verhältnismäßig starke Schläge durch dünne Metallteile abgeleitet. Zerstörungen hängen im wesentlichen auch von der Energie und Art des Blitzschlages (zeitlicher Verlauf) ab. Im allgemeinen handelt es sich bei den Zerstörungen um Explosionserscheinungen. Die plötzlich verdampfende Feuchtigkeit oder Materialverflüchtigung führt zu Materialsprengungen und Zerreißen. Die Wirkung ist am stärksten an der Einschlagstelle; sie nimmt nach unten ab, besonders auch wegen der Verzweigung der Strombahn.

(2098) Blitzschaden. Der Schaden hängt neben der Stärke des Schlages ab von der Art der getroffenen Gebäude. Je mehr Metallteile, denen der Blitz folgen kann, ein Gebäude besitzt, um so geringer ist in der Regel der entstandene Schaden. Der größte Teil des Schadens, etwa 93 vH des Gesamtschadens, entfällt auf das Land, da sich bei ländlichen Gebäuden sowohl durch ihre Bauart, als auch durch ihren leicht brennbaren Inhalt größerer Schaden ergibt. Ein Blitzschlag in ländliche Gebäude führt meistens zu Zündungen, da im allgemeinen nur Heu und Stroh, in den seltensten Fällen Holz, beim Durchschlagen des Blitzes zum Brennen gebracht wird. Von den 15 Millionen Mark jährlicher Schäden in Deutschland entfallen ungefähr 14 Millionen aufs Land (Zündungen).

Die geringeren Beschädigungen bei nichtzündenden Blitzschlägen (etwa 5 vH des Gesamtschadens) sind ganz zu vermeiden, wenn Metallteile den Blitz aufnehmen. Hierzu genügen aber allereinfachste Anlagen, da nach den Beobachtungen bei Blitzschlägen schon wenige nicht oder schlecht verbundene Metallteile wenigstens Brände und grobe Beschädigungen verhindert haben.

(2099) Blitzschutz. Gebäudeblitzableiter müssen, um das Gebäude vor Schaden zu bewahren, einen leitenden Weg von den Einschlagstellen zur Erde bilden. Je mehr Ableitungen ein Blitzableiter besitzt, die von den voraussichtlichen Einschlagstellen (s. oben) zur Erde führen, um so besser ist das Gebäude geschützt.

Da ein Blitzableiter neben seinem ethischen Zweck (Schutz der Menschen) eine rein wirtschaftliche Anlage ist, so muß ein gewisses Verhältnis zwischen Schaden und Aufwendungen zu dessen Verhinderung bestehen.

Der Blitzableiter sollte an Hand des Bauplanes und der eingezeichneten Metallteile des Gebäudes, sowie der Entladungspunkte in der Umgebung, entworfen und seine Anlage schon beim Bau des Gebäudes berücksichtigt werden. Wenige Verbindungen und Ergänzungen ergeben dann eine billige Anlage, während nachträglich angebrachte Blitzableiter wesentlich teurer werden.

Die Teile des Blitzableiters sind: Auffangvorrichtungen, Gebäudeleitungen und Erdleitung.

(2100) Auffangvorrichtungen werden am einfachsten aus Leitungen gebildet, die an den bekannten Einschlagstellen (2096) emporgeführt werden, soweit sich dort nicht bereits Metallteile, wie Knäufe, Bekrönungen, Abdeckplatten u.dgl., befinden. Es genügt, wenn die Leitungen diese Einschlagstellen um 20 bis 30 cm überragen. Bei den besonders leicht entzündlichen Strohdächern und Gebäuden, bei denen wegen der Induktionswirkung die Einschlagstelle weit vom Dach entfernt gehalten werden soll, können Stangen verwendet werden. Es ist aber nicht damit zu rechnen, daß die Stangen wegen ihrer Höhe auf einen bestimmten be-

rechenbaren Umkreis (Schutzkreis) die Schläge aufnehmen. Bei einem Blitzbüschel können auch an anderen Stellen leicht Einschläge erfolgen; auch sonst wird die Richtung der Entladung durch Bodenverhältnisse, geerdete Metallteile, leitende Oberflächen, Windrichtung, Regen u. dgl. entscheidend beeinflußt. Die für Stangen aufgewandten Kosten stehen in der Regel in keinem Verhältnis zu der möglichen Wirkung, ganz abgesehen davon, daß Stangen auch aus Schönheitsrücksichten nicht angebracht werden sollten. Dies wird möglich, wenn nach den Leitsätzen des VDE (2107) die schon an den Gebäuden befindlichen Metallteile zur Blitzableiteranlage mitverwendet oder durch entsprechende Ergänzungen zur Blitzschutzanlage ausgebildet werden.

Wasserleitung, Blechfirste, Dachrinnen, Abfallrohre, Metalleinlagen des Eisenbetons, Träger und sonstige metallene Konstruktionsteile sind durch ihre großen Querschnitte und Oberflächen so vorzügliche Ableiter, daß sie durch einen geringen Aufwand für Verbindungsleitungen zu guten Blitzschutzanlagen ausgebildet werden können.

Die Hauptaufgabe des Blitzschutzes läßt sich nur dann erfüllen, wenn landliche Gebäude Anlagen erhalten. Deshalb muß der Blitzableiter gleich im Zusammenhang mit den metallenen Gebäudeteilen vorgesehen werden, so daß er nur geringste Kosten verursacht (Findeisen, Ruppel).

(2101) Gebäudeleitungen sind von den Einschlagstellen möglichst geradlinig, unter allen Umständen unter Vermeidung scharfer Biegungen, zur Erde zu führen. In der Regel genügt eine die Einschlagstellen verbindende Firstleitung und zwei Ableitungen, möglichst an entgegengesetzten Seiten des Gebäudes. Bei größeren Gebäuden (mehr als 20 m Länge) ist die Zahl der Ableitungen zu vermehren; am besten unter Benutzung der metallenen Gebäudeteile (Dachrinnen, Abfallrohre).

Metallene Gebäudeteile, wie Dachrinnen, Abfallrohre, First-, Grat-, Kehlbleche, Kiesleisten, Schneefanggitter u. dgl., sind möglichst mit den Dachleitungen zu verbinden bzw. als Gebäudeleitungen zu benutzen.

Sollen die Metallteile nicht nur als Nebenleitungen an die Blitzschutzanlage mitangeschlossen werden, sondern den Blitzableiter bilden, so ist möglichst schon beim Bau auf ausreichenden Querschnitt und mechanisch guten Zusammenhang zu achten. Wasserleitungsrohre, Dachrinnen, Abfallrohre besitzen an sich, bei sachgemäßer Ausführung, genügenden Querschnitt (über 150 mm²) und Zusammenhang. Wasserleitungsrohre (s. Richtlinien für den Anschluß der Blitzableitungen an Wasser- und Gasleitungsrohre) sind unter allen Umständen unten im Keller oder im Boden mit der Erdung zu verbinden. Erstreckt sich eine Wasserleitung bis in die Nähe des Daches (Entlüftungsgefäße, Behälter u. dgl.), so soll sie auch im oberen Teil Verbindung mit der Blitzschutzlage erhalten. Der untere Anschluß wird am zweckmäßigsten im Keller ausgeführt, da dann die Verbindungsstelle der Besichtigung zugänglich bleibt. Wassermesser brauchen nicht überbrückt zu werden. Die Verbindung mit der Wasserleitung erfolgt durch eine Schelle mittels Schrauben. Löten ist nicht zu empfehlen. Gas- und Heizungsrohre sind mit der Wasserleitung zu verbinden.

Bei Eisenbetonbauten sollten die Wasserleitungs-, Heizungsrohre u. dgl. mehrfach unter sich und mit den Eiseneinlagen verbunden werden. Eine Verbindung der Metalleinlage mit der Wasserleitung im unteren Teil des Gebäudes ist unbedingt nötig. Eine Firstleitung mit Auffangvorrichtungen (wenn nicht ein eiserner Dachstuhl die Firstleitung ersetzt) ergibt, wenn die Eiseneinlagen mit der Firstleitung verbunden sind, die Blitzschutzanlage.

(2102) Baustoffe. Man verwendet in der Regel Eisen; Kupfer dort, wo Eisen schneller zerstört wird (Rauchgase u. dgl.). Die elektrische Leitfähigkeit ist nicht entscheidend für die Wahl des Materials. Auch der Querschnitt wird nicht nach der Größe des Widerstandes, sondern der Sicherheit gegen Abschmelzen bestimmt. Eisen (feuerverzinkt) wird als Bandeisen (nicht unter 2 mm Dicke) oder Seil (Einzeldrähte nicht unter 3 mm Durchmesser) verwendet, Kupfer als massiver Draht, Band (nicht unter 1 mm Dicke) oder Seil (Einzeldrähte nicht unter 2 mm)

Bei Eisen, das möglichst unter wetterfestem Anstrich zu halten ist, verwendet man weiche Sorten.

Das an Kupferleitungen herabfließende Wasser zerfrißt Zinkdächer und Zinkrinnen.

Der geringste Querschnitt ist für Eisen 50 mm² bei verzweigten, 100 mm² bei unverzweigten Leitungen; für Kupfer die Hälfte, Zink 1,5 mal, Blei 3 mal soviel.

(2103) Die Verlegung kann auf möglichst kurzen Haltern aus verzinktem Vierkant- oder Bandeseisen den Linien des Gebäudes angeschmiegt werden, doch ist bei Steinwänden auf Zerstörung durch Mauersalze zu achten. Bandeseisen kann auf Holz, nachdem es gelocht ist, auch aufgenagelt werden. In Haltern sollen Seile und Drähte nicht zu stark gespannt (platzen im Winter) und gequetscht werden.

Auf Holzzementdächern werden die Leitungen ohne Halter in die Kies-schicht gelegt.

(2104) Verbindungen sollten möglichst nicht gelotet, sondern aus Festigkeitsrücksichten genietet oder geschraubt werden. Auch bei den Verbindungen ist zu berücksichtigen, daß nicht etwa der Ohmsche Widerstand das Entscheidende ist. Die Berührungsfläche soll wenigstens 10 cm² betragen. Für Seile und Drahte empfehlen sich Nietverbinder, für Bänder Nietungen unter Zwischenlage von Weichblei. Die Leitungen sollen mit Dachrinnen und Konstruktionsteilen durch Nietung oder Schraubung unter Einlage von Weichblei verbunden werden. Bei Berührung verschiedener Metalle ist der Zutritt von Luft und Feuchtigkeit zu verhüten; das kann geschehen durch Umgeben mit Weichlot, wettertestem Anstrich u. dgl.

(2105) Erdleitung. Die Erdleitungen sind nach den Entladungspunkten (2096) zu führen. Ist Wasserleitung im Gebäude, so muß diese unbedingt angeschlossen werden. Ist Wasser- oder Gasleitung nicht vorhanden, dann wird die Erdleitung durch Oberflächenleitung oder Metallkörper im Grundwasser hergestellt. Liegt das Grundwasser hoch (so daß keine zu hohen Kosten für Erdarbeiten entstehen), so können Platten von etwa 1 m² Fläche in das Grundwasser gelegt werden. Steht das Grundwasser tief, so wird man wegen der Kosten von Platten absehen und entweder Rohre in den Boden treiben, die bis zum Grundwasser gehen oder, was besonders zu empfehlen ist, Oberflächenleitung verwenden. Die Oberflächenleitungen sollen sich in den oberen gut leitenden Erdschichten, etwa 20 bis 40 cm tief, verbreiten. Ihre Länge wird je nach dem Widerstand des Bodens verschieden groß zu wählen sein. Bei einem normalen Gebäude kann man bei guten Bodenverhältnissen mit etwa 15 m ausreichen. Je nach der Bodenbeschaffenheit müssen die Leitungen mehr oder weniger verlängert werden. Günstig ist die Verlegung als Ringleitung um freistehende Gebäude (Abstand vom Haus etwa 1,5 bis 2 m), da dann die verschiedenen Ableitungen leicht angeschlossen werden können. Verlängerung der Erdleitung gegebenenfalls durch Ausläufer ins Gelände, besonders nach feuchten Stellen.

Röhrenbrunnen können direkt angeschlossen werden. In sonstigen Brunnen oder in stehendes oder fließendes Wasser kann man Bänder und Platten (Kupferplatten bei Brunnen Vorsicht!) verwenden. Die Erdungen sollen nicht ins Wasser selbst, sondern in die vom Wasser durchtränkte Erdschicht gelegt werden.

Das für die Erdleitung verwendete Material sollte bei Eisen nicht unter 3 mm Dicke und bei Kupfer nicht unter 2 mm Dicke verwendet werden. Eisen sollte feuerverzinkt sein. Verbindungsstellen im Boden sind nach Möglichkeit zu vermeiden, bei Anbringung aber gut zu schützen (Umwickeln, Teer, Anstrich u. dgl.).

Die Größe des Erdwiderstandes kann nicht zahlenmäßig festgelegt werden; entscheidend für sie sind die Bodenverhältnisse. In der Regel dürfte bei günstigen Bodenverhältnissen ein Widerstand von 2 bis 5 Ω erreicht werden können. Bei schlechten Bodenverhältnissen kann aber auch noch 20 Ω gut sein. Unbedingt muß die Blitzableitererde die beste aller erreichbaren Erden sein.

(2106) Prüfung der Anlagen. Gleich nach Fertigstellung ist die Anlage zu prüfen; sonst sind nur Überprüfungen in größeren Abständen, 3 bis 5 Jahre, erforderlich. Wichtig ist, festzustellen, ob die Metallteile des Gebäudes verbunden

sind und der Zusammenhang der Anlage erhalten ist. Dies geschieht durch Besichtigung, gegebenenfalls bei hohen Gebäuden mittels Fernrohr. Widerstandsmessungen der Dachleitungen sind überflüssig. Die Prüfung der Erdleitung kann bei Anschluß im Keller an die Wasserleitung durch Besichtigung, sonst durch Meßbrücken erfolgen (1022). Als Hilfsleiter verwendet man am einfachsten blanken Draht, den man in einen etwa 5 cm tiefen aufgerissenen Erdstreifen verlegt; die Erde wird wieder aufgedrückt und mit Salzwasser begossen. 20 m solchen Drahtes geben schon brauchbare Hilfsleiter.

Die Meßresultate und das Wetter (Zustand des Bodens) sind aufzuzeichnen.

Literatur: Die Blitzgefahr. Herausgegeben vom Elektrotechnischen Verein. Nr. 1: Weber, Leonhard: Mitteilungen und Ratschläge betr. die Anlage von Blitzableitern für Gebäude. — Nr. 2: Neesen, F.: Einfluß der Gas- und Wasserleitungen. — Denkschrift des Verbandes deutscher Architekten und Ingenieurvereine. Berlin: W. Ernst & Sohn, 1892. — Findeisen: Ratschläge über den Blitzschutz der Gebäude. 3. Aufl. Berlin: Julius Springer, 1905. — Ders.: Praktische Anleitung zur Herstellung einfacher Gebäudeblitzableiter. 2. Aufl. Berlin: Julius Springer, 1907. — Ruppel, S.: Vereinfachte Blitzableiter. 4. Aufl. Berlin: Julius Springer, 1918. — Der Blitzschutz, Ausschuß für Blitzableiterbau, 1927. Zu beziehen vom Ausschuß für Blitzableiterbau, Berlin-Schöneberg, Hauptstr. 161.

(2107) Leitsätze über den Schutz der Gebäude gegen den Blitz.

(Aufgestellt vom Elektrotechnischen Verein und angenommen auf der Jahresversammlung des Verbandes Deutscher Elektrotechniker 1901.)

1. Der Blitzableiter gewährt den Gebäuden und ihrem Inhalte Schutz gegen Schädigung oder Entzündung durch den Blitz. Seine Anwendung in immer weiterem Umfange ist durch Vereinfachung seiner Einrichtung und Verringerung seiner Kosten zu fordern.
2. Der Blitzableiter besteht aus:
 - a) den Auffangvorrichtungen,
 - b) den Gebäudeleitungen,
 - c) den Erdleitungen.
- a) Die Auffangvorrichtungen sind emporragende Metallkörper, -flächen oder -leitungen. Die erfahrungsgemäßen Einschlagstellen (Turm- oder Giebelspitzen, Firstkanten des Daches, hochgelegene Schornsteinköpfe und andere besonders emporragende Gebäudeteile) werden am besten selbst als Auffangvorrichtungen ausgebildet, oder mit solchen versehen.
- b) Die Gebäudeleitungen bilden eine zusammenhängende metallische Verbindung der Auffangvorrichtungen mit den Erdleitungen; sie sollen das Gebäude, namentlich das Dach, möglichst allseitig umspannen und von den Auffangvorrichtungen auf den zulässig kürzesten Wegen und unter tunlichster Vermeidung scharfer Krümmungen zur Erde führen.
- c) Die Erdleitungen bestehen aus metallenen Leitungen, welche sich an die unteren Enden der Gebäudeleitungen anschließen und in den Erdboden eindringen; sie sollen sich hier unter Bevorzugung feuchter Stellen möglichst weit ausbreiten.
3. Metallene Gebäudeteile und größere Metallmassen im und am Gebäude, insbesondere solche, welche mit der Erde in großflächiger Berührung stehen, wie Rohrleitungen, sind tunlichst unter sich und mit dem Blitzableiter leitend zu verbinden. Insoweit sie den in den Leitsätzen 2, 5 und 6 gestellten Forderungen entsprechen, sind besondere Auffangvorrichtungen, Gebäude- und Erdleitungen entbehrlich. Sowohl zur Vervollkommnung des Blitzableiters als auch zur Verminderung seiner Kosten ist es von größtem Wert, daß schon beim Entwurf und bei der Ausführung neuer Gebäude auf möglichste Ausnutzung der metallenen Bauteile, Rohrleitungen u. dgl. für die Zwecke des Blitzschutzes Rücksicht genommen wird.
4. Der Schutz, den ein Blitzableiter gewährt, ist um so sicherer, je vollkommener alle dem Einschlag ausgesetzten Stellen des Gebäudes durch Auffangvorrichtungen geschützt, je größer die Zahl der Gebäudeleitungen ist und je reichlicher bemessen und besser ausbreitet die Erdleitungen sind. Es tragen aber auch schon metallene Gebäudeteile von größerer Ausdehnung, insbesondere solche, welche von den höchsten Stellen der Gebäude zur Erde führen, selbst wenn sie ohne Rücksicht auf den Blitzschutz ausgeführt sind, in der Regel zur Verminderung des Blitzschadens bei. Eine Vergrößerung der Blitzgefahr durch Unvollkommenheiten des Blitzableiters ist im allgemeinen nicht zu befürchten.
5. Verzweigte Leitungen aus Eisen sollen nicht unter 50 mm², unverzweigte nicht unter 100 mm² stark sein. Für Kupfer ist die Hälfte dieser Querschnitte ausreichend; Zink ist mindestens vom eininhalbfachen, Blei vom dreifachen Querschnitt des Eisens zu wählen. Der Leiter soll nach Form und Befestigung sturmsicher sein.
6. Leitungsverbindungen und Anschlüsse sind dauerhaft, fest, dicht und möglichst großflächig herzustellen. Nicht geschweißte oder gelotete Verbindungsstellen sollen metallische Berührungsf lächen von nicht unter 10 cm² erhalten.
7. Um den Blitzableiter in dauernd gutem Zustand zu erhalten, sind wiederholte sachverständige Untersuchungen erforderlich, wobei auch zu beachten ist, ob inzwischen Änderungen an dem Gebäude vorgekommen sind, welche entsprechende Änderungen oder Ergänzungen des Blitzableiters bedingen.

Siebenter Abschnitt.

Funkwesen.

Die physikalischen Grundlagen.

(2108) Schwingungsfähige Kreise. Jeder elektrische Kreis enthält außer einem wirksamen Widerstand noch Selbstinduktion und Kapazität. Er kann zu elektromagnetischen Schwingungen (140) angeregt werden, wenn in ihm elektrische oder magnetische Energie aufgespeichert wird, und der elektrische Zwangszustand aufhört, der diese Aufspeicherung bedingt. Wird z. B. in einem

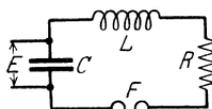


Abb. 1378. Kondensatorentladung

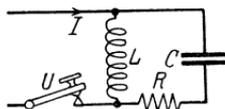


Abb 1379 Stromunterbrechung.

solchen elektrischen Kreise (Abb. 1378), der aber durch eine Funkenstrecke F unterbrochen ist, der Kondensator C durch eine ansteigende EMK, z. B. eine sinusförmige EMK geladen, so steigt die Ladung des Kondensators solange an, bis die Funkenstrecke F durchschlägt und sonach dem Kondensator den Ausgleich der in ihm aufgespeicherten elektrischen Energie über L , R , F ermöglicht. Es entsteht eine gedämpfte Schwin-

gung $i = I e^{-\frac{R}{2L} t} \sin \omega t$, worin I die Amplitude und ω die Kreisfrequenz der Schwingung ist. Es ist $\omega = 2\pi f$, $f =$ Frequenz. Man erhält in einem elektrischen Kreise ebenfalls Schwingungen, wenn man in ihm magnetische Energie aufspeichert und den Strom unterbricht, der diese aufrecht erhält (Abb. 1379). Wird U unterbrochen, so ruft die in L aufgespeicherte magnetische Energie Schwingungen im Kreise L , R , C hervor, die ebenfalls durch die obige Gleichung dargestellt werden können. Abb. 1380 zeigt die graphische Darstellung einer solchen Schwingung. Die Amplituden I nehmen nach der

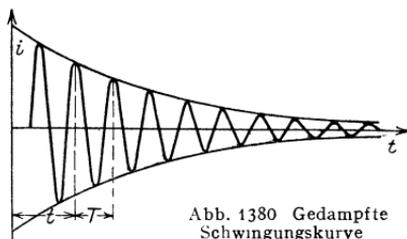


Abb. 1380 Gedämpfte Schwingungskurve

Exponentialkurve $e^{-\frac{R}{2L} t}$ ab. Man nennt das Verhältnis zweier aufeinanderfolgender Amplituden das Dämpfungsverhältnis der Schwingung. Es ist

$$\frac{I_t}{I_{t+T}} = \frac{I e^{-\frac{R}{2L} t}}{I e^{-\frac{R}{2L} (t+T)}} = e^{\frac{R}{2L} T} = e^{\alpha T} = e^{\delta}$$

$\alpha =$ „Dämpfungsexponent“ (140),

$\delta =$ „logarithmisches Dekrement der Dämpfung“, kurz „Dämpfungsdekrement“.

Derartige gedämpfte Schwingungen, wie sie z. B. mit dem Löschfunkensender von Telefunken (1159) und dem Marconisender mit rotierender Funkenstrecke (1162) heute noch erzeugt werden, sind aber im Großfunkverkehr zwischen festen Stationen vollständig durch ungedämpfte Schwingungen — oder besser gesagt durch Schwingungen gleichbleibender oder nahezu gleichbleibender Amplitude — verdrängt worden. Sie werden heute nur mehr im Schiffsverkehr verwendet. Wir werden später sehen, daß aber auch die sogenannten „ungedämpften“ Schwingungen eine größere oder kleinere Dämpfung, je nach der Betriebsart besitzen.

(2109) Schwingungen gleichbleibender Amplitude kann man z. B. durch Maschinen erzeugen. Wirkt, wie in Abb. 1381 dargestellt, z. B. eine EMK von der Größe $e = E \sin \omega t$ auf einen Schwingungskreis, so errechnet sich der Strom aus der Gleichung

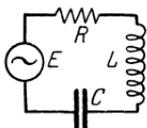


Abb. 1381.
Schwingungskreis
und ungedämpfte
EMK.

oder

$$e = Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt$$

$$\frac{de}{dt} = R \frac{di}{dt} + L \frac{d^2i}{dt^2} + \frac{1}{C} i.$$

Das besondere Integral dieser Differentialgleichung ist

$$i = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \sin(\omega t - \varphi)$$

und sonach

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

und die Phasenverschiebung zwischen E und I ist (136, 3)

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}.$$

Es sind dies die auch in der Starkstromtechnik bekannten Wechselstromgleichungen. Darn sind I und E die Amplituden oder die Effektivwerte von Strom und Spannung. Es ist zu beachten, daß $E_{eff} = \frac{E}{\sqrt{2}}$ und ebenso $I_{eff} = \frac{I}{\sqrt{2}}$ ist (130).

Aus der allgemeinen Lösung für $e = 0$ ergibt sich die Eigenfrequenz des Kreises (140) zu

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}.$$

Meistens ist

$$\frac{R^2}{4L^2} \ll \frac{1}{LC},$$

so daß man für die Eigenfrequenz schreiben kann

$$\omega_0 \approx \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Stimmt man den Kreis in Abb. 1381 so ab, daß $\omega = \omega_0 \approx \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ist, d. h.

$\omega L = \frac{1}{\omega C}$, so wird $I = \frac{E}{R}$, $\operatorname{tg} \varphi = 0$, E und I sind in Phase.

(2110) Abstimmung. Man sagt: Der Kreis ist auf die erregende EMK abgestimmt. Wie sich der Strom I in dem Kreise mit Änderung von ω ändert, zeigt Abb. 1382. Man nennt die I - (oder auch die I^2 -) Kurve die Resonanzkurve des Kreises. Mit Änderung von ω ändert sich aber auch $\text{tg } \varphi$. Aus Abb. 1382 sieht man, daß in der Nähe des Resonanzpunktes sich die Phase außerordentlich stark ändert.

Je spitzer die Resonanzkurve ist, desto schärfer ist die Abstimmfähigkeit des Kreises. In Abb. 1383 sind zwei Resonanzkurven konstruiert. I für einen Kreis, der die Größen $C = 100 \text{ cm}$ und $L = 635000 \text{ cm}$ enthält, und II für einen Kreis mit den Größen $C = 500 \text{ cm}$, $L = 127000 \text{ cm}$.

In beiden Fällen ist $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 3770000$ Hertz.

Es zeigt sich, daß für die kleinere Kapazität (also größerer Selbstinduktion) die Resonanzkurve schärfer ist, daß also die „Dämpfung“ des Kreises kleiner ist. Dies ergibt sich auch aus dem Dämpfungsdekrement $\delta = R/2L$, welches im ersten Fall kleiner ist. Hätte der Kreis keinen Widerstand R , so würde man die gestrichelte Kurve erhalten. Bei Resonanz war $I = E/R$, so daß die Höhe der Resonanzkurve nur durch den Wert R bestimmt wird.

Aus Abb. 1383 ersieht man ohne weiteres, daß z. B. ein Empfangskreis, der die Resonanzkurve II besitzt, viel scharfer abstimbar ist als ein solcher mit Kurve I . Er wird Sender, die auf anderen Frequenzen als seine Resonanzfrequenz abgestimmt sind, besser aussieben können.

(2111) Gekoppelte Kreise. Man nennt 2 Kreise gekoppelt, wenn sie derart elektrisch zueinander angeordnet sind, daß die im Kreise 1 schwingende elektromagnetische Energie

im Kreise 2 ebenfalls meßbare Schwingungen hervorruft. Man nennt die Kopplung extrem lose, wenn dabei der Kreis 2 keine nennenswerte Rückwirkung auf den Kreis 1 ausübt. Abb. 1384 bis 1387 zeigen solche Kopplungsarten. Abb. 1384 stellt die rein induktive (magnetische) Kopplung dar. Abb. 1385 ist eine gemischte Kopplung, da hier noch der wirksame Widerstand von L_k zur Kopplung mit herangezogen wird. Diese Kopplung wird fälschlicherweise auch galvanische Kopplung genannt. Abb. 1386 zeigt die kapazitive (elektrische) Kopplung. Je nachdem die Kopplung fester oder loser ist, wird unter sonst gleichen Verhältnissen mehr oder weniger Energie auf Kreis 2 übertragen.

Ein Maß für die Festigkeit der Kopplung gibt der Kopplungsfaktor $k = \frac{z_k}{\sqrt{z_1 z_2}}$,

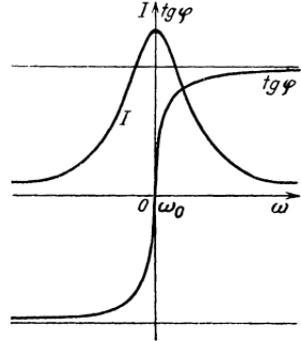


Abb. 1382. Resonanzkurve und Phasenbeziehung.

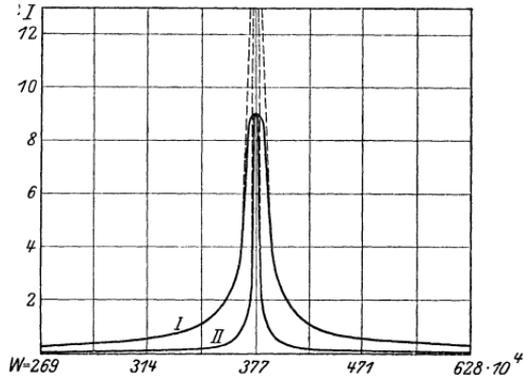


Abb. 1383. Zwei Resonanzkurven bei gleicher Frequenz.

worin z_k = scheinbarer Wechselstromwiderstand, der die Kopplung vermittelt, z_1 und z_2 sind die dem z_k gleichartigen Widerstände in den Kreisen 1 und 2.

Für die rein induktive Kopplung (Abb. 1384) ist demnach $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$.

Für die gemischte Kopplung (Abb. 1385) ist

$$k = \frac{\omega L_k}{\sqrt{\omega(L_1 + L_k)\omega(L_2 + L_k)}} = \frac{L_k}{\sqrt{(L_1 + L_k)(L_2 + L_k)}}.$$

Darin ist der Kopplungsanteil des wirksamen Widerstandes von L_k vernachlässigt, da dieser meistens sehr klein ist.

Für die kapazitive Kopplung (Abb. 1386) ist

$$k = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\omega^2} \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_k} \right) \left(\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_k} \right)}} = \sqrt{\frac{C_1 C_2}{(C_1 + C_k)(C_2 + C_k)}}.$$

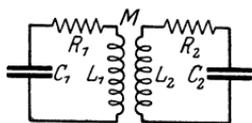


Abb. 1384. Induktive Kopplung.

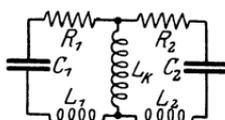


Abb. 1385. Galvanische Kopplung.

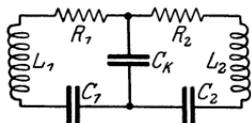


Abb 1386. Kapazitive Kopplung.

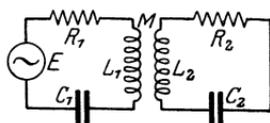


Abb. 1387. Gekoppelte Kreise.

Um die Ströme in 2 gekoppelten Kreisen (Abb. 1387) zu berechnen, stellt man wieder die Differentialgleichungen auf.

$$\text{Kreis 1} \quad E = R_1 i_1 + L_1 \frac{d i_1}{d t} + \frac{1}{C_1} \int i_1 d t + M \frac{d i_2}{d t}$$

$$\text{Kreis 2} \quad M \frac{d i_1}{d t} = R_2 i_2 + L_2 \frac{d i_2}{d t} + \frac{1}{C_2} \int i_2 d t.$$

Woraus man findet

$$I_1 = \frac{E}{\sqrt{\left[R_1^2 + \left(\frac{\omega M}{Z_2} \right)^2 \right] + \omega^2 \left[\left(L_1 - \frac{1}{\omega^2 C_1} \right) - \left(\frac{\omega M}{Z_2} \right)^2 \left(L_2 - \frac{1}{\omega^2 C_2} \right) \right]^2}}$$

worin

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + \left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2} \right)^2}$$

und der ganze Wurzelausdruck = A sei. Ferner ist

$$I_2 = \frac{I_1 \omega M}{Z_2} = \frac{\omega E M}{Z_2 \cdot A}.$$

Das Maximum von I_1 und I_2 erhält man, wenn

$$\left(L_1 - \frac{1}{\omega^2 C_1} \right) - \left(\frac{\omega M}{Z_2} \right)^2 \left(L_2 - \frac{1}{\omega^2 C_2} \right) = 0$$

wird. Setzt man in diese Gleichung

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}, \quad \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}, \quad k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}},$$

und vernachlässigt man R_2 , so daß $Z_2 = \omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2}$ wird, so erhält man

$$\omega^4 (1 - k^2) - \omega^2 (\omega_1^2 + \omega_2^2) + \omega_1^2 \omega_2^2 = 0,$$

sonach

$$\omega^2 = \frac{(\omega_1^2 + \omega_2^2) \pm \sqrt{(\omega_1^2 - \omega_2^2)^2 + 4k^2 \omega_1^2 \omega_2^2}}{2(1 - k^2)}.$$

Man bekommt also 2 Schwingungen. Bei Resonanz in beiden Kreisen, d. h. wenn $\omega_2 = \omega_1$, errechnet man diese beiden „Kopplungsschwingungen“ zu

$$\omega' = \frac{\omega_1}{\sqrt{1+k}}, \quad \omega'' = \frac{\omega_1}{\sqrt{1-k}}.$$

Es ist ohne weiteres ersichtlich, daß beide Schwingungen zusammenfallen, wenn k sehr klein, also die Kopplung sehr lose ist.

Die günstigste Kopplung, bei der der Maximalwert von I_2 erreicht wird, berechnet man aus

$$\frac{dI_2}{dM} = 0 \quad \text{zu} \quad M = \frac{\sqrt{R_1 R_2}}{\omega}.$$

(2112) Ausstrahlung der Wellen. In einem geschlossenen elektrischen Schwingungskreis ist sowohl die Selbstinduktion als auch die Kapazität fast punktförmig vereinigt. Es kann sich daher während des Schwingungsvorganges die elektrische Energie fast vollständig in magnetische Energie umsetzen, wenn man von den Verlusten absieht, die durch die Joulesche Wärme entstehen. Sind Selbstinduktion und Kapazität aber im Schwingungskreis räumlich verteilt, wobei die räumliche Ausdehnung nicht zu klein gegen die Wellenlänge ist, wie dies im sogenannten „offenen“ Schwingungskreis der Fall ist, dann kommt beim Umsatz der beiden Energien die endliche elektromagnetische Fortpflanzungsgeschwindigkeit zur Geltung. Der Umsatz beider Energien kann nicht mehr vollständig erfolgen, es muß ein Teil davon in die Umgebung des Schwingungskreises wandern. Man nennt dieses Auswandern der elektromagnetischen Energie die Strahlung des Kreises. Es ist ohne weiteres einzusehen, daß die Wirkung der endlichen Fortpflanzungsgeschwindigkeit um so größer ist, je rascher die Schwingungen sind, also je höher ihre Frequenz ist. Andererseits ergibt sich hieraus, daß die räumliche Ausdehnung des offenen Schwingungskreises einen wesentlichen Einfluß auf die Größe der Strahlung hat, und zwar muß sie im allgemeinen für einen bestimmten Strahler (Antenne) um so größer sein, je kleiner die Fortpflanzungsgeschwindigkeit und je größer die Frequenz der Schwingung ist. Das Licht benötigt deshalb, trotz der großen Fortpflanzungsgeschwindigkeit, räumlich so kleine Strahler, weil seine Schwingungen so außerordentlich rasch sind. Der Schall benötigt wesentlich kleinere Strahler als die Funktechnik, trotzdem seine Schwingungen viel langsamer sind (im Mittel 1000 mal langsamer) als die elektrischen Schwingungen, weil seine Fortpflanzungsgeschwindigkeit viel (etwa 1 Million mal) langsamer ist.

(2113) Antenne. Als offene elektrische Schwingungskreise werden solche, die eine Antenne (2128 u. f.) enthalten, verwendet. Diese besitzt verteilte Kapazität und Selbstinduktion und strahlt um so mehr, je größer ihre räumliche Ausdehnung ist, sofern diese nur unter $\frac{1}{4}$ der Wellenlänge der Schwingung bleibt. Nach H. Hertz ist die von der Antenne ausgestrahlte Leistung

$$N_s = \left(160 \cdot \pi^2 \frac{(\alpha h)^2}{\lambda^2} \right) I^2 \text{ Watt,}$$

worin (αh) die „wirksame“ Antennenhöhe im selben Maßstabe wie die Wellenlänge λ einzusetzen ist. I ist der Effektivwert des Antennenstromes. Man nennt den Klammerausdruck auch „Strahlungswiderstand“, da er eine Widerstandsgröße darstellt. Man schreibt meistens (2129)

$$R_s = 160 \cdot \pi^2 \left(\frac{\alpha h}{\lambda} \right)^2 \text{ Ohm.}$$

Wir sehen darin den vorher ausgeführten Einfluß von Antennenausdehnung und Frequenz der Schwingungen (diese ist proportional $\frac{1}{\lambda}$) rechnerisch ausgedrückt.

Nach H. Hertz ist ferner das von der Antenne ausgestrahlte elektrische und magnetische Feld in großer Entfernung r proportional $\frac{1}{r}$.

Es ist

$$E = \frac{4\pi c}{\lambda} \frac{h}{r} (h_1 i_1 + h_2 i_2 + \dots) \text{ CGS} = 120 \pi \frac{(\alpha h)}{\lambda} \cdot \frac{I}{r} \text{ Volt/cm.}$$

$$M = \frac{4\pi}{\lambda} \frac{h}{r} (h_1 i_1 + h_2 i_2 + \dots) \text{ CGS.}$$

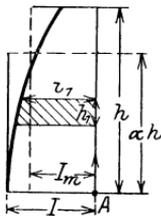


Abb. 1388a. Wirksame Antennenhöhe.

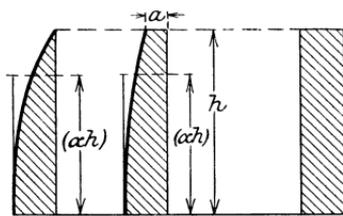


Abb. 1388b. Berechnung wirksamer Antennenhöhen.

In der Gleichung für E sind h und λ im gleichen Maßstab einzusetzen. I ist die Amplitude des Sendestromes im Strombauch in Amp., r ist in cm einzusetzen. Man erhält dann E in Volt je cm Antennenhöhe. Die Elemente $i_1 h_1$ sind die einzelnen Stromelemente längs der Antenne. Ihre Addition gibt $I_m \cdot h$ (Abb. 1388 a). Da man aber meistens den Strom im Fußpunkte A der Antenne mißt, rechnet man mit $I \cdot \alpha h = I_m \cdot h$. Man nennt (αh) „wirksame“ Antennenhöhe. Um (αh) graphisch ermitteln zu können, muß man wenigstens annähernd die Stromverteilung längs der Antenne wissen. In Abb. 1388 b ist die Stromverteilung für 3 Antennen gezeichnet. Die erste ist ein ausgestreckter Draht. Wenn dieser in seiner Eigenschwingung erregt wird, also $h = \lambda/4$ ist, dann erhält man für die Stromverteilung eine Sinuskurve. In diesem Falle ist $\alpha = 2/\pi$. Die zweite ist eine „T“-Antenne. Das α hängt hier von der Stromgröße a im obersten Teil des vertikalen Antennenstückes ab. Ist der horizontale Teil genügend groß gegenüber dem vertikalen, so wird α nahezu 1, sonst entsprechend kleiner. $\alpha \approx 1$ zeigt das 3. Bild.

(2114) Ausbreitung der Wellen. Nach Sommerfeld hat man bei der Ausbreitung zu unterscheiden zwischen Raumwellen und Oberflächenwellen. Die Raumwellen werden von der Antenne in das isolierende Medium ausgesandt. Die Energieströmung geht hier durch angenäherte Halbkugeln hindurch und muß, da die Kugelflächen mit der Entfernung r quadratisch zunehmen, mit dem Quadrate der Entfernung abnehmen. Die Energie der Raumwellen ist demnach proportional $\frac{1}{r^2}$. Die Feldstärke ist dementsprechend proportional $\frac{1}{r}$, wie auch schon die Gleichungen für E und M zeigen.

Die Oberflächenwellen gehen der Erdoberfläche entlang und zwar angenähert in einer gleichbleibenden Bodendicke. Hier tritt also die Energie durch Zylinderflächen gleicher Höhe hindurch, die mit der Entfernung r wachsen. Die Oberflächenwellenenergie ist demnach proportional $\frac{1}{r}$ die Feldstärke $\frac{1}{\sqrt{r}}$. Außerdem wird diese Energie aber noch geschwächt durch Absorption in der Erdoberfläche. Ist die Absorption klein, so muß in größerer Entfernung die fortschreitende Welle immer mehr eine reine Oberflächenwelle werden.

Hierbei stehen aber die Raum- und Oberflächenwellen in einem innigen Zusammenhang, da die Raumwellen sich nicht von der Erde loslösen. Bei stärkerer Energieabnahme in einer der beiden Wellenarten erfolgt Energiezufuhr von der anderen. Anders ist dies bei den ganz kurzen Wellen unter 100 m. Hier baut man Antennen, die unter einem Winkel nach oben strahlen, um die außerordentlich großen Absorptionsverluste, die längs der Erde auftreten würden, zu vermeiden. Es entstehen hierbei also keine Oberflächenwellen und die Raumwellen gehen als freie Wellen in die obere Atmosphäre. Hier spielen sich nun Vorgänge ab, die die ausgestrahlte Energie wieder zur Erde zurückbeugen. Man glaubt diese Beugung durch freie Elektronen und Ionen in den oberen Schichten der Atmosphäre erklären zu können. Die Elektronen beschleunigen einerseits die Fortpflanzung, andererseits wird diese verzögert, wenn die durch die elektrischen Wellen bewegten Elektronen auf Ionen stoßen, so ihre Energie abgeben, und sonach dämpfend wirken. In der obersten Schicht sind fast nur freie Elektronen. In den darunterliegenden Schichten befinden sich aber auch noch viele freie Ionen, die also dämpfen. Durch diese Beschleunigung in der obersten Wellenfront und diese Verzögerungen in der unteren Wellenfront läßt sich die Beugung der von der Antenne schräg nach oben erfolgten Strahlung zur Erde zurück erklären. Nun ist ferner die Bewegung der Elektronen bei langen Wellen entsprechend länger als bei kurzen. Demnach treffen bei längeren Wellen in der unteren Wellenfront mehr Elektronen auf Ionen, die Dämpfung und Fortpflanzungsverzögerung wird größer, die Beugung dieser Wellen viel stärker, so daß lange Wellen auf diese Weise nicht auf größere Entfernungen wirken können.

(2115) Empfangsstrom. Reichweite. Die Größe des Empfangsstromes, also die Reichweite einer Sendestation, errechnet man unter der Annahme, daß die Raumwelle vorherrscht, aus der Formel für die in der Empfangsantenne erregte EMK.

$$E \text{ Volt/cm} = 120\pi \frac{(\alpha h)}{\lambda} \cdot \frac{I}{r} \text{ worin } h, \lambda, r \text{ in cm, } I \text{ in A}$$

Es ist ferner der Strom in der Empfangsantenne

$$I_e = \frac{E(\alpha h)_e}{R_e}$$

also

$$I_e = 377 \frac{I_s(\alpha h)_s(\alpha h)_e}{R_e \lambda r}$$

Hierin ist aber die Absorption nicht berücksichtigt. Diese wird nach Austin

durch ein logarithmisches Glied $e^{-\beta \frac{r}{\sqrt{\lambda}}}$ berücksichtigt. Setzt man hierin r und λ in km ein, so ist $\beta \approx 0,0015$ zu nehmen. Wir erhalten sonach die vollständige Formel für den Empfangsstrom

$$I_e = 377 \left(\frac{I_s(\alpha h)_s(\alpha h)_e}{R_e \lambda r} \right) \cdot e^{-0,0015 \frac{r}{\sqrt{\lambda}}},$$

worin im Klammerausdruck

I_e	= Strom in Empfangsantenne in A	} im gleichen Maßstab
I_s	= Strom in Sendeantenne in A	
$(\alpha h)_e$	= wirksame Höhe der Empfangsantenne	
$(\alpha h)_s$	= wirksame Höhe der Sendeantenne	
λ	= Wellenlänge	
r	= Entfernung zwischen Empfangs- und Sendeantenne	
R_e	= Widerstand der Empfangsantenne in Ohm	

zu setzen ist.

Der Faktor β ist natürlich sehr stark von der Absorption in der Erdoberfläche abhängig. Austin hat diesen Wert über See bestimmt, doch scheint er hierfür zu groß zu sein. Über Land, besonders aber über große Städte und bei kleinen Wellen (Rundfunk) ist er bedeutend größer.

(2116) Störströme. Bei dem heutigen Stand der Technik kommt noch ein weiterer Punkt hinzu, der bei der Berechnung der Reichweite einer Sendestation zu berücksichtigen ist. Mit den bekannten Verstärkungsmitteln kann theoretisch ein noch so kleiner Empfangsstrom hörbar gemacht werden. Demnach schiene es so, als ob die Reichweite unbeschränkt wäre. Dies ist aber nicht der Fall. Durch die angewandte Verstärkung werden auch alle störenden elektrischen Vorgänge, besonders die atmosphärischen Erscheinungen, verstärkt und machen den Empfang unmöglich. Man kann daher die Reichweitenformel nur dann mit Erfolg anwenden, wenn man weiß, mit welcher Stromstärke diese störenden elektrischen Erscheinungen im Empfänger zu erwarten sind. Man muß also die Stärke dieser Störer am Standort des Empfängers wissen, und ferner, mit welcher Stromstärke sie im Empfänger zur Geltung kommen werden. I_e in der obigen Formel muß dann bei Hörempfang mindestens doppelt so groß sein als der mittlere Stromwert dieser Störer im Empfänger. Daraus berechnet man die erforderliche Sendestromstärke. Bei Verwendung der Schnelltelegraphie muß aber der Unterschied zwischen I_e und dem Störstrom noch wesentlich größer sein, da hier für die Ausgiebung nicht das empfindliche Ohr zur Verfügung steht. Das gewöhnliche Empfangsrelais verlangt für einen brauchbaren Empfang eine mindestens 5fach dem Störstrom überlegene Empfangsstromstärke. Die Reichweiten der Großsender sind demnach nur durch die Empfangsstörungen begrenzt. Man hilft sich bei stärkeren Störern sehr häufig durch Einschaltung des Undulators, der bis zu einem gewissen Grade gestattet, die Zeichen trotz darauf gefallener kurzer Störungen zu lesen. In noch viel stärkerem Maße wird aber der Einfluß kurzer Störgeräusche bei der Bildtelegraphie herausfallen. In der Bildtelegraphie setzt sich ja ein Schriftzeichen aus einer großen Zahl von Telegraphiezeichen zusammen, die zu verhältnismäßig weit auseinanderliegenden Zeiten gesendet werden. Kurze Störungen können daher nur einen Bruchteil eines Schriftzeichens treffen.

(2117) Funksender und Empfänger. Die Mittel, um die Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen für den Nachrichtenverkehr nutzbar zu machen, sind die Funksender und Funkempfänger. Diese haben in den letzten Jahren eine außerordentliche Entwicklung durchgemacht, die eine große Ausbreitung des Funkverkehrs ermöglichte, so daß heute die zur Verfügung stehenden Wellenbereiche kaum mehr ausreichen, um die Forderungen nach weiteren Funkverbindungen erfüllen zu können. Soll dieser Wellenmangel nicht hemmend wirken, so muß in der weiteren Entwicklung von Sender und Empfänger alles getan werden, damit man die einzelnen Verkehrswellen so nahe als möglich aneinander legen kann. Damit dies gestatten, ist erforderlich

1. daß die Sender eine möglichst große Wellenkonstanz besitzen,
2. daß sie möglichst keine Ober- und Nebenwellen besitzen, und
3. daß sie eine möglichst kleine Dämpfung haben.

(2118) Konstanz der Sendewellen. Diese ist im allgemeinen genügend groß, um die Wellen nahe genug aneinander zu bringen. Schwieriger ist es schon, eine

solche Konstanz zu erreichen, die unter allen Umständen ausreicht, um auf der Empfangsseite mit Tonabstimmitteln zu arbeiten.

Bei den modernen Maschinen wird eine Umlaufsreglung von 0,001 Genauigkeit ohne weiteres erreicht. Das gibt z. B. bei Welle 10 000 m nur Schwankungen von ± 10 m, was ausreicht, wenn die Wellen so nahe aneinander gelegt werden, als dies der Empfänger gestattet. Anders liegt die Sache, wenn man diese Schwankungen auf der Empfangsseite betrachtet. Bei der Welle 10000 m (Frequenz $f = 30\,000$ Hertz) würden einer Konstanz der Drehzahl von 0,001 schon Schwankungen der Frequenz von ± 30 Hertz entsprechen; dies reicht zur Ausnutzung auch guter Tonabstimmittel noch aus. Betrachtet man aber die Verhältnisse bei einer kleineren Welle von 3000 m (also $f = 100\,000$ Hertz), dann bekommt man schon Schwankungen der Frequenz von ± 100 Hertz, die zu groß sind. Es ist aber heute mit besonderen Mitteln wohl möglich, die Drehzahl bis auf $1/5000$ genau zu halten, so daß man dann auch bei kleineren Wellen auf genügend kleine Schwankungen kommt.

Der Poulsensender (1166 f.) arbeitet in der Weise, daß der Lichtbogen in jeder halben Periode zum Erlöschen gebracht wird. Dadurch wird auch der von der Maschine gelieferte Gleichstrom unterbrochen, die Spannung an den vorgeschalteten Drosseln steigt und der Kondensator im Abstimmkreis des Lichtbogens wird durch die frei werdende Energie in den Drosseln aufgeladen. Ist die Ladespannung bis zur Zündspannung des Lichtbogens gestiegen, so zündet dieser abermals und es entsteht wieder eine halbe Schwingung. Es ist ohne weiteres einzusehen, daß die Konstanz der Wellenlänge von der Gleichmäßigkeit dieser Vorgänge außerordentlich abhängig ist. Ist die Zündspannung des Lichtbogens nicht nach jedem Erlöschen gleich groß, so werden die Zwischenräume zwischen den einzelnen Halbperioden verschieden groß werden. Dies hat ein Schwanken in der Wellenlänge zur Folge. Bei langen Wellen (über 8000 m), bei welchen also auch die Zeiten, in denen der Lichtbogen erloschen ist, größer werden, kann man eine genügend große Konstanz der Wellen erhalten, besonders wenn man Antennen von großer Kapazität verwendet. Sehr beruhigend wirkt auch die Energieschaltung von Herzog (2160, Abb. 1416) für die Konstanz des Lichtbogens. Bei kleinen Wellen ist diese Konstanz nicht mehr genügend genau zu erhalten, man bekommt kleine Wellenschwankungen, die die scheinbare Dämpfung erhöhen, und die außerdem einen unreinen Überlagerungsempfang geben. Wir haben dadurch einmal den Fehler, daß der Lichtbogen ein breiteres Wellenband beansprucht, und ferner, daß eine Tonselktion auf der Empfangsseite nicht verwendbar ist. Man sollte daher Lichtbogensender im allgemeinen unter Wellen von 5000 m nicht mehr verwenden.

Der Rohrensender (1187, 2167) besitzt eine vorzügliche Wellenkonstanz, wenn man ihn als fremd erregten Sender betreibt und die Erzeugung der Wellen in dem sogenannten Steuersender vornimmt, wobei ganz besonders darauf geachtet werden muß, daß Rückwirkungen vom Hauptsender auf den Steuersender nicht eintreten können. Der Steuersender soll nur als Wellenerzeuger benutzt werden und soll in seiner Konstanz weder durch Modulierung noch durch Tastung beeinträchtigt werden. Tasten und Modulieren soll man den Hauptsender oder einen Zwischensender, der unter Umständen zu diesem Zweck zwischen Steuer- und Hauptsender gelegt wird. Die Konstanz eines solchen richtig gebauten Rohrensenders ist außerordentlich hoch und genügt bei nicht zu kleinen Wellen allen an einen Sender zu stellenden Anforderungen.

Die Schaltung eines solchen Senders zeigt Abb. 1389. S ist der Steuer-, H der Hauptsender. Um Rückwirkungen bei Änderung der Abstimmung des Hauptsenders, wie sie z. B. durch Windbeeinflussung der Antenne auftreten, auf den Steuersender zu vermeiden, muß jede Kopplung zwischen dem Hauptschwingungskreis und dem Gitterkreis G über die Röhre unterdrückt werden. Es wird daher die Wirkung der gestrichelt gezeichneten Kapazität K' , die sich in Wirklichkeit zwischen Gitter und Anode befindet, durch den Kondensator K ausgeglichen.

(2119) **Unterdrückung der Ober- und Nebenwellen.** Abb. 1390 zeigt die von den verschiedenen Sendern gelieferten Stromkurven, *a* ist die Kurve des Poulsen-senders, *b* die eines Telefunken-Maschinensenders und *c* die eines Röhrensenders.

Wir sehen, daß alle diese Kurven sehr weit von der Sinusform abweichen und demnach von vornherein eine große Zahl von Oberwellen geben. Zu deren Beseitigung wird heute allgemein der Zwischenkreis angewendet. Bei richtiger

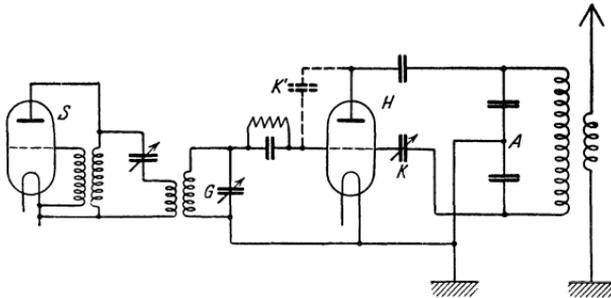


Abb 1389. Röhrensender von großer Wellenkonstanz.

Ausführung kann man auch auf diese Weise die Oberschwingungen sehr stark herabdrücken, so daß sie für den Fernempfang nicht mehr störend sind. Dies reicht aber für viele Fälle nicht aus. Es ist oft notwendig, daß weit größerer Sender Empfangsanlagen auf große Entfernungen arbeiten sollen, und deren Empfangswellen in der Nähe solcher Oberschwingungen liegen, oder gar mit diesen zusammenfallen. Dies ist z. B. der Fall bei den Rundfunkempfängern,

die in der Nähe von Sendern arbeiten. Aber auch im Großstationsbetrieb tritt dieser Fall häufig ein.

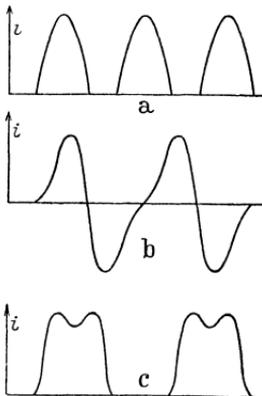


Abb. 1390. Stromkurven verschiedener Senderarten.

mit Rücksicht auf den Betrieb und die Länge der Verbindungsleitungen legt man die Empfangsstelle von Großstationen im allgemeinen nicht weiter als 50 km von der Sendestation entfernt. Beträgt z. B. die Leistung des eigenen Senders etwa 200 kW und gelingt es, die Energie von Oberschwingungen auf den hunderttausendsten Teil davon zu bringen, so bekommt man immer noch 2 W, die in einer Entfernung von 50 km den Empfänger sehr stark beeinflussen können. Es ist aber unmöglich, die Wellenverteilung innerhalb Europas so zu gestalten, daß Empfangswellen nicht in die Nähe von Oberschwingungen der eigenen Sender fallen. Man muß sich dann durch den Einbau von Sperr- und Kurzschlußkreisen (2183) bei dem Sender und durch ähnliche Einrichtungen bei dem Empfänger helfen. Jedenfalls ist die Aufgabe der Unterdrückung der Oberwellen außerordentlich

wichtig, um nicht durch diese in der Verteilung der Wellen gehemmt zu werden. Besonders schwierig gestaltet sich die Beseitigung der Oberwellen in dem Bereich unter 100 m, der ja immer mehr und mehr an Bedeutung gewinnt. Für diese Wellen ist jede an und für sich noch so kleine Kapazität ein vorzüglicher Weg, um in die Antenne zu gelangen. Außerdem ist die Strahlungsleistung und Reichweite der ganz kurzen Wellen unter Umständen sehr groß, so daß man hier unangenehme Fernwirkungen bekommen kann.

Der beste Sender hinsichtlich der Wellenreinheit ist für lange Wellen die Goldschmidtsche Maschine, die die Antennenfrequenz innerhalb der Maschine

erzeugt (1219, 1; 2164). Der an und für sich kleine Luftspalt ist im Vergleich zu den sehr schmalen Polen doch ziemlich groß, so daß die Polfelder fast sinusförmig verlaufen. Besondere Schwierigkeiten treten bei der Maschine der C. Lorenz A.G. auf, da hier mit Stoßerregung gearbeitet wird, so daß natürlich eine große Zahl anderer Schwingungen außer den beabsichtigten entstehen können. Erzeugt man hier durch einen Frequenzwandler die 15. Harmonische der Grundwelle, so erhält man, wenn auch mit sehr kleiner Energie, sowohl die 13., 11., 17., 19. usw. Die 13. und 17. Harmonische liegen aber schon so nahe an der 15. Harmonischen, daß sie durch die Verwendung eines Zwischenkreises nicht mehr ohne weiteres erheblich zu schwächen sind. Noch schwieriger werden die Verhältnisse, wenn man unter Verwendung mehrfacher Frequenzwandlung auf etwa die 143. Harmonische geht. Dann liegen natürlich um diese Welle herum die 141. und 145. Harmonische usw. so nahe, daß sie mit den üblichen Mitteln nicht mehr von dieser zu trennen sind. Durch Einbau besonderer Sieb- und Sperrkreise ist es jedoch gelungen, auch hier die Reinheit in demselben Maße wie bei anderen Sendern sicherzustellen.

Um z. B. bei den Röhrensendern die in den Rohren entstehenden Oberwellen möglichst von der Antenne fernzuhalten, muß man dafür sorgen, daß der Schwingungskreis für diese einen kleinen Widerstandes bildet, und die Antennenkopplung so ausbilden, daß in der Antenne möglichst keine Oberschwingungen erregt werden. Eine richtige Schaltung zeigt Abb. 1389. Wir haben von der Anode über A zur Kathode einen reinen Kondensatorweg, der um so mehr als Kurzschluß wirkt, je höher die Oberschwingung ist. Die parallelliegende Selbstinduktion, mit der die Antenne gekoppelt ist, bietet diesen Wellen einen hohen Widerstand, so daß Ströme höherer Frequenz nur in geringem Maße durch sie hindurchtreten und die Antenne erregen können.

(2120) Dämpfung der Sendewellen. Man verwendet heute für den Großverkehr ausschließlich ungedämpfte Wellen; jedoch wäre es ein großer Irrtum, zu glauben, daß diese sogenannten ungedämpften Wellen tatsächlich nicht gedämpft werden. Diese Dämpfung kann im Gegenteil je nach der Art des Betriebes außerordentlich hoch werden. Die Dämpfung läßt sich nach der Bjerknescschen Formel

$$\delta = \pi \frac{f_1 - f_2}{f_r} \sqrt{\frac{I^2}{I_r^2 - I^2}}$$

berechnen. Nimmt man eine Resonanzkurve $I^2 = f(f)$, wie sie in Abb. 1391 gezeichnet ist, dann erhält man die Dämpfung, indem man rechts und links von der Resonanzstelle gleichgroße Werte von I^2 abträgt und die dazugehörigen Werte der Frequenzen f_1 und f_2 ermittelt. Meistens wird die Berechnung so ausgeführt, daß dieser Stromwert I^2 gleich der Hälfte von I_r^2 gemacht wird.

Dann erhält man $\delta = \pi \frac{f_1 - f_2}{f_r}$. Man kann aber auch um-

gekehrt vorgehen und die Dämpfung berechnen, ohne die Resonanzkurve an und für sich zu kennen; man muß nur wissen, welche Frequenzen f_1 und f_2 etwa bei I^2 auftreten. Arbeitet z. B. ein ungedämpfter Sender, der die Welle 10 000 m (30 000 Perioden) besitzt, mit Schnelltelegraphie, und zwar mit der Geschwindigkeit von 1000 Buchstaben in der Minute, oder, da jeder Buchstabe aus 5 elektrischen \pm -Impulsen besteht, mit 2500 Perioden in der Minute, so bekommt man dadurch eine Modulation des

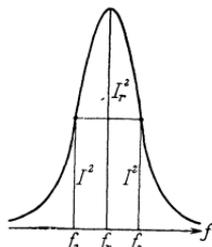


Abb. 1391.
Resonanzkurve

Senders, wie sie in Abb. 1392 dargestellt ist, und zwar von $\frac{2500}{60} \approx 40$ Hertz. Man hat dann eine Modulation der Grundfrequenz von 30000 ± 40 und sonach

$$\delta = \pi \frac{f_1 - f_2}{f_r} = \pi \frac{80}{30000} = 0,0084.$$

Darin ist angenommen worden, daß die Modulation so erfolgt, daß I^2 bei ± 40 Hertz $= \frac{I^2}{2}$ ist. Diese Berechnung ist aber nicht ganz richtig, da es sich nicht um sinusförmige Vorgänge handelt, sondern um solche, die mit Oberschwingungen behaftet sind, bzw. noch eine bestimmte Dämpfung besitzen. Betrachtet man die Vorgänge bei der Schnelltelegraphie genauer, so gelangt man zu größeren Dämpfungswerten, als vorher berechnet worden ist.

Die Ein- und Ausschaltvorgänge werden nicht ohne weiteres entstehen, sondern es wird entsprechend der Dämpfung des Antennenkreises ein Auf-

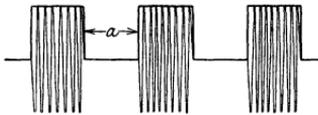


Abb. 1392. Schnelltelegr. bei stark gedämpfter Antenne.

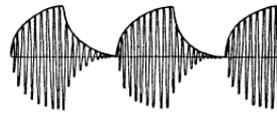


Abb. 1393. Schnelltelegr. bei schwach gedämpfter Antenne.

schaukeln und Abklingen, wie etwa in Abb. 1393 gezeigt ist, stattfinden. Es sei wieder die Welle $= 10000$ m, die Selbstinduktion im Antennenkreis $L = 2,5 \cdot 10^{-3}$ Henry, der Antennenwiderstand $R = 2 \Omega$, dann ist für diese Schwin-

gungen die Dämpfung $\delta = e^{-\frac{R}{2L} \frac{1}{f}} = 0,013$. Die Dämpfung ist also außerordentlich hoch. Es ist hierbei zu beachten, daß diese Dämpfung tatsächlich auftritt, wie in der Abb. 1392 angedeutet ist. Berechnet man die Zeit t , die für diese Schwingungen erforderlich ist, bis etwa die Amplitude auf 1 Hundertel abge-

klungen ist, aus $I_t = Ie^{-\frac{R}{2L} t}$, worin I der Anfangswert der Schwingungsamplitude ist, so wird $0,01 = e^{-\frac{R}{2L} t}$ und daraus $t \approx \frac{1}{80}$, also $\approx a$. D. h. man hat

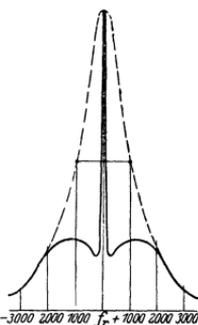


Abb. 1394. Telephonie-resonanzkurve.

während der ganzen Zeit gedämpfte Schwingungen von der Dämpfung $\delta = 0,013$. Bei einer kleineren Welle, z. B. 1000 m ($f = 300000$), $L = 2,5 \cdot 10^{-4}$ Henry, $R = 20 \Omega$, würde $\delta = 0,13$, also noch viel höher als vorher. Hier wird aber $t \approx \frac{a}{100}$. Die hohe Dämpfung tritt nur während 0,01 der Zeit in Erscheinung. Man kann hier die Dämpfung auf $\delta = 0,0013$ schätzen.

(2121) Übertragung der Sprache. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei der Modulation der Wellen durch Sprache oder Musik. Man muß aber die Resonanzkurve für die Berechnung der Dämpfung mit Vorsicht benutzen, da für diese nur schwer Anhaltspunkte zu bekommen sind. Diese Kurve hat hier etwa die Form, wie in Abb. 1394 gezeichnet. Die Trägerwelle von der Frequenz f_r gibt die mittlere Resonanzkurve. Durch die Modulation wird der untere Teil dieser Resonanzkurve außerordentlich verbreitert, und zwar bekommt man hier nochmals zwei Maxima, etwa bei $f_r \pm 500$ bis 2000 Hertz. Die Höhe dieser Maxima hängt ab vom Grad der Aussteuerung des Telephoniesenders und kann dort, wo man den Sender fast voll aussteuert, wie dies mitunter bei Sprachübertragungen der Fall ist, beinahe an die Höhe der Resonanzkurve der Trägerfrequenz heran-

reichen. Die kleineren Frequenzen unter 500 Hertz kommen meistens bedeutend schwächer durch, so daß die Kurve eine Einsattlung bekommt. Für den Fall der vollen Aussteuerung könnte man wieder die Dämpfung wie vorher berechnen und bekommt dann bei 10000 m einen Wert von $d = 0,2$, bei 1000 m einen Wert von $0,02$. Hierbei wurde die gestrichelte Resonanzkurve angenommen, wobei

für $I^2 = \frac{I^2}{2}$ die Werte von $f_1 = f_2 \sim f_r \pm 1000$ sind. Man würde hierbei für die

schwächer ausgesteuerte Musikmodulation etwa dieselbe Dämpfung bekommen. Aber es ist zu beachten, daß diese Kurve keineswegs einer normalen Resonanzkurve entspricht, und daß besonders der untere Teil sich weniger rasch dem Nullwert nähert. Man rechnet daher bei Telephoniesendern einfacher mit dem Frequenzband, das der Musik und Sprache entspricht, und erhält so das Wellenband, das ein solcher Sender beansprucht. Man nimmt für Musik ein Frequenzband von ± 5000 bis 7000 , für Sprache ein solches von 3000 bis 5000 Hertz an. Hierbei ist aber zu bedenken, daß die hohen Frequenzen bedeutend schwächer sind als die zwischen 500 und 2000 Hertz, daß sie also in ganz großen Entfernungen kaum mehr stören. In kleinen Entfernungen können dagegen auch noch Frequenzen über 7000 bzw. unter 500 Hertz störend wirken, wenn der Sender solche wiedergibt.

(2122) Bildtelegraphie. Hier kommt man zu wesentlich höheren Frequenzbändern wie bei Telephonie. Soll z. B. ein Bild von der Größe 10×10 cm in 10 Sekunden übertragen werden, und soll zur Sicherstellung einer Übertragung aller Feinheiten ein mm^2 in 25 Abtastpunkte geteilt werden, dann beansprucht ein solches Bild 250000 Abtastungen in 10 Sekunden oder 25000 Abtastungen in einer Sekunde. Überlegt man, daß auf einen schwarzen Punkt unmittelbar ein weißer und dann wieder ein schwarzer Punkt usw. folgen kann, dann erhält man wieder eine Modulation, wie sie schon bei Schnelltelegraphie in Abb. 1392 dargestellt worden ist. Man sieht daraus, daß den 25000 Abtastungen je Sekunde 12500 Hertz entsprechen. Bei der 10000-m -Welle würde dementsprechend ein Wellenband von 7600 bis 12400 m, bei 1000 m ein solches von 976 bis 1024 m benötigt werden. Überlegt man auch hier, daß diese rechteckigen Modulationsvorgänge nicht ohne weiteres auftreten können, so kann man daraus ersehen, daß man praktisch ein noch breiteres Band für die Übertragung benötigen würde. So große Wellenbänder stehen aber für einzelne Verkehrslinien nicht zur Verfügung. Allerdings ist die angenommene Übertragungsgeschwindigkeit von 10 s für Schnelltelegraphie schon sehr groß. Auf einer Blattgröße 10×10 cm kann man etwa 2000 Buchstaben unterbringen, die noch groß genug sind, um bei einer Abtastgröße von $1/25$ mm^2 gut durchzukommen. Dies entspricht aber 12000 Buchstaben in der Minute, also mehr wie 10 mal so viel, als die normale Schnelltelegraphie zu leisten imstande ist. Da z. B. bei der Bildtelegraphie nach Karolus und Telefunkn keine mechanischen Mittel verwendet werden und die auf der Sendeseite verwendete Photozelle erst bei mehreren 100000 Schwingungen, die auf der Empfangsseite betriebene Karoluszelle sogar erst über 10^8 Schwingungen Trägheitserscheinungen zeigt, wird man sich bemühen müssen, diese Mittel so weit als möglich auszunutzen, d. h. so weit als es die zur Verfügung stehenden Wellenbandbreiten zulassen. Man muß also für die Bildtelegraphie Wellen unter 100 m verwenden. Bei 100 m würde die hier zugrunde gelegte Übertragungsgeschwindigkeit nur mehr ein Wellenband von $99,75$ bis $100,25$ m beanspruchen.

Noch unmöglicher sind die Verhältnisse bei langen Wellen, wenn man an die Übertragungen für das Fernsehen denkt. Beim Fernsehen muß man bei den primitivsten Übertragungen für ein Bild mit 10000 Tastpunkten rechnen. Je Sekunde müssen 10 Bilder übertragen werden, damit die vorbeiziehenden Bilder dem Auge als ein bewegter Vorgang erscheinen. Bei einer Welle von 100 m mußte demnach für das Fernsehen ein Wellenband von mindestens $96,7$ bis $103,3$ beansprucht werden, was auch schon viel zu groß ist, um eine größere Zahl von Linien zu betreiben.

Will man also eine rasche Bildübertragung schaffen oder gar dem Fernsehen näher kommen, dann kommen nur mehr die ganz kurzen Wellen für die Übertragung in Betracht. Für den Überseeverkehr haben sich die kurzen Wellen ja schon in hohem Maße eingeführt und es wird von den Ländern mit einer hochentwickelten Funkindustrie heute schon in starkstem Maße der Verkehr mit Hilfe dieser ganz kurzen Wellen abgewickelt. Für die Ausnutzung der Bildübertragung wird es notwendig sein, auch den Kurzwellenverkehr auf kleine Entfernungen, z. B. innerhalb Europas, durchzuführen (2248).

(2123) Empfänger. Die Forderungen, die man an einen Empfänger stellen muß, sind naturgemäß außerordentlich verschieden, je nach dem Verwendungszweck.

(2124) Telephonieempfänger. Der Empfänger für den Rundfunk soll in erster Linie eine verzerrungsfreie Wiedergabe von Musik und Sprache sicherstellen, in zweiter Linie wird man von solchen Empfängern für den Fernempfang Abstimmsschärfe verlangen, um möglichst auch ferne Stationen trotz der großen Lautstärke eines Ortssenders aufnehmen zu können. Theoretisch wird jeder Empfänger durch die Gleichrichtung eine gewisse Verzerrung von Musik und Sprache hervorbringen. Jedoch ist diese verhältnismäßig so klein, daß sie in Kauf genommen werden kann. Bei einem einfachen Detektorempfänger ohne Verstärkung treten keine weiteren Verzerrungen auf, vorausgesetzt, daß das Telephon in dem Bereich von 100 bis 5000 Hertz eine ziemlich gleichmäßige Wiedergabe sicherstellt. In den meisten Fällen ist dies jedoch nicht zutreffend, und man muß oft mit stärkeren Verzerrungen durch das Telephon rechnen. Aber noch viel gefährlicher sind die Verzerrungen, die durch einen unrichtig gebauten oder unrichtig bedienten Röhrenempfänger eintreten können. Bei den Röhren muß immer in der Mitte der Röhrencharakteristik gearbeitet werden, und man muß auch darauf achten, daß der Arbeitsbereich ganz im negativen Bereich der Gitterspannung liegt, damit nicht durch eintretenden Gitterstrom Unregelmäßigkeiten entstehen. Die Transformatoren der Verstärker sind ebenfalls ein außerordentlich gefährlicher Punkt, da sie in sehr vielen Fällen einzelne Frequenzen bevorzugen oder durch den Anodenstrom schon soweit vorbelastet sind, daß der Arbeitspunkt in das Knie der Magnetisierungskurve fällt. Durch Rückkopplung der Empfänger bis nahe an die Schwingungserzeugung erhält man eine starke Herabsetzung der Dämpfung und sonach eine außerordentlich schmale Resonanzkurve, so daß der Empfänger unter Umständen nicht mehr das Ganze von der Modulation beanspruchte Wellenband gleichmäßig wiedergeben kann. Durch ungewollte Rückkopplungsschwingungen entstehen im Empfänger ebenfalls sehr starke Verzerrungen. Stoßweise einsetzende Rückkopplungsschwingungen, die sich durch Heulen im Empfänger bemerkbar machen, treten besonders leicht bei den sogenannten Reflexschaltungen auf, da hier durch die Rückkopplung von der niederfrequenten zur hochfrequenten Seite solche Schwingungserzeugung sehr begünstigt wird.

Was die Abstimmsschärfe des Telephonieempfängers betrifft, so wäre es unrichtig, diese durch eine sehr schmale Resonanzkurve erreichen zu wollen. Der Empfänger soll ja das ganze durch die Modulation bedingte Wellenband gleichmäßig aufnehmen. Bei den kleinen Rundfunkwellen ist dies noch nicht von besonderer Bedeutung, weil hier die durch die Modulation bedingte Senderdämpfung ziemlich klein ist. Bei 500-m-Welle ist sie nach dem Vorhergehenden etwa 0,01. Aber bei 5000 m wäre sie schon 0,1, also sehr groß. In diesem Falle muß der Empfänger eine rechteckige Resonanzkurve erhalten, was man durch Siebkreise erreichen kann.

Für den Empfang auf größere Entfernungen wird meistens das rückgekoppelte Audion verwendet, weil es hierfür den billigsten Empfänger gibt. Man muß aber daran denken, daß neben den vorher geschilderten Gefahren der Rückkopplung noch die besteht, daß die späteren Röhren übersteuert werden. Bei einer guten Hochantenne und starker Ausnutzung der Rückkopplung kann durch die belie-

bige Herabsetzung der Antennendämpfung die Empfangsstromstärke so groß werden, daß der Anodenstrom in den letzten Röhren das Knie der Charakteristik überschreitet und so Verzerrungen hervorgerufen werden. Man muß daher die Rückkopplung mit Vorsicht anwenden. Der gebräuchlichste Empfänger für große Entfernungen ist der Neutrodynempfänger. Bei diesem verwendet man ebenfalls die Audionrückkopplung, und zwar zum Suchen. Im Betrieb soll man mit ihr, aus den vorher geschilderten Gründen, möglichst weit wieder zurückgehen. Durch die Entkopplung der Hochfrequenzröhren ist hier die Gefahr, daß die beim Suchen erzeugten Rückkopplungsschwingungen in die Antenne kommen, sehr klein. Sehr häufig wird auch der Superheterodyn-Empfänger verwendet, bei dem eine Zwischenfrequenz durch besondere Überlagerung erzeugt wird, die etwa bei 100000 Hertz (3000 m Welle) liegt. Diese hohe Welle gestattet eine vorzügliche Anwendung der Hochfrequenzverstärkung.

(2125) Telegrafieempfänger. Er soll einmal den Empfang auf recht große Entfernungen erlauben, d. h. möglichst große Verstärkung zulassen, ohne daß elektrische Störungen, besonders atmosphärischer Art, in ihm Stromstärken von gleicher Größenordnung wie die Empfangsströme hervorrufen. Ferner muß er gegen fremde Sender auf nebenliegenden Wellen sehr unempfindlich, also sehr abstimmscharf sein. Man verwendet im Großstationempfang vorzugsweise die Zwischenfrequenzschaltung (2193), die einmal eine größere Abstimmbarkeit gibt und dann die Verwendung einer größeren Hochfrequenzverstärkung zuläßt, ohne daß eine störende Rückkopplung eintritt. Man hat dadurch wieder die Möglichkeit, die Antenne äußerst lose zu koppeln, so daß fremde Störungen besser vom Empfänger ferngehalten werden können. Um diesen so erhaltenen Vorteil aber auszunutzen zu können, muß der Empfänger selbst durch vollständige Einkapselung in Eisen gegen unmittelbaren Einfluß geschützt werden.

Außer der Hochfrequenzabstimmung wird immer eine Tonabstimmung angewendet, die eine sehr hohe Konstanz der Senderwelle verlangt. Die Sicherheit gegen das Durchschlagen fremder Sender und atmosphärischer Störungen wird fast immer noch weiter erhöht durch Verwendung gerichteter Empfangsantennen (2202 ff.).

(2126) Wellenverteilung. 1. Für Telephonie. Wir haben schon früher gesehen, daß es ganz aussichtslos ist, Telephonie auf langen Wellen zu betreiben. Für Sprachmodulation rechnet man das Band zu beiden Seiten der Trägerfrequenz zu mindestens 3000 Hertz, für Musikmodulation zu 5000 Hertz. Der Abstand zweier Sender muß also mindestens 6000 bzw. 10000 Hertz betragen, wenn sie sich nicht gegenseitig stören sollen. Aus der Kurve Abb. 1395 kann man die Zahl solcher Sender, die sich in einem gewissen Wellenbereich unterbringen lassen, ablesen, und zwar ist die Kurve für einen Frequenzabstand der einzelnen Sendewellen von 10000 Hertz berechnet. Wir sehen, daß zwischen 100 und 300 m 200 solche Sender untergebracht werden können, während zwischen 1000 und 3000 m nur 20 solcher Sender möglich sind.

Wir sehen demnach, daß die Telephonie hauptsächlich auf die kleineren Wellen angewiesen ist. Aus diesem Grunde hat ja auch der Unterhaltungsrundfunk den Wellenbereich von 200 bis 600 m mit Beschlag belegt. Man hat sich darüber geeinigt, zwischen zwei nebeneinander liegenden Wellen einen Zwischenraum von 10000 Perioden zu legen und dadurch ermöglicht, in diesem Wellen-

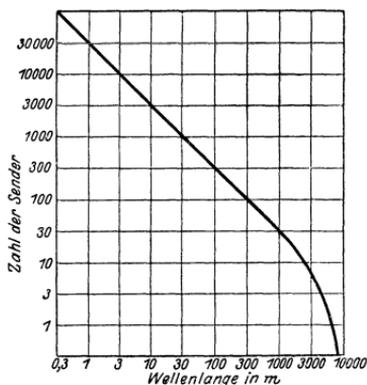


Abb. 1395 Wellenbandbreite bei Telephonie.

bereich etwa 100 Wellen unterzubringen. Allerdings sind hier die Forderungen der Europaländer nach Rundfunkwellen wesentlich höher gewesen. Um diese erfüllen zu können, hat man sich entschlossen, 83 sogenannte Einzel(Exclusive)-wellen zu schaffen, auf denen nur ein Sender in Europa arbeiten darf, und hat die übrigen Wellen zu sogenannten Gemeinschafts(Commune)wellen gemacht, auf denen im Durchschnitt etwa 8 Sender in Europa gleichzeitig arbeiten sollen. Die Sender, die auf Gemeinschaftswellen arbeiten, sind in ihrer Antennenenergie beschränkt worden, um gegenseitige Störungen möglichst herabzusetzen, und sie haben nur eine ungefähre störungsfreie Reichweite von etwa 15 km, da andere Sender, die in größeren Entfernungen arbeiten, gleichzeitig zu hören sind.

Zwischen 1000 und 2000 m sind, abgesehen davon, daß dieser Bereich auch von anderen Diensten belegt ist, nur einzelne Rundfunkwellen möglich. Ein Rundfunknetz kann sich in diesem Bereich nicht ausbilden.

Die ganz kurzen Wellen unter 100 m für den Rundfunk zu verwenden, ist aussichtslos, da diese Wellen innerhalb der Städte so stark absorbiert und reflektiert werden, daß mit einem brauchbaren Empfang nicht zu rechnen ist.

2. Für Telegraphie. Wir haben gesehen, daß auch bei Telegraphie die langen Wellen sich ungünstiger hinsichtlich des beanspruchten Bandes verhalten. Aber in der Praxis liegen die Verhältnisse so, daß die längsten Wellen (über 8000 m) für den Überseeverkehr verwendet werden und daß hierfür die Sende- und Empfangsanlagen am sorgfältigsten gebaut sind. Außerdem liegen auch die einzelnen Stationen viel weiter auseinander, als z. B. im Europaverkehr, so daß man hier trotzdem mit den Wellen näher aneinander gehen kann. Man kann mit den vorher beschriebenen Mitteln der heutigen Funktechnik ohne weiteres auf einen Abstand von 250 Hertz bei den Wellen über 8000 m gehen. Bei den Wellen 3000 bis 8000 m ist ein Abstand von 300 (für die längeren Wellen) bis 500 Hertz erreichbar. Demnach kann man im Bereich von 8000 bis 20000 m im ganzen 90 Wellen, im Bereich 3000 bis 8000 m etwa 155 Wellen unterbringen. Bei den Überseewellen wäre durch Richtempfang unter Umständen noch mehr herauszuholen. Aber man soll das gegen atmosphärische Störungen sehr nötige Mittel des Richtempfangs nicht schon von vornherein für diesen Zweck binden. In Europa sind heute etwa 50 Wellen besetzt, und zwar so, daß ein Dazwischenlegen in den meisten Fällen nicht möglich ist wegen Unkonstanz der Sender oder unzuverlässiger Wellenverteilung. Es ist zu hoffen, daß die nächste Funkkonferenz in Washington freie Bahn für weitere Wellen schaffen wird.

Einstellung und Konstanz der Wellen.

Für die richtige Einstellung der Welle und die Prüfung der Wellenkonstanz sind geeignete Wellenmesser unerlässlich.

Von einem brauchbaren Wellenmesser muß man verlangen:

1. Richtige absolute Werte,
2. Konstanz seiner Abstimmittel gegen alle äußeren Einflüsse,
3. Feineinstellbarkeit der Betriebswellen.

(2127) **Der piezoelektrische Quarzoszillator.** Bei der Wichtigkeit, die die richtige Einstellung und die Konstanz der Wellen spielt, hat man sich bemüht, neue, bedeutend bessere Mittel als bisher dafür zu finden.

Als hervorragende Wellenmesser und als Erreger von vollständig konstanten elektrischen Schwingungen werden in neuerer Zeit wegen ihrer piezoelektrischen Eigenschaften Quarzkristalle benutzt. Einen solchen Kristall zeigt Abb. 1396. *Z* ist die optische Achse, in der keine elektrischen Schwingungen auftreten, *X* ist eine der elektrischen Achsen, die andern beiden liegen um 120° dazu verdreht in derselben Ebene. Schneidet man aus dem Kristall in der in der Abbildung gezeichneten Weise einen Stab heraus, so entstehen bei Kompression und Dilatation in der Richtung der *X*-Achse elektrische Ladungen auf den senkrecht zur *X*-Achse stehenden Flächen. Bei Kompression und Dilatation der *Y*-Achse ent-

stehen Ladungen auf denselben Flächen; diese Erscheinungen nennt man direkten piezoelektrischen Effekt. Umgekehrt rufen die gleichen Ladungen auf den genannten Flächen nach dem reziproken piezoelektrischen Effekt umgekehrte mechanische Wirkungen in der *X*- und der *Y*-Achse hervor. Durch eine Wechsel-EMK können wir demnach Schwingungen in der Richtung der *X*- und der *Y*-Achse erhalten. Die Frequenz dieser EMK, die erforderlich ist, um den Stab in seiner mechanischen Resonanz zu erregen,

$$\text{errechnet sich aus der Formel } \frac{c}{f} = 110 \cdot l = \lambda.$$

Darin ist *c* = Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrischen Wellen in m, *f* = Frequenz, *l* in mm entweder die Länge des Quarzstabes in der Richtung der *X*-Achse oder der *Y*-Achse. λ ist die Wellenlänge der elektrischen Schwingung in m. Will man Quarzplatten verwenden, so schneidet man diese in der in Abb. 1397

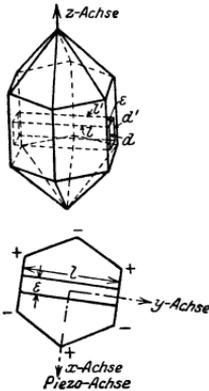


Abb. 1396. Piezoelektrischer Quarz.

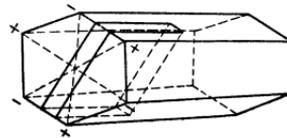


Abb. 1397. Lage einer piezoelektrischen Platte im Kristall.

gezeichneten Weise aus, d. h. die Platte muß senkrecht zu einer elektrischen Achse stehen. In der Formel für λ ist dann *l* die Dicke der Platte. Die Erregung eines solchen Quarzstabes oder einer solchen Platte erfolgt zwischen zwei Elektroden, die zu beiden Seiten angeordnet werden.

W. G. Cady hat als erster die Anwendung dieser Quarzstäbe zu Resonatoren und Oszillatoren erkannt. Als Wellenmesser verwendet er die Schaltung Abb. 1398. Der Kreis 2 wird angenähert auf die Eigenschwingung des Quarzes *Q* abgestimmt. Wird nun die Frequenz *f* des Senderkreises 1, der auf den Quarzkristall genau

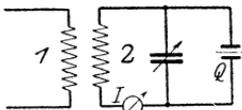


Abb. 1398. Wellenmesserschaltung mit piezoelektrischem Quarz.

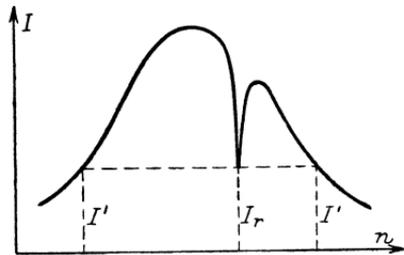


Abb. 1399. Resonanzkurve des Wellenmessers mit Quarz.

abgestimmt werden soll, geändert, so erhält man die in Abb. 1399 gezeichnete Resonanzkurve. Die Kurve für *I* hat ein stark ausgeprägtes Minimum dort, wo Resonanz zwischen Sender und Quarzkristall besteht. Im Moment der Resonanz wirkt der Quarz wie ein zum Kondensator des Kreises *II* parallel geschalteter Ohmscher Widerstand. Während z. B. außerhalb der Resonanz der Quarzkristall als kapazitiver Widerstand von z. B. 500 MΩ wirkt, ist im Moment der Resonanz die kapazitive Wirkung verschwunden und er besitzt einen rein Ohmschen Widerstand von etwa 20 MΩ. Der tiefste Punkt der Resonanzkurve *I_r* gibt die Resonanz zwischen Sender und Quarzkristall an. Der Nachteil dieser Methode besteht aber darin, daß man zur Sicherheit bei jeder Kontrolle diesen

Punkt feststellen muß, da ja dieser Wert I_r noch in zwei anderen Punkten der Resonanzkurve $I' = I_r$ auftritt und demnach dieser Wert im Instrument des Kreises 2 keine Sicherheit für die richtige Einstellung des Senders gibt. Giebe und Scheibe verwenden daher eine andere Methode, die darin besteht, daß sie den Quarzstab mit seinen Elektroden, die hier aber einen Abstand von 0,5 bis zu mehreren Millimetern besitzen müssen, in eine evakuierte Röhre (Vakuum 10 bis 15 mm) einbauen. Im Moment der Resonanz entstehen nach dem direkten piezoelektrischen Effekt Spannungen an den Elektroden, die ein Glimmen zwischen Stab und Elektroden hervorrufen; das Glimmen ist dann ein Zeichen der eingetretenen Resonanz. Der Resonanzpunkt, bei welchem die Erregung ihr Maximum hat, ist bis auf etwa 0,0001 genau einstellbar. In Deutschland werden die meisten Betriebssender mit Hilfe eines solchen Kristalls in ihrer Wellenlänge kontrolliert.

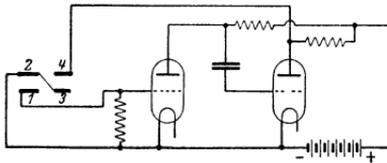


Abb. 1400. Schaltung für einen piezoelektrischen Quarzoszillator.

des bisher üblichen Steuersenders (2171) einen solchen in Schwingungen versetzten Kristall. Eine hierzu geeignete Schaltung nach Cady zeigt Abb. 1400. Der Kristall besitzt zwei Paar Elektroden. Die Elektrode 1 liegt am Gitter der ersten Röhre, die Elektrode 2 ist mit 3 verbunden, 4 liegt an der Anode der zweiten Röhre. Wir erhalten auf diese Weise die erforderliche Rückkopplung von der Anode der zweiten Röhre zum Gitter der ersten Röhre. Bei unseren Röhrensendern auf längeren Wellen ist eine solche Einrichtung nicht erforderlich, da die gebräuchlichen Steuersender eine genügende Konstanz der Schwingungen geben. Bei Kurzwellensendern unter 100 m reicht jedoch diese Konstanz nicht ohne weiteres aus, hier verwendet man mit Vorteil als Steuersender solche Kristalle. Die neuen Kurzwellensender, die in Deutschland für den Betrieb verwendet werden, besitzen Kristallsteuersender.

Antennen.

(2128) Antennenformen. Die Antenne (Antenna = Fühler) ist eine Anordnung zum Senden und Empfangen von Schwingungen. Die in die Luft emporgeführten Teile einer Antenne werden als Luftleiter bezeichnet. Meist ist die Antenne ein offenes Schwingungssystem. Die einfachste Antenne ist der gerade Draht, der heute noch bei ganz kurzen Wellen, Flugzeugen und Luftschiffen zur Anwendung kommt. Meist werden mehrere Drähte parallel geschaltet. Insbesondere ist dies beim Sender erforderlich zur Unterbringung größerer Energiemengen. Hier handelt es sich dann darum, in möglichst großer Höhe eine möglichst große Antennenfläche zu erhalten. Es haben sich im Laufe der Entwicklung eine ganze Reihe von Antennenformen ergeben:

L-Antenne: bestehend aus einem vertikalen und einem horizontalen Draht, so zusammengesetzt, daß das Gebilde einem umgekehrten L gleicht.

T-Antenne: zwischen 2 Masten sind ein bzw. mehrere Drähte gespannt. In der Mitte der Drähte befindet sich eine Zuführung nach unten (Schiffsantenne).

Harfen-, Konus-, Doppelkonus-, Fächerantenne.

Schirmantenne: mehrere Drähte, 3 bis 12, laufen von der Spitze des Mastes schräg nach unten. Vom Vereinigungspunkt der Drähte am Mast geht nach unten die Zuführung.

Erdantenne: isolierte Drähte, die unmittelbar am Boden liegen oder in 1 bis 2 m Höhe über dem Boden laufen.

Bergantenne: als Träger der Antenne werden natürliche Bodenerhebungen benutzt.

Für den Empfang kommen ferner noch in Verwendung:

Rahmenantennen: eine senkrecht, meist drehbar aufgestellte Drahtschleife aus einer oder mehreren Windungen.

Zimmerantennen: beliebig in Wohnräumen gespannte Drähte. Sie sind noch wirksam durch die in den modernen Empfängern angewendeten großen Verstärkungsmittel (Rückkopplung).

(2129) **Elektrische Eigenschaften** (2113). Die für die Antenne maßgebenden Größen sind: Widerstand, Kapazität und Eigenschwingung. Aus Widerstand, Kapazität und Wellenlänge ergibt sich dann die Dämpfung [logarithm. Dekrement (140, 2108)] für jede Wellenlänge zu

$$d = \frac{1}{150} \cdot \frac{CR}{\lambda},$$

worin C in cm, R in Ω und λ in m anzugeben sind.

Die Abb. 1401 a zeigt die Änderung des Antennenwiderstandes einer Landantenne (T-Antenne $h = 44$ m. Drahtlänge des horizontalen Teiles 85 m) bei Veränderung der Welle. — Abb. 1401 b zeigt die Widerstandsänderung für eine Schiffsantenne.

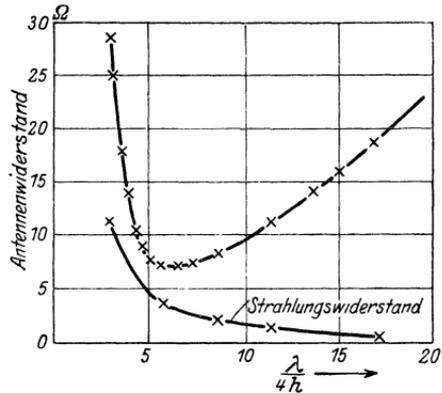


Abb 1401 a. Antennenwiderstand einer Landantenne.

Der Antennenwiderstand setzt sich in der Hauptsache zusammen aus dem Strahlungswiderstand, Erdwiderstand und Spulenwiderstand. Der Strahlungswiderstand ist gegeben durch $R_e = 160 \pi^2 \frac{h^2}{\lambda^2}$; für die Eigenschwingung des ge-

aden Drahtes ist R_e annähernd $= 36,6 \Omega$. Aus Abb. 1402 a und b ergeben sich die Strahlungswiderstände für verschiedene Höhen und Wellenlängen. Die Form der Antenne ist unwesentlich für den Strahlungswiderstand. — Bei Empfangsantennen gilt ebenfalls, daß die Strahlungs- bzw. Empfangswirkung proportional h^2/λ^2 ist. Bei Antennen mit einer Höhe unter 20 m ist wegen der Grundwasser-einflüsse die Wirkung geringer als proportional h^2 . Die Breite der Antenne erhöht hier die Lautstärke nicht wesentlich, wohl aber die Länge, und es kann hier teilweise die Höhe durch die Länge ersetzt werden. Große Höhe ist hier meist nicht erforderlich, da bei Empfang beliebige Verstärkungsmittel angewendet werden können und das hier maßgebende Verhältnis zwischen Empfangslautstärken und Störungen weitgehend unabhängig ist von der Höhe der Antenne.

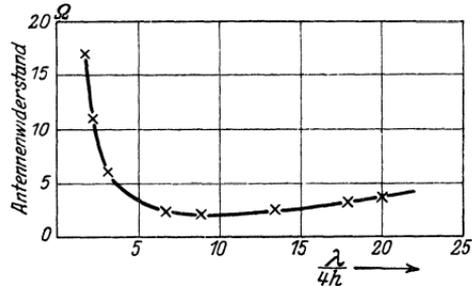


Abb. 1401 b. Antennenwiderstand einer Schiffsantenne.

Der Strahlungswiderstand einer Rahmenantenne ist $[88lh w/\lambda]^2$. l und h sind Länge und Höhe des Rahmens, w seine Windungszahl.

(2130) **Erdwiderstand, Erdung.** Die in die Antenne fließenden Hochfrequenzströme finden ihren Rückweg zum Sender oder Empfänger durch die Erde — Erdung — bzw. das Gegengewicht.

Die Erdung erfolgt durch Anschluß an Gas- oder Wasserleitung bzw. an eine oder mehrere Metallplatten, Rohre, Netze oder Drähte im Boden. Bei großen Sendenantennen werden die Erdungen möglichst unter der ganzen Antennenfläche bzw. darüber hinausgehend angebracht und die Ströme vom Sender auf diese Erdungen so verteilt, daß die von der Antenne in den Boden eintretenden Ströme möglichst kurze Wege im Boden zurücklegen. Der Hochfrequenzwiderstand der Erdung kann dann bis auf $0,1 \Omega$ heruntergebracht werden. Bei einfacher Erdung liegt er über 2Ω . Sehr geringe Erdwiderstände erhält man auch dadurch, daß man die Antenne gewissermaßen in einzelne Teile teilt, jedem Teil eine eigene Zuführung und eine eigene Antennenverlängerungsspule gibt. An jeder dieser Verlängerungsspulen liegen die den betreffenden Antennenteile zugeordneten Erdungen (Alexanderson - Antenne Abb. 1403). Die Erdleitungen sind bei dieser Anordnung kurz. Die

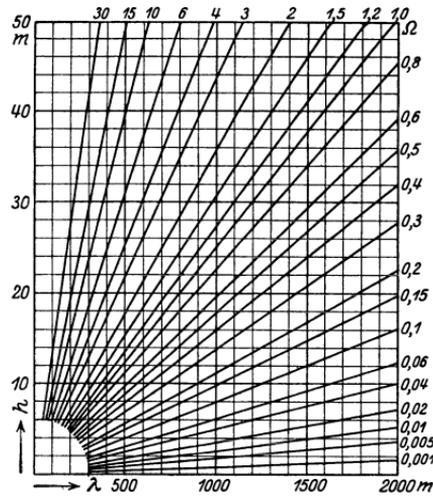


Abb. 1402 a. Strahlungswiderstand bei verschiedener Höhe und Welle.

einzelnen Antennen werden durch den Generator G gemeinsam aufgeladen. Die leerschwingende Energie jedes Antennenteiles $A B, B C, C D$ usw. schwingt durch die Spulen L .

Der spezifische Erdwiderstand des gefrorenen Bodens ist $\rho = 1,2 \cdot 10^{13}$, des sehr feuchten Bodens $\rho = 7 \cdot 10^{-14}$.

(2131) Gegengewicht. Statt der Erdung verwendet man häufig ein Gegengewicht; als solches dient ein Drahtgebilde in 1 bis 4 m Höhe über dem Boden, etwa um die Höhe über die Fläche der Antenne hinausgehend. Durch ein engmaschiges Gegengewicht kann der Erdwiderstand ebenfalls auf $0,1 \Omega$ erniedrigt werden. Bei einer geringeren Drahtzahl (annähernd gleich der Drahtzahl der Antenne) liegt beim tiefen Gegengewicht der Erdwiderstand über 2Ω . Das Gegengewicht ist aufzufassen als Kapazität, welche zwischen Antenne und Erde gelegt ist und die Antennenkapazität C_a verkleinert entsprechend

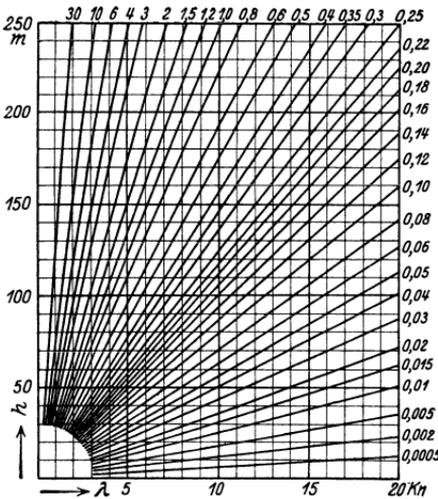


Abb. 1402 b. Strahlungswiderstand bei verschiedener Höhe und Welle.

$$\frac{C_a \cdot C_g}{C_a + C_g}$$

Bei Erdung, wie bei Gegengewicht nimmt der Erdwiderstand der Antenne zu mit zunehmender Welle.

(2132) Strahlungshöhe. Die Strahlungs- oder effektive Höhe ist die mittlere geometrische Höhe der gesamten, die Antennenkapazität bildenden Leiterteile, die Höhe des Kapazitätsschwerpunktes der gesamten Antennenelemente. Sie ergibt sich aus dem Formfaktor der Antenne. Er ist das Verhältnis des algebraischen Mittelwertes der Effektivwerte der Ströme, gemessen in allen Höhen zu dem größten Effektivstrom, dem Strom unten am Boden. Die effektive Höhe ist das Produkt aus dem Formfaktor und der Entfernung vom Boden bis zum höchsten Punkte der Antenne. Die effektive Höhe liegt zwischen 0,6 und 0,8 der Maximalhöhe; sie ist beim geraden Draht in der Eigenschwingung $= 2/\pi$.

(2133) Leistung. Vielfach wird die Leistung einer Antenne beurteilt nach dem Produkt aus der Effektivhöhe der Antenne in m und des Stromes im Erdungspunkt in A. Die Leistung bei unseren größten Anlagen hat die Größenordnung von 100 000 Meterampere.

(2134) Kapazität. Sie läßt sich aus der wechselseitigen Kapazität der einzelnen Antennenleiterteile gegeneinander und gegen die Erde berechnen. Die Kapazität eines 1 m langen Drahtes vom Radius r cm, der in h cm Höhe vom Boden geführt ist, beträgt

$$C = \frac{100}{2 \ln \frac{2h}{r}} \text{ cm.}$$

Ein Draht von 1 m Länge, der in 20 m Höhe geführt ist, hat demnach annähernd eine Kapazität von 5 cm. Angenähert gilt für eine nicht zu lang gestreckte Antenne (Drähte nicht zu weit auseinander)

$$C = \left(4\sqrt{a} + 0,88 \frac{a}{h} \right) \cdot 10^{-5} \text{ Mikrofarad,}$$

a = Flächen des horizontalen Teiles der Antenne in m^2 ,
 h = Höhe in m.

Übertrifft die Länge der Antenne l die Breite b um das 8fache, so ist in obiger Formel rechts noch der Faktor $\left(1 + 0,015 \frac{l}{b} \right)$ zuzufügen, die Kapazität ist gleich der Summe der Kapazitäten einer Scheibe frei im Raume und derjenigen eines Plattenkondensators ohne Randwirkung. Ein Überschlag ergibt sich in der Art, daß man die eigentliche Antennenfläche rund herum am Rande um die mittlere Antennenhöhe vergrößert und die Kapazität dieser gesamten Fläche gegenüber der Erde ohne jede Randwirkung berechnet. Die Kapazität einer Antenne ist für die Strahlungswirkung gleichgültig. Der Wirkungsgrad der Antenne ist nur gegeben durch $\eta = \text{Strahlungswiderstand} / \text{Strahlungswiderstand} + \text{Verlustwiderstand}$. Dagegen ist die Kapazität maßgebend für die maximale Energieaufnahme der Antenne entsprechend CU^2 . Die Spannung U der Antenne ist begrenzt durch die Güte der Isolatoren (120 bis 150 kV). Man kann bei einer Antenne mit einer Längsausdehnung von etwa 1 km, einer Kapazität von 30 bis 100 000 cm eine Aufnahmefähigkeit von 300 bis 1000 kW erreichen. Die Aufnahmefähigkeit ist geringer bei langer Welle. Entsprechend der nomographischen Darstellung (Abb. 1404) läßt sich für beliebige Kapazität, zulässige Spannung und Antennenwiderstand die Maximalaufnahmefähigkeit angeben.

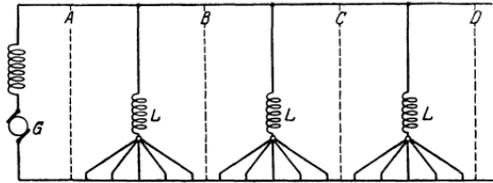


Abb 1403 Alexandersonsche Antenne.

ist dann e die größte, in dem Gebilde auftretende Längendimension. Der Faktor k ist um so größer, je größer bei der gleichen Antennenkapazität das Verhältnis der Antennenkapazität zur Selbstinduktivität ist, d. h. je großflächiger die Antenne ist.

Für den geraden Draht gilt $\lambda_0 = 4,1 l$

Neigt er sich mehr zu Boden, d. h. wird die Kapazität größer, so gilt $\lambda_0 = 4,2 l$

Wird die Antenne breiter, z. B. für eine Antenne mit einer

Breite $= \frac{1}{2} l$ $\lambda_0 = 5$ bis $7 l$

Z. B. alte Γ -Antenne in Nauen $\lambda_0 = 5,5 l$

Für eine schmale T-Antenne, z. B. für ein Schiff, gilt . . $\lambda_0 = 4,5$ bis $5 l$

Für eine Schirmantenne je nach Drahtzahl $\lambda_0 = 6$ bis $8 l$

Bei sehr großer Drahtzahl und geringerer Höhe $h < \frac{1}{3} l$ $\lambda_0 = 8$ bis $10 l$.

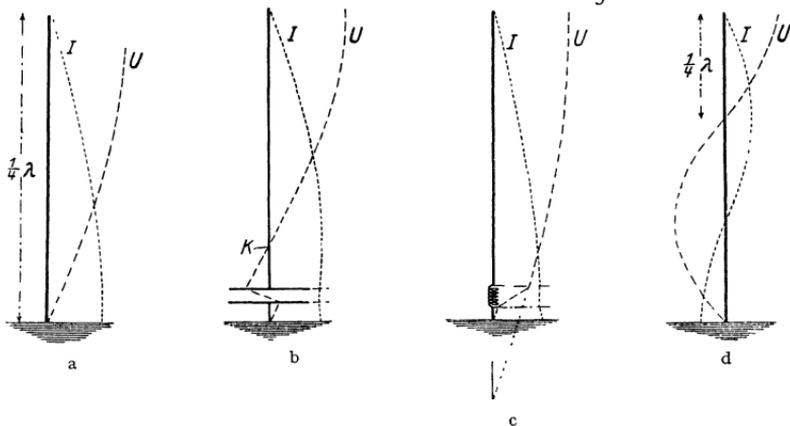


Abb. 1405 Schwingungsarten einer Antenne
a Eigenschwingung — b bei Verkürzung — c bei Verlängerung — d Oberschwingung

(2136) Selbstinduktivität. Die Selbstinduktivität einer Antenne ergibt sich aus der Kapazität und Eigenschwingung zu $L = \lambda_0^2 : 4 \pi^2 C$.

(2137) Verlängerung und Verkürzung der Antennen. Bei Verlängerung nimmt das ganze Antennengebilde annähernd gleiche Spannung an. Der Strahlungswiderstand sinkt mit zunehmender Welle und gleichzeitig steigt die Spannung an der Antenne, vorausgesetzt, daß die Verlängerungsspule nicht zuviel Verluste bringt. Verlängerungsspulen lassen sich heute bauen mit einem Widerstand von $0,1 \Omega$ für 10^{-3} H (Litze). Bei Verkürzung fällt der Spannungsknoten in den oberen Teil der Antenne. Die unterhalb des Knotens eingeschalteten Sender- und Empfangsapparate kommen dann unter Spannung. Bei Verwendung kurzer Wellen wird vielfach eine lange Antenne in einer Oberschwingung erregt, d. h. es liegt auf der Antenne mehr als $1/4$ Wellenlänge. Die Strahlungswirkung dieser Antennen ist dann im Gegensatz zur einfachen Erregung zum Teil nach oben gerichtet. Abb. 1405 a bis d zeigt die Schwingungszustände für verschiedene Fälle.

(2138) Antennenbau. Als Träger für die Antennen werden im allgemeinen Maste benutzt. Die Maste sind entweder freistehend oder werden durch Seile, Pardunen gehalten. Meistens sind die Maste und Pardunen isoliert. Das Fortlassen der Isolation verschlechtert die Strahlungswirkung meist um wesentlich mehr als 10 vH. Maste bis etwa 120 m Länge können auf der Erde zusammengesetzt und mit Hilfsmasten aufgerichtet werden.

Holzmaсте sind meist imprägniert mit Karbolineum; sie werden bis etwa 150 m Höhe gebaut.

Eisenmaсте. Die billigste Konstruktion ist der Rohrmast nach Rendahl. Die typische Telefunkenkonstruktion (Hein, Lehmann) für Maсте bis 260 m ist der auf einer Spitze, einem Kugelgelenk stehende 3- oder 4eckige Gittermast. Für Militärstationen werden auskurbelbare Maсте (Magirus, Fontana) benutzt.

Antennenisulator, Abb. 1406, Type JJK.

Größe	Maße				Gewicht kg	Belastung kg			trocken		naß ¹⁾	
	a	b	c	d		Nutzlast	Prüf- last	Bruch- last	Spru- hen ca. kV	Über- schlag ca. kV	hän- gend	trie- fend ca. kV
9	130	290	25	80	1,12	400	800	1200	70	80	20	5
10	170	330	25	80	1,2	400	800	1200	80	90	25	8
14	275	400	25	80	1,32	400	800	1200	90	100	30	10
20	250	550	40	120	5	1000	2450	3200	90	100	30	10

Isolatoren. Für die Isolation der Antenne werden Isolatoren entsprechend Abb. 1406 und 1407 benutzt. Der Isulator nach Abb. 1407 wird ausgeführt bis zu



Abb. 1406¹⁾ Antennenisulator.

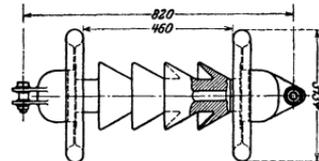


Abb. 1407. Antennenisulator.

einer Bruchlast von über 6 t. Für die Isolation der Pardunen werden Isolatoren entsprechend Abb. 1408 verwendet. Sie werden gebaut für Nutzlasten von 7 bis 43 t, Bruchlast rund das Dreifache, Gewicht 68 bis 386 kg (rd. proportional der Bruchlast). Die Überschlagnspannung beträgt trocken 100 kV, naß 60 kV; nur bei dem kleinsten Isulator beträgt sie $\frac{3}{4}$ dieser Werte. Die Kapazität beträgt 19 bis 150 cm (rd. proportional der Bruchlast). Die Maße der Abb. 1408 gelten für einen Isulator mittlerer Größe von 163 kg Gewicht und 47 cm Kapazität. Die Türme am Fuße werden durch etwa eine oder mehrere 10 cm hohe Porzellanscheiben von etwa 20 cm Durchmesser isoliert.

Durchhang. Bedeutet L die Länge des Drahtes (horizontal), g das Gewicht für 1 m, so ergibt sich das Moment M aus der Gleichung $M = \frac{1}{8} g \cdot l^2$. Die Seilspannung S errechnet sich aus der Gleichung $S = M/f$, wobei f der in diesem Falle angenommene Durchhang des Drahtes bedeutet.

Ist die Seilspannung S gegeben, so wird der Durchhang ermittelt nach der Formel $f = M/S$.

Die Verlängerung λ des Drahtes durch den Durchhang f läßt sich praktisch leicht bestimmen nach der Formel

$$\Delta l = \frac{8f^2}{3a},$$

worin a der Abstand der Stützpunkte ist. Dann ist die Gesamtlänge des Seiles $L = l + \frac{8f^2}{3a}$.

¹⁾ Hängend unter 45° bei einer Regenhöhe von 3 mm.

Bei 500 m Spannweite rechnet man meist mit einem Durchhang von 25 bis 30 m. Für den Winddruck auf den Draht gilt: $p/m^2 = 0,08 \cdot d \cdot v^2$. d = Durchmesser des Drahtes, v = Windgeschwindigkeit. Ist d kleiner, so gilt: $P = 0,06$ bis $0,07 \cdot d \cdot v^2$ (1274).

(2139) Strahlwerfer für kurze Wellen. Für die Kurzwellen verwendet man heute gerichtete Sender (Strahlwerfer) und gerichtete Empfänger. Am Sender arbeitet man entweder mit senkrechter oder wagrechter Polarisation, am Empfänger nur mit senkrechter Polarisation (senkrechten Antennen).

Beim senkrechten Strahlwerfer wird die Zusammendrängung der Strahlen im wagrechten Kreis erzielt durch Anordnung einer ganzen Reihe von senkrechten Antennen in $\lambda/2$ Abstand nebeneinander, beim wagrechten Strahlwerfer

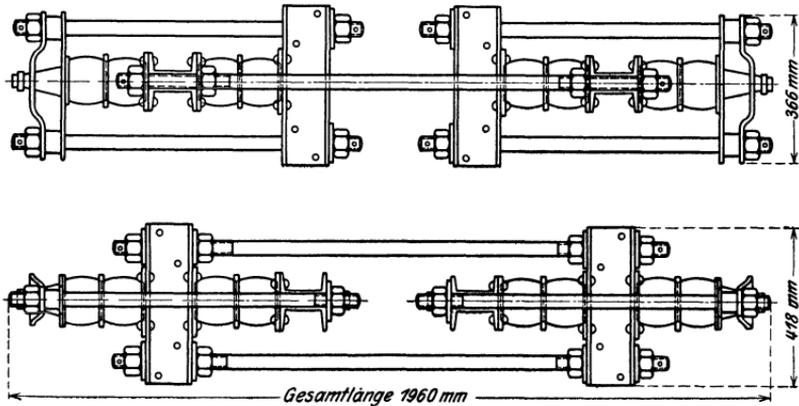


Abb. 1408. Pardunenisolator

durch Anordnung mehrerer wagrechter Antennen in einer Linie. Alle Antennen müssen hier gleichphasig schwingen. Die Gleichphasigkeit wird erreicht durch mehrere die Antennen miteinander verbindende, einer Halbwelle entsprechende, strahlungsfreie Spulen oder Drahtschleifen. Die Zusammendrängung der Strahlung unter einem bestimmten Winkel in senkrechter Richtung wird bei der senkrechten Polarisation erreicht durch Zusammenwirken mehrerer, unter Umständen gleichphasig schwingender, eine halbe Wellenlänge langer Antennen übereinander, bei der wagrechten Polarisation durch Anordnung eines parabolischen Drahtreflektors um die Antennenlinie (Parameter = $\lambda/4$). Durch Drehen des parabolischen Reflektors kann der Ausstrahlwinkel des Strahlwerfers beliebig eingestellt werden (beste Lage anscheinend meist bei 38° und 80°).

Beim senkrechten Strahlwerfer sind hinter den Antennensystemen in einer Entfernung gleich $\frac{1}{4}$ der Wellenlänge Reflektordrähte aufgehängt. Sie entsprechen in ihrer Länge den Antennendrähten. Ihre Anzahl ist gleich oder doppelt so groß wie die der Antennen.

Die Empfangsanordnung ist identisch mit der Senderanordnung für senkrechte Polarisation. Je größer die Fläche des Empfangssystems ist, desto weniger kommen Fadings zur Geltung. Die Flächen erhalten hier vielfach Abmessungen bis zu 800×100 m (2209).

Funktelegraphische Sender.

(2140) Allgemeines. Der funktelegraphische Sender hat die Aufgabe, elektromagnetische Wellen im Rhythmus der Morsezeichen auszustrahlen; demgemäß ist es notwendig, die elektrischen Schwingungen zu erzeugen und sie auf ein geeignetes Strahlgebilde zu übertragen, welches alsdann die getastete Energie ausstrahlt.

Der Sender hat folgende Bedingungen zu erfüllen:

1. Scharfe Abstimmung, damit Einsatz vieler Stationen möglich ist.
2. Große Reichweite, bedingt durch entsprechend bemessenen Luftleiter und Wirkungsgrad des Senders.
3. Betriebssicherheit bei allen Witterungsverhältnissen und zu jeder Zeit.
4. Große Telegraphiergeschwindigkeit.
5. Anzustreben ist eine konstruktiv und schaltungstechnisch einfache Anlage, welche zur Erhöhung der Reichweite und Störungsfreiheit die Zeichen gerichtet senden kann.

Man unterscheidet gemäß der Form der Schwingung gedämpfte und ungedämpfte funktelegraphische Sender (1156 ff.).

(2141) Schaltungen. Man unterscheidet:

1. Sender in direkter Schaltung: Die von dem Generator erzeugte Hochfrequenzenergie wird unmittelbar an den Antennenkreis abgegeben (induktive, kapazitive, galvanische Kopplung).
2. Zwischenkreissender: Der Hochfrequenzgenerator ist zunächst mit einem geschlossenen Schwingungskreis verbunden (Zwischenkreis), der mit dem Strahlensystem entweder induktiv oder kapazitiv gekoppelt sein kann.
3. Tertiärkreissender: Wird zwischen dem Zwischenkreis und dem Antennenkreis (induktive oder kapazitive Kopplung) ein weiterer Schwingungskreis eingeschaltet, so entsteht der Tertiärkreissender.

(2142) Leistung eines Senders. Die Definition der Leistung eines Senders ist in den einzelnen Ländern verschieden. In Deutschland unterscheidet man: für Funktelegraphie die aufgenommene Leistung des Antennenkreises bei Dauerstrich. $N = i_A^2 \cdot W_A$, worin i_A den Antennenstrom in Ampere, W_A den Wirkwiderstand des Antennenkreises in Ohm bedeuten.

Für Funktelephoniesender errechnet man die Leistung des gleichen Senders in Telegraphieschaltung bei Dauerstrich (Maximalleistung). Von dem Office International de Radiophonie wird vorgeschlagen, die Telephonieleistung eines Röhrensenders aus dem Produkt: Anodengleichspannung mal Anodengleichstrom im unmodulierten Zustande des Senders zu berechnen.

(2143) Strahlleistung eines Senders. Die Berechnung ist unsicher und kann nicht zum Vergleich verschiedener Sender dienen, denn sie ist:

$$N_s = i_A^2 \cdot W_s, \quad (W_s = \text{Strahlwiderstand der Antenne}),$$

wobei zu berücksichtigen ist, daß der Widerstand W_A sich ergibt aus dem Strahlwiderstand W_s , den Verlustwiderständen der Antenne und der Erdung, desgleichen aus dem Verlustwiderstand der Antennensenderteile. Ferner ist maßgebend die Wellenlänge, die Kapazität und der Widerstand der Antenne.

(2144) Wirkungsgrad eines Senders. Man unterscheidet hier:

1. elektrischer Wirkungsgrad bei Dauerstrich:

$$\eta = \frac{\text{aufgenommene Energie}}{\text{zugeführte Energie}} = \frac{i_A^2 \cdot W_A}{\text{zugeführte Energie}} \quad (\text{des Senders}).$$

Bei Telegraphiesendern müssen die Taspausen berücksichtigt werden, man spricht deshalb auch von dem funktelegraphischen Wirkungsgrad. Berücksichtigt man die der gesamten Maschinenanlage zugeführte Energie, dann erhält man den:

2. wirtschaftlichen Wirkungsgrad:

$$\eta_w = \frac{i_A^2 \cdot W_s}{\text{zugeführte Energie der gesamten Sendeanlage}}.$$

(2145) Betriebsbedingungen der Sender. Die Ausstrahlung der Hochfrequenzenergie im Rhythmus verabredeter Zeichen erfolgt entweder durch Änderung der Amplitude (Änderung von Null bis Maximum) oder durch Änderung der Frequenz (wenig gebräuchlich).

Damit die Zeichen exakt ausgestrahlt werden, muß der Sender bei Tastendruck sofort mit maximaler Amplitude arbeiten, beim Loslassen der Taste muß der Antennenstrom möglichst schnell den Wert Null erreichen. Bei der Konstruktion der Schaltorgane ist zu berücksichtigen, daß diese in der Lage sein müssen, der Tastgeschwindigkeit zu folgen. Bei Sendern großer Leistung müssen Vorkehrungen getroffen werden, daß die zu tastende Energie möglichst gering ist, und daß ferner in den Tastpausen der Sender einen möglichst geringen Energieverbrauch aufweist. Die beim Tasten auftretenden Nebenerscheinungen: schädliche Spannungen (beim Röhrensender) und Frequenzänderungen (Maschinensender), sind zu vermeiden.

(2146) Tastung. Folgende Tastschaltungen sind für Sender möglich und im Gebrauch:

1. Unterbrechung der Anodengleichstromzuführung,
2. Einschalten eines Widerstandes in die Anodengleichstromleitung,
3. Tasten der Niederspannungsseite des Wechselstromgenerators in Verbindung mit Gleichrichter,
4. Kurzschließen der Rückkopplung,
5. Gittertastung mit negativer Gleichspannung und Vorschaltwiderstand,
6. Unterbrechung der Gitterzuleitung (nur bei kleinen Sendern möglich),
7. Verwendung eines Gitterkondensators an Stelle der unter 5 angegebenen Methode,
8. Tasten mit Verstimmungswelle oder Ballastkreis (z. B. bei Lichtbogen-sendern),

9. Tasten mit Drossel in einem Schwingungskreis (Pungs, Alexanderson) oder mit Tasttransformator in Verbindung mit einem Frequenzwandler (Telefunken).

(2147) Tastdrossel. Bei allen gebräuchlichen Systemen des Großmaschinen-senders erfolgt der Wechsel zwischen Strich und Pause durch Ändern der Selbst-induktion einer Eisendrossel, die in die Abstimmkreise eingeschaltet ist. Dazu wird die Eigenschaft des Eisens benutzt, seine Permeabilität bei verschiedener Gleichstromsättigung zu ändern.

Je nach der Wirkung der Tastdrossel auf die Hochfrequenzkreise des Senders unterscheiden wir im Prinzip zwei verschiedene Tastmethoden. Bei Reihentastung liegt die Tastdrossel in Reihe mit anderen Abstimmgliedern des Senders. Gewöhnlich ist der Tastdrosselkreis so abgestimmt, daß bei voller Gleichstrom-sättigung, d. i. bei kleiner Induktivität der Tastdrossel, Strom in der Antenne fließt. Wird der Sättigungsstrom der Tastdrossel weggenommen oder stark verkleinert, so wird der induktive Widerstand, auf den die Spannungsquelle arbeitet, so groß, daß die Antennenleistung verschwindet. Die von Telefunken gebauten Maschinensender arbeiten meistens mit Reihentastung. — Die zweite Art ist die Paralleltastung. Die Tastdrossel liegt hier parallel zum Generator oder zum Verbraucher (Antenne). Bei weggenommener Gleichstromsättigung stellt sie im Vergleich zum Nutzwiderstand einen so hohen Widerstand dar, daß nur ein kleiner Strom durch sie hindurchgeht, und der Hauptkreis nicht wesentlich beeinflußt wird. Gibt man Gleichstromsättigung, so wird der induktive Widerstand der Tastdrossel so klein, daß die Spannungsquelle kurzgeschlossen erscheint. Die Wirkung wird noch kräftiger, wenn man die restliche Induktivität durch eine entsprechende Kapazität kompensiert. Nach dieser Methode wurden die Sender der französischen und amerikanischen Großstationen getestet.

Für den Entwurf der Tastdrossel ist für beide Arten der Tastung folgendes zu beachten: Ist die Gleichstromsättigung weggenommen, so liegt an der Tastdrossel eine Spannung, die ungefähr so groß ist, wie die Wirkspannung in dem betrachteten Kreise. Der Wechselstrom ist ein Minimum. Gibt man Gleichstromsättigung, so fällt die Spannung an der Tastdrossel und steigt der Strom. Eine Tastdrossel arbeitet dann gut, wenn man für alle Gleichstromsättigungen auf dem geradlinigen Teil der Stromspannungscharakteristik arbeitet; das wird,

abgesehen von kleinen Gleichstromsättigungen, dann der Fall sein, wenn die Wechselstromamperewindungen wesentlich kleiner als die Gleichstromamperewindungen sind.

Von großer Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit einer Großstation ist die Möglichkeit, hohe Wortgeschwindigkeiten zu erzielen. Um einen raschen Anstieg der Zeichen zu erreichen, muß die Zeitkonstante der Gleichstromwicklung der Tasterdrossel möglichst klein gemacht werden. Zu diesem Zweck hat man vor allem danach zu trachten, mit einem möglichst kleinen Eisenvolumen auszukommen. Bei gegebenem Eisenvolumen kann man die Zeitkonstante durch Vergrößerung der Gleichstromtastleistung verkleinern. Das kann entweder durch Verkleinerung der Windungszahl, bei entsprechender Vergrößerung des Stromes oder durch Vorschalten von Widerständen bei Erhöhung der aufgewandten Spannung erfolgen. Damit an der Gleichstromwicklung keine hohen Hochfrequenzspannungen entstehen, ist das Eisen auf 2 gleichgroße Kerne aufzuteilen, denen die Gleichstromwicklung gemeinsam ist. Die Wechselstromwicklungen der beiden Kerne sind so geschaltet, daß die in der Gleichstromwicklung induzierten Spannungen einander aufheben. Um die Überspannungen zu verkleinern, die durch das Unterbrechen des Gleichstromes beim Tasten hervorgerufen werden, werden zur Gleichstromwicklung Kondensatoren und Widerstände parallel gelegt.

Bei der Konstruktion ist vor allem auf eine gute Abfuhr der Verlustwärme des Eisens zu achten. Die Drossel wird in einen Ölbehälter eingebaut. Um Verluste in Stoßfugen zu vermeiden, sind die Eisenkörper am besten aus Blechringen zusammenzusetzen. Um die abkühlende Oberfläche möglichst groß zu machen, ist das Eisenpaket zu unterteilen. Am günstigsten für den Umlauf des Öls wirkt eine Anordnung mit senkrechter Achse (Schornsteinwirkung).

(2148) Die Konstanthaltung der Frequenz ist für einen störungsfreien Senderbetrieb neben der Resonanzschärfe unbedingt erforderlich. Sofern Frequenzänderungen auftreten, können folgende Ursachen hierfür maßgebend sein: Veränderung der Kapazität bzw. Selbstinduktion infolge Erwärmung, Änderung der Antennenkapazität durch den Winddruck und Widerstandsänderung des Antennenkreises (z. B. Erdwiderstand). Ferner sind zu beachten: Netzschwankungen, welche die gesamte Einstellung unter Umständen beeinflussen, ferner die Einstellung der Abstimmorgane selbst (z. B. zu feste Kopplung) und die kapazitive Beeinflussung von Senderteilen (besonders bei niederen Wellen). Vgl. (2118).

(2149) Oberwellen. Es ist zu vermeiden, daß neben der Sendergrundfrequenz noch die Harmonischen entstehen bzw. ausgestrahlt werden. Mittel zur Beseitigung derartiger Oberwellen sind: Zwischenkreise, Kettenleiter, Sperrkreise, Drosselketten und Siebketten (2119).

(2150) Allgemeine Anordnung. Für die Projektierung von Sendestationen hoher Leistung gelten im Prinzip dieselben Gesichtspunkte wie für den Entwurf von Starkstromumformerwerken und Hochspannungsschaltanlagen. Es erscheint zweckmäßig, die Maschinenanlagen von den Hochfrequenzanlagen räumlich zu trennen, ebenso die Teile des Senders, die die hohe Antennenspannung führen (Verlängerungsspulen), von den übrigen Teilen des Senders. Um die Bedienung des Senders möglichst übersichtlich und einfach zu gestalten, wird man die Instrumente und Schalter, die beim Abstimmen und Bedienen des Senders beobachtet bzw. bedient werden müssen, auf einen möglichst kleinen Raum zusammenbauen, der beim Abstimmen leicht übersehen werden kann. Die anderen Instrumente und Schalter, vor allem für die Bedienung der Primäranlagen (Verteiler und Anlasser), können auf getrennten Schalttafeln oder Pulten untergebracht werden. Die einzelnen Teile des Senders sind so anzuordnen, daß der Schaltungsverlauf leicht zu verfolgen ist; ein Hin- und Rückführen der Leitungen ist möglichst zu vermeiden. Als Zuleitungen sind am besten Kupferrohre zu verwenden, die möglichst frei und entfernt von verlustbringenden Teilen zu verlegen sind.

(2151) Die einzelnen Abstimmglieder. Kondensatoren [Grundlagen und Materialdaten (52, 49, 58 f.)]. Im allgemeinen sind für Sendezwecke folgende Kondensator Konstruktionen in Benutzung:

1. Leydener Flasche. Es wird die langgestreckte Form benutzt, die eine verringerte Sprühwirkung zeigt. Ihr Nachteil ist die große Zerbrechlichkeit (Ausführung von 150 . . . 15000 μF).

2. Moscickikondensator (vgl. ETZ 1904, S. 527). Vorteil: Reduktion der Sprühverluste, galvanisch aufgebraute Metallbeläge und somit Vermeidung von Luftblasen mit Glimmerscheinungen.

3. Glasplattenkondensatoren (Minosplattenverdichter von Schott & Gen., Glaswerk Jena. Als Dielektrikum kommt ein Spezialglas zur Anwendung (Ausführung von 100 . . . 44000 μF).

4. Glimmerkondensatoren (als Spezialausführung: Dubilierkondensator der Dubilier-Gesellschaft, New York).

5. Ölkondensatoren. Die Plattensätze bestehen gewöhnlich aus gewelltem Blech.

6. Preßgaskondensatoren. Sie werden als Zylinder- oder Plattenkondensatoren ausgebildet. Vgl. M. Wien, Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 1, S. 475. 1908. — Ann. d. Phys. Bd. 29, S. 679. 1909.

Man unterscheidet: feste, kontinuierlich veränderliche und stufenförmig veränderliche Kondensatoren.

Für Sendekondensatoren gelten folgende Bedingungen:

1. Hohe Spannungsbelastbarkeit (Durchschlagsfestigkeit),
2. geringe Verluste durch Oberflächenleitung,
3. geringe dielektrische Verluste,
4. Vermeidung von Sprüh- oder Glimmverlusten.

Literatur: AEG: Kondensator DRP 221037, 224441, 224768. — Austin, L. W.: Die Energieverluste in einigen in Hochfrequenzkreisen benutzten Kondensatoren. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 7, S. 222. 1913. — Fessenden, R. A.: El. Kondensator, insbesondere für die Zwecke der drahtl. Telegraphie (Preßgaskondensator), DRP 171117. — Ders.: Drahtl. Telegraphie. ETZ 1905, S. 950; Electrician Bd. 55, S. 795. 1905. — Fischer, K.: Starkstromkondensatoren System Meirowsky. ETZ 1909, S. 601. — Gesellschaft f. drahtl. Telegr.: El. Kondensator aus konzentrisch ineinander angeordneten Leydener Flaschen bestehend, DRP 190271. — Giles, G.: El. Kondensator, DRP 291923. — Kuria, J.: El. Kondensator, DRP 223508. — Moscicki, J.: Über Hochspannungskondensatoren. ETZ 1904, S. 527. — Tesla, N.: Erster variabler Kondensator mit Öldielektrikum, USP 464667.

Für besondere Zwecke, wie Sperrung von Wechselstromkreisen für Gleichstrom (Blockkondensatoren), als Hochfrequenzsicherungen, als Funkenlöschkondensatoren kommen noch Papierkondensatoren in Anwendung (Ausführung von 0,01 . . . 10 μF) für Betriebsspannungen bis zu 500 V.

Für Betriebsspannungen bis zu 25 kV werden Hartpapierkondensatoren von Meirowsky & Co., Porz a. Rh., verwandt.

(2152) Kondensatoren für die Abstimmkreise der Maschinensender. Für die Abstimmkreise von Maschinensendern hoher Leistung sind Kondensatoren notwendig, die bei kleinen Verlusten eine hohe Blindleistung aufnehmen können. Es sind verschiedene Konstruktionen bekannt geworden.

Bei den alten Konstruktionen von Telefunken werden Glasplatten mit Metallfolien verwendet, die in gußeiserne Kästen eingebaut werden. Zur Kühlung und zur besseren Isolation werden die Kästen mit Öl gefüllt. Besser eignet sich als dielektrisches Material Glimmer, das bei den langen Großstationswellen praktisch verlustlos ist. Die Dubilier-Gesellschaft führt Glimmerkondensatoren für hohe Leistungen aus. Diese Kondensatoren sind aus einzelnen Paketen zusammengesetzt, die aus dünnen Glimmerblättchen mit Zwischenlagen aus Blei bestehen und unter hohem Druck zusammengepreßt werden. Die Pakete können beliebig zusammengeschaltet werden und sind in einem Aluminiumkasten untergebracht, der entweder mit einer Art Paraffin ausgegossen oder mit Öl gefüllt wird. Ein Pol des Kondensators ist an das Gehäuse des Kastens, der andere

über eine Durchführung an eine besondere Klemme angeschlossen. — Bei den Kondensatoren der Lorenz A.-G. wird ebenfalls Glimmer als Dielektrikum verwendet.

(2153) Spulen [Berechnungsformeln (109, 110)]. Neben den Kondensatoren bilden die erforderlichen Spulen einen wesentlichen Bestandteil aller Sendereinrichtungen. Man unterscheidet feste und veränderliche Spulen. Die Gesamtverluste entstehen durch Wirbelströme (Hautwirkung) und dielektrische Hysterese.

Die Wirbelströme (117 . . . 121) entstehen durch Unsymmetrie der Stromamplitude und durch Querströme im Leiter. Aus diesem Grunde benutzt man entweder voneinander isolierte Leiter, Röhre oder Metallbänder. Infolge der Wirbelströme wird der Ohmsche Widerstand vergrößert. Nach P. Drude (1894) ist:

$$\delta = k\sqrt{\lambda},$$

δ = Eindringtiefe der Welle in den Leiter, λ = Wellenlänge, k = Konstante in bezug auf Leitermaterial. Die dielektrische Hysterese ist abhängig von der Spulenform bzw. von der Feldverteilung. Ferner ist maßgebend das Haltematerial für die Windungen.

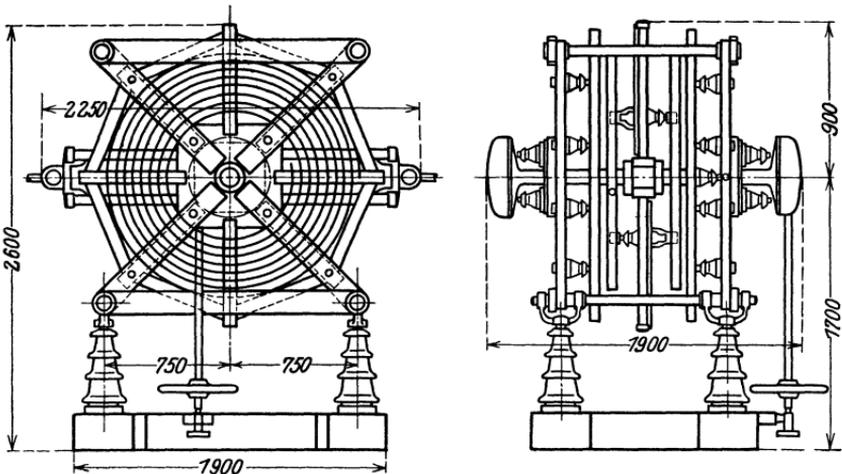


Abb. 1409. Spulenordnung.

(2154) Konstruktion der Spulen. Da ein beträchtlicher Teil der gesamten Antennenverluste in den Verlängerungsmitteln entsteht, ist bei der Konstruktion von Spulen für hohe Blindleistungen besonderes Augenmerk auf die Verminderung der Verluste zu richten. Dies wird vor allem durch richtige Wahl des Stromleiters erreicht; es ist ferner darauf zu achten, daß metallische Konstruktionsteile (z. B. Anschlußklemmen) nicht im starken magnetischen Feld liegen. Bei der Aufstellung der Spulen ist zu beachten, daß sich in der Nähe keine Metallteile, wie eiserne Träger oder dergleichen, befinden. Für die Beurteilung der Güte einer Spule kann man das Verhältnis der Verlustleistung zur Scheinleistung bzw. des Ohmschen zum induktiven Widerstand benutzen. Dieses Verhältnis schwankt je nach dem verwendeten Leiter für die gebräuchlichen Großstationswellen zwischen $0,5 \cdot 10^{-3}$ bis $4 \cdot 10^{-3}$. Die größeren Werte gelten für Spulen mit Kupferrohr und Kupferband als Leiter, die kleineren für Litzenspulen. Besonders klein werden die Verluste, wenn als Leiter Spezialkabel verwendet werden, bei denen Hochfrequenzlitzten um einen Kern aus Jute oder Baumwolle verdreht werden (Verlängerungsspulen in Nauen).

Um die Selbstinduktion für das Abstimmen der Antenne kontinuierlich veränderbar zu machen, sind verschiedene Konstruktionen möglich. Bei Flachspulen aus Kupferband werden an Armen, die um die Spulenchse drehbar sind, Schleifkontakte vorgesehen. Der Antrieb der Arme erfolgt am besten motorisch.

Eine weitere, für Flach- und Zylinderspulen anwendbare Möglichkeit ist die Unterteilung der Spulen in zwei oder mehr Teile, die gegeneinander verschiebbar sind. Um eine wirksame Änderung zu erreichen, ist der äußerste Abstand bei Zylinderspulen mindestens so groß zu machen, wie die Länge der einzelnen Teile (Abb. 1409). Die Litzenspulen der Zwischen- und Antennenkreise in Nauen sind auf diese Art gebaut. Alexanderson verwendet als Variometer sogenannte Kugelvariometer, die aus zwei konzentrischen Teilen bestehen, deren einer drehbar angeordnet ist. Diese Ausführung hat den Vorteil, daß das nach außen streuende Feld gering ist. Die konstruktive Durchbildung wird allerdings schwierig.

(2155) Ausgeführte Formen. Folgende Konstruktionen der Spulen für Sendezwecke sind in Anwendung:

a) Feste Anordnungen:

1. Zylinderspulen,
2. Flachspulen aus Bandkupfer,
3. Flachspulen mit zwischen Isolierstäbe geflochtenem Kupferlitzendraht (O. Scheller-Rein),
- 4) mehrlagige Litzleiterspulen von A. Meißner (Telefunken);

b) veränderliche Anordnungen:

1. Schiebepulen (Arco),
2. Spiralbandvariometer,
3. Flachbandvariometer (Telefunken),
4. Selbstinduktionsvariometer mit in- oder gegeneinander verschiebbaren Zylinderspulen,
5. Selbstinduktionsvariometer mit kugelkalottenförmigen Wicklungskörpern,
6. Flachspulenvariometer (H. Rendahl),
7. Klappvariometer (C. Lorenz A.G.),
8. Tauchvariometer (Telefunken und C. Lorenz A.G.),
9. Zylinderspulenvariometer (C. Lorenz A.G.).

Literatur: Boas, H.: Verfahren zur Herstellung von Flachspulen aus bandförmigen Leitern für Zwecke der Erzeugung schneller Schwingungen, besonders aber in der drahtlosen Telegraphie. DRP 273533. — Eichhorn, G.: Schiebepulen. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 7, S. 77. 1913. — Eisenstein, S.: Variable Selbstinduktion für die Zwecke der drahtlosen Telegraphie bzw. Telephonie. DRP 204390. — Esau, A.: Widerstand u. Selbstinduktion von Spulen für Wechselstrom. Ann. Physik Bd. 34, S. 57, 81, 547. 1911; Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 5, S. 490. 1910/11. — Ders.: Über den Selbstinduktionskoeffizienten von Flachspulen. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 5, S. 212. 1911. — Ders.: Über die Berechnung des Selbstinduktionskoeffizienten einlagiger Zylinderspulen. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 5, S. 378, 1911/12. — Ferrié, G.: Verfahren und Vorrichtung zum Regeln der Selbstinduktion eines Stromkreises, der von Stromen hoher Wechselzahl durchflossen wird. DRP 186368. — Ges. f. drahtl. Telegraphie: Vorrichtung zur Veränderung der Eigenschwingung der Sende- und Empfangsantennen für drahtlose Telegraphie. Selbstinduktionsvariationen von Spulen durch verschiedene Kontakteisten. DRP 184387. — Spule für die in der drahtlosen Telegraphie angewandten elektrischen Wechselströme hoher Frequenz. DRP 191888. — Aus Litze gewickelte Spulen für drahtlose Telegraphie. DRP 166946, DRP 216811, DRP 218214, DRP 219080. — Variometer für Großstationen der drahtlosen Telegraphie. DRP 284545. — Wickelleiter für Spulen der Hochfrequenztechnik. DRP 213838. — Starkstromvariometer für el. Schwingungen. DRP 220802. — Veränderliche Selbstinduktion, insbesondere für die Zwecke der drahtlosen Telegraphie. DRP 249627. — Vorrichtung zur stetigen Änderung der Selbstinduktion, insbesondere für die Zwecke der Hochfrequenztechnik. DRP 254242. — Schwingungskreis mit einer veränderlichen und einer stufenweise veränderlichen elektrischen Größe. DRP 270377. — Verfahren zur Herstellung von Spulen für Sendestationen der drahtlosen Telegraphie. DRP 285424. — Starkstromvariometer. DRP 292027. — Stromabnehmer für Selbstinduktionsspulen. DRP 293098. — Huth, E. F., G. m. b. H. u. Rotgardt, K.: Spulenanordnung für die Zwecke der drahtlosen Telegraphie zur Verwendung im primären Stoßkreis einer Senderanlage. DRP 291459. — Huth, E. F., G. m. b. H. u. Loewe, S.: Veränderliche Selbstinduktion. DRP 292925. — Lorenz, C.,

A.G.: Spule für die Zwecke der Hochfrequenztechnik. DRP 200011. — Koppelungs- vorrichtung für Hochfrequenzströme. DRP 213128. — Vorrichtung zur stetigen Veränderung der Großen el. Schwingungskreise. DRP 218574. — Einrichtung zur Veränderung der Koppelung bzw. der Selbstinduktion el. Schwingungssysteme, Zylinderspulenvariometer bzw. Koppelungseinrichtung. DRP 221939, DRP 227943. — Meißner, A.: Über die Kon- struktion von Spulen der Hochfrequenz und ihre Verwendung. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 3, S. 57. 1909. — Möller, H. G.: Über die Leistungsfähigkeit von Litzenspulen. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 9, S. 32. 1914/15. — Polyfrequenz, El. Ges. m. b. H.: Vorrichtung zum Bewegen eines Schleifkontaktes auf einer Spiralbahn. DRP 220676. — Schiefer- stein, G.: Vorrichtung zur kontinuierlichen Änderung der Selbstinduktion eines el. Schwingungskreises, DRP 230188. — Vorrichtung zur stetigen Änderung der Induktivität eines Schwingungskreises. DRP 293458. — Vos, M.: Über Spulen mit geringer Dämpfung. Verh. d. deutsch. physikal. Gesellschaft Bd. 14, S. 683.

(2156) Tonfunkensender. Die früher als Spannungsquelle benutzten Reso- nanzinduktoren sind durch Transformatoren mit eisengeschlossenem magneti- schen Kreis ersetzt worden (Spannungen von 3 bis 70 kV). In dem Primärkreis (zwischen Maschine und Transformator) befindet sich die Tondrossel (veränder- liche Selbstinduktion), mit verschiebbarem Eisenkern (vgl. Abb. 681, 682, 683). Diese Drossel dient zum Einstellen der Resonanz im Niederfrequenzkreis und der Tonreinheit.

Bei besonders konstruierten Wechselstrommaschinen kann die Drossel in Wegfall kommen.

Bei kleineren Sendern liegt die Funkenstrecke parallel zum Transformator, bei größeren Sendern dagegen parallel zum Stoßkreiscondensator ($4 \cdot 10^3$ cm ... $1 \cdot 10^5$ cm Kapazität je nach Größe der Sender).

(2157) Ausfühungsformen. Die Tonfunkensender werden in zwei Konstru- tionen ausgeführt: erstens als Wienscher Sender mit Löschfunkenstrecke (vgl. Abb. 681, 682), zweitens als Sender mit rotierender Funkenstrecke (vgl. Abb. 687). Beide Arten unterscheiden sich im Ton.

Als Stromquellen kommen Mittelfrequenzmaschinen (von 200 bis 1000 Per/s) in Anwendung. Schiffsnotsender benutzen Akkumulatorenbatterien mit rotieren- dem Unterbrecher und Transformator bzw. bei älteren Ausführungen Funkeninduktor.

Schaltungen von Löschfunkensendern sind bereits in (1159)...(1162) angegeben.

Infolge der Funkenstrecke hat der Stoßkreis eine beträchtliche Dämpfung. Als Kondensa- toren kommen für den Stoßkreis in Anwendung: Leydener Flaschen, Glasplattenkondensatoren, Paraffinpapierkondensatoren, Glimmerkondensatoren.

Der Antennenkreis wird häufig direkt, selten induktiv gekoppelt.

Die Tastung erfolgt meistens auf der Niederspannungsseite. Bei Sendern großer Lei- stung kann man auch Tastrelais verwenden.

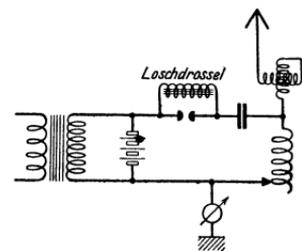


Abb. 1410. Löschfunkensender mit Löschdrossel (C. Lorenz A.-G.)

Die Reinhaltung des Tones (Vermeidung von Partialfunken) wird durch die Funkenstrecke bedingt. Ferner kommen in Anwendung von der C. Lorenz A.G. die Löschdrossel (Abb. 1410), von Telefunken die Hilfszündung (vgl. Abb. 682).

(2158) Einstellung der Löschfunkensender. Bedingung für den Betrieb ist möglichste Reinheit des Tones. Diese Forderung wird erreicht durch:

1. Resonanz der Niederfrequenzkreise des Transformators mit der Perioden- zahl des Generators,
2. Resonanz zwischen Stoßkreis und Antenne,
3. richtige Wahl der Koppelung dieser Kreise,
4. Vermeidung von Partialfunken,
5. Vermeidung von sich überlappenden Wellenzügen.

Die Hilfsmittel, welche für die Einstellung auf Tonreinheit Anwendung fin- den, sind der Tonschieber und die Tondrossel (eine im Maschinenkreise lie-

gende Eisendrossel, zuweilen veränderlich), zum Erkennen der Tonreinheit benutzt man den Tonprüfer (aperiodischer Detektorkreis zum Abhören unmittelbar am Sender), den Schwingungsprüfer (Entladungsanalysator nach J. A. Fleming¹). Dieser Apparat besteht aus einer Geißlerschen Röhre (Helium- oder Neonfüllung), welche durch Schleifringe vom Meßkreise erregt wird und auf einer Drehscheibe mit Motorantrieb sitzt. Die Tourenzahl des Motors wird so einreguliert, daß das Entladungsbild stillzustehen scheint. Die Zahl der leuchtenden Radien mal der Tourenzahl der Scheibe ergibt die Entladungszahl. Schädliche Partialentladungen sind daher sofort zu erkennen. Ein weiterer Prüfer ist der Tonzeiger, ein Gleichstrommesser für kleine Ströme in der Ladeleitung der Stoßkreis Kapazität, welcher bei Tonreinheit keinen Ausschlag zeigen darf.

(2159) Veltensender. Als Stromquellen kommen, wie bei den tönenden Löschfunkensendern, Gleich- oder Wechselstromgeneratoren in Anwendung. Die Funkenstrecken sind von besonderer Konstruktion (Scheller). Die Elektroden haben kugelförmige Flächen. Durch einen Tropföler wird der Funkenstrecke Spiritus zugeführt; dadurch wird die Löschfähigkeit des Funkens erhöht.

Für die Erzeugung besonders hoher Funkenzahlen benutzt man zur Aufladung des Stoßkreis Kondensators Gleichstrom. Bedingung ist jedoch, daß der Gleichstromkreis und die Drossel möglichst verlustfrei sind (oszillatorische Aufladung). Die Kondensatorspannung steigt etwa auf den doppelten Betrag der Gleichspannung. Die Funkenstrecke ist dementsprechend einzustellen.

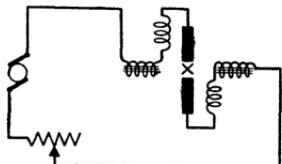


Abb. 1411. Schaltung des selbst-
erregten Lichtbogensenders.

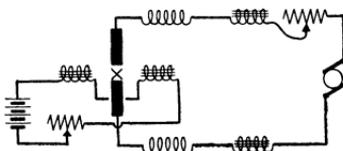


Abb. 1412. Schaltung des fremderregten
Lichtbogensenders.

(2160) Lichtbogensender. Die Erzeugung hochfrequenter Wechselströme mit Hilfe des Lichtbogensenders, desgleichen die Literaturangaben (1165 u. f.).

Die Gleichstromseite wird von Generatoren mit 400...1200 V Spannung gebildet (bei den höheren Spannungen mehrere Kollektoren verwenden). Meistens werden diese Maschinen fremderregt. Die Kompoundschaltung, welche teilweise auch Anwendung findet, bietet keinerlei Vorteile. Man unterscheidet:

1. Schaltung bei selbsterregtem Sender (Abb. 1411),
2. Schaltung bei fremderregtem Sender (Abb. 1412).

1. Schaltungen. Wird der Lichtbogen direkt in den Antennenkreis geschaltet (Abb. 1413), dann erhält man die einfachste Senderschaltung mit Lichtbogen für ungedämpfte Schwingungen. Nach C. Lorenz A.G. und Elwell wird parallel zum Lichtbogen ein Kondensator (= Antennenkapazität) geschaltet. Dadurch wird ein gleichmäßiges und ruhiges Brennen des Lichtbogens erreicht. Der Wirkungsgrad beträgt in dieser Schaltung 50 vH (vgl. H. Rein: Lehrbuch der drahtlosen Telegraphie. S. 182. 1917).

Für Lichtbogengeneratoren großer Energie sind verschiedene Schaltanordnungen gebräuchlich. Wie Poulsen und Pedersen 1913 gezeigt haben, ist es möglich, zwei oder mehrere Lichtbogen parallel arbeiten zu lassen, sofern Sorge getragen wird, daß deren Phase gleich ist (Abb. 1414). Eine außerordentliche Verbesserung des Gesamtwirkungsgrades bis zu etwa 70 vH stellt die Poulsgeneratorschaltung von R. Hartenstein (C. Lorenz A.G.) dar (Abb. 1415). Der Parallelkondensator hat etwa die funffache Größe der Antennenkapazität.

¹) Fleming, J. A : Jahrb. drahtl. Electr. Bd. 1, S. 68. 1907.

Für Wellenlängen bis herunter auf 800 m ist die Schaltung von R. Herzog (1918) der C. Lorenz A.G. gebräuchlich. Man ist hier nicht an eine minimale Antennenkapazität gebunden, außerdem ist bei gleichem Wirkungsgrad das Arbeiten des Generators wesentlich konstanter (Abb. 1416). Zur Vermeidung von Oberwellen wird ein Zwischenkreis benutzt, der ebenfalls das „Rauschen“ beseitigen soll. Weitere Mittel hiergegen sind: Fremderregung des Magnetfeldes und Einschaltung eines Absorptionskreises (C. Lorenz A.G.).

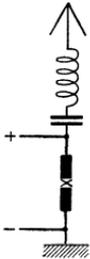


Abb. 1413.
Lichtbogen direkt geschaltet.

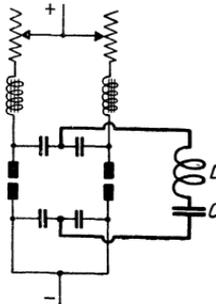


Abb. 1414. Parallelschaltung von Lichtbogen-Generatoren nach Poulsen-Pedersen.

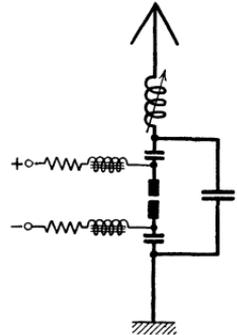


Abb. 1415. Poulsengeneratorschaltung nach R. Hartenstein (Energieschaltung).

2. Tastung. Da der Lichtbogen durch Tasten nicht gezündet werden kann (Bogenlampe), so müssen die Tastanordnungen so beschaffen sein, daß der Hochfrequenzstrom beeinflußt wird. Infolgedessen ergeben sich folgende Methoden:

a) Verstimmungswelle (Abb. 1417): Ein Teil der Antennenselbstinduktion wird kurzgeschlossen und damit λ verändert. Während der Pausen wird also eine Verstimmungswelle ausgesendet.

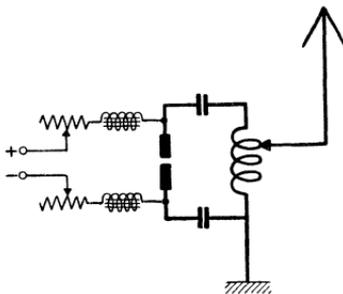


Abb. 1416. Poulsengeneratorschaltung von R. Herzog (Energieschaltung).

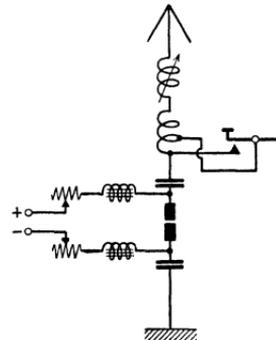


Abb. 1417. Tasten mit Verstimmungswelle.

b) Tastkreis (Abb. 1418): Es wird ein künstlicher Ballastkreis eingeschaltet, so daß die Antenne nicht strahlt.

Nach Einführung der Schnelltelegraphie mußten jedoch diese beiden Tastmethoden infolge der notwendigen schweren Relais verlassen werden.

c) Steuerdrossel. Dieses Verfahren hat den Vorteil, daß der Antennenstrom vollkommen auf Null gebracht werden kann, also ohne Vorstimmung und zweite Welle. Dieses System ist seit 1920 bei der Reichsfunkstelle Königswusterhausen in Betrieb. Die Steuerdrossel ist besonders zum Schnelltasten geeignet

(vgl. J. Pungs: Die Steuerung von Hochfrequenzströmen durch Eisendrosseln mit überlagerter Magnetisierung, ETZ 1923, Heft 4). — Unter Benutzung der Tastschaltung mit künstlicher Belastung wurde von F. Dyrna 1912 das gleichzeitige Senden von mehreren (zwei) Telegrammen ausgearbeitet (Abb. 1419). Zur Anwendung kommt eine Kollektorscheibe, welche nacheinander verschiedene künstliche Antennen (Selbstinduktionen oder Kapazitäten) in die Antenne (natürliche) einschaltet. In den verschiedenen Zuleitungen liegen Taster, welche beim Niederdrücken die künstlichen Belastungen kurzschließen. Bei dieser Methode wird von der Antenne ein Wellenspektrum ausgestrahlt. Die einzelnen Wellen (in Abb. 1419 zwei) werden getastet.

Bei kleineren Sendern kann nach Konstruktionen von der Federal Telegraph Co. eine Tastung mittels Zündelektrode erfolgen, so daß der Lichtbogen in den Ruhepausen zum Erlöschen kommt.

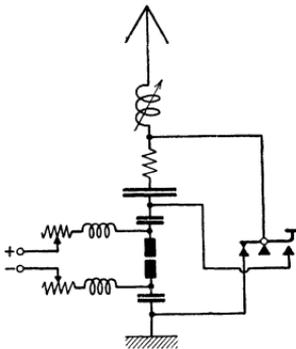


Abb. 1418. Tasten mit Tastkreis.

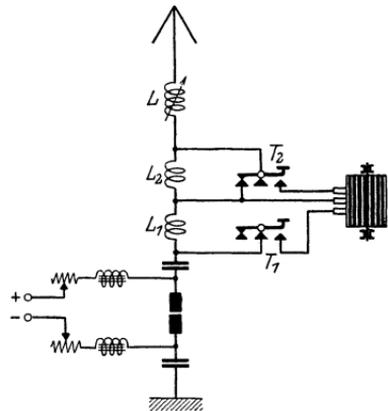


Abb. 1419. Anordnung für Mehrfachsenden nach F. Dyrna.

3. Die Flammenkammer ist doppelwandig ausgeführt, damit die Wasserkühlung vorgesehen werden kann. Vor Inbetriebnahme ist stets die Wasserkühlung einzuschalten (neuerdings Blockierung!). Ein Wasserdruckrelais schaltet die Hochspannung ab, sobald der Wasserdruck zu gering wird.

4. Das Magnetfeld wird von geeignet bemessenen Spulen erzeugt, die zu beiden Seiten der Flammenkammer sitzen. Die Achsen der Eisenkerne sind im allgemeinen wagrecht angeordnet. Der Kern des Magnetgestells ist bei den kleineren Typen voll, bei den größeren aus Eisenplatten hergestellt.

5. Die Wasserstoffatmosphäre entsteht dadurch, daß aus dem über dem Lichtbogen befindlichen Gefäß ständig Spiritus auf die heiße Kupferelektrode tropft, sofort verdampft und zersetzt wird. Da die Ionen des Wasserstoffs sehr beweglich sind, so werden sie durch das Magnetfeld aus den Elektrodenzwischenräumen leichter entfernt. Die Löschung des Bogens kann infolgedessen sehr scharf erfolgen.

Der Abbrand der Kohle wird durch einen besonderen Kohledrehmotor geregelt, welcher die Kohlelektrode langsam um ihre Achse dreht, so daß immer frische Stellen dieser Elektrode zum Abbrand kommen. Aus diesem Grunde ändert sich die Länge des Lichtbogens wenig.

6. Automatische Zündung. Um ein Abreißen des Bogens zu verhindern, führt die Firma C. Lorenz die Sender mit automatischer Zündung aus. Diese wird erreicht durch ein magnetisches Nebenschlußrelais, das vom Magnetisierungsstrom beeinflusst wird und das Zündrelais steuert. Das magnetische

Nebenschlußrelais arbeitet gleichzeitig noch mit einem anderen Relais zusammen, welches zur Vermeidung eines Kurzschlusses beim Zünden des Lichtbogens in Tätigkeit tritt.

7. Kontrollinstrumente. Zur Überwachung des Senders werden folgende Instrumente benötigt: Spannungs- und Strommesser für die Maschinen, Strommesser für die Antenne und den Zwischenkreis, desgleichen ein Schwingungsprüfer (Entladungsanalysator nach Fleming).

Über Größenbemessung, Wellenkonstanz und besondere Vorzüge des Lichtbogensenders vgl. (1170...1172).

8. Ausführungsformen. In Deutschland werden Lichtbogensender ausschließlich von der Firma C. Lorenz gebaut, welche im Jahre 1906 die Poulsenpatente für Deutschland erwarb. In England werden Lichtbogensender von der Firma C. F. Elwell, London, hergestellt (Lyon, Rom, Abu Zabal).

In Amerika werden die Poulsenpatente von der Federal Telegraph Company verwertet. Holland besitzt in Malabar (Java) den größten Lichtbogensender mit einer Leistungsaufnahme von 2800...3600 kW.

(2161) Hochfrequenzmaschinensender. Allgemeines. Derartige Sender bestehen aus: Hochfrequenzmaschine mit Antriebsmotor, Frequenzwandler (nur bedingt), Abstimmkreisen, Antennenkreis (für Ausstrahlung). Über Abstimmglieder vgl. (2151) bis (2155).

Im allgemeinen liefern die Hochfrequenzmaschinen Wechselströme von einer Frequenz 5000...30000 Hz bzw. 100000 Hz (Alexanderson). Die Anker bestehen aus dünnen Blechen (hochlegiertes Eisen). Vgl. H. Freese: Legierungen mit besonderen magnetischen Eigenschaften. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 27, S. 86, 1926. Folgende Blechstärken werden verwandt: 0,01 mm, 0,015 mm, 0,025 mm, 0,06 mm, 0,07 mm, 0,1 mm. Derartiges Eisenblech kommt auch für Tastdrosseln und Frequenzwandler in Anwendung. — Näheres über Tastdrosseln (2147).

(2162) Alexanderson-Maschine. Die Alexanderson-Maschine der Radio-Corporation of America wird nach der Gleichpoltyp hergestellt. Der Anker enthält zwei Hochfrequenzwicklungen (je 32 voneinander getrennte Abschnitte). Das Magnetrad rotiert zwischen den beiden Ankerhälften.

Die Alexanderson-Maschine arbeitet zusammen mit zwei Hochfrequenztransformatoren, welche sich oberhalb der Maschine befinden (General Electric Company). Die Drehzahlregelung wird erreicht, indem sich Drosselspulen in der Zuleitung des Antriebsmotors befinden. Sie besitzen Gleichstromvormagnetisierung, welche durch einen Hilfskreis geändert werden kann, indem dieser (durch einen Röhrengleichrichter) durch die Hochfrequenzmaschine selbst bzw. durch die Sendefolge der Morsezeichen gesteuert wird. Die Tastung erfolgt durch Tastdrosseln.

(2163) Hochfrequenzmaschinensender der Société Française Radio-Electrique. Diese Maschinen werden nach Gleichpoltyp gebaut; der Ständer besitzt Zickzackwicklung. Da die Nutenzahl des Ständers sich zu der des Läufers wie 2 zu 3 verhält, entstehen in der Ständerwicklung drei Spannungswellen, welche um 120° gegeneinander phasenverschoben sind. Die Läuferzähne sind so konstruiert, daß künstlich Oberschwingungen entstehen, welche benutzt werden. Die Tastung erfolgt durch Kurzschließen der Hochfrequenzmaschine. Zur Drehzahlregelung wird ein Zentrifugalregler benutzt, welcher den Erregerkreis des Antriebsmotors betätigt.

Die Maschinen werden für 25, 50, 250 und 500 kW gebaut. Die normale Frequenz schwankt zwischen 15000 (500 kW) und 32400 (25 kW) Hz, die Drehzahl zwischen 2500 (500 kW) und 6000 (25 kW).

(2164) Hochfrequenzmaschinensender von R. Goldschmidt. Die Frequenzerhöhung findet hier nach folgendem System (Reflexionsprinzip) statt: Der Stator wird mit Gleichstrom gespeist und erzeugt daher im Rotor eine Wechselspannung von 10000 Hz. Der Rotor trägt eine Wicklung, die einem Schwingungskreise

von dieser Frequenz angehört, so daß in ihr 10000 periodiger Wechselstrom schwingt. Dieser erzeugt im Stator Wechselspannung von 20000 Hz, die in einem hierauf abgestimmten Kreise Wechselstrom von dieser doppelten Frequenz erzeugt und damit im Läufer Wechselspannung von 30000 Hz; und in einer vierten Stufe werden nochmals 10000 Hz hinzugefügt, also 40000 Hz erreicht, das ist eine Welle von 7,5 km Länge (1219,1). Die Tastung erfolgt zweckmäßig mit Steuerdrossel, die hier nicht in der Antenne liegt, sondern in einem der Abstimmkreise (Abb. 1420).

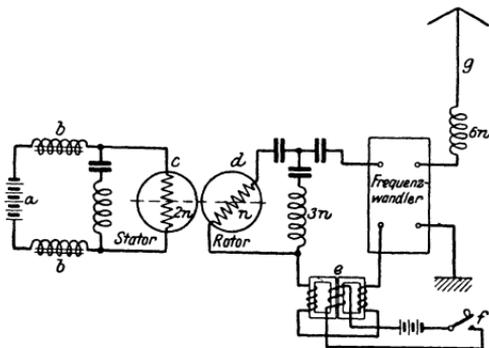


Abb. 1420. Tastschaltung mit Goldschmidt-Maschine und ruhenden Frequenzwandlern (Eberswalde 1913).

Literatur: Goldschmidt, R.: Maschinelle Erzeugung von elektrischen Wellen für drahtlose Telegraphie. ETZ 1911, S. 54. — Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 4, S. 341. 1911. — Ders.: Schaltungsanordnung für Hochfrequenzmaschinen. Ebenda Bd. 10, S. 379. 1916. — Ders.: Verfahren und Schaltungsanordnung zur Erzeugung von Hochfrequenzströmen, insbesondere für die drahtlose Telegraphie. DRP 208 260 (1907), Zusatz 208 551 (1908), Zusatz 208 552 (1908). — Hogan, I. L.: The Goldschmidt transatlantic radiostation Tuckerton. El. World Bd. 64, S. 853. 1914. — Kock, F.: Die Methoden zur Frequenzvervielfachung und ihre Anwendbarkeit zur Erzeugung hoher Frequenzen. Helios 1913, S. 19, 49, 71. — Kuhn, L.: Die Goldschmidtsche Hochfrequenzmaschine in der Selbsterregungsschaltung. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 9, S. 321. 1914. — Lodge, O.: Über die Goldschmidtsche Hochfrequenzmaschine und über die Fortpflanzung von Wellen durch die Atmosphäre in der drahtlosen Telegraphie. Ebenda Bd. 7, S. 321, 524. 1913. — Rusch, F.: Die Goldschmidtsche Hochfrequenzmaschine. Ebenda Bd. 4, S. 348. 1911.

(2165) Über den Aufbau des Senders nach Goldschmidt ist das Wesentliche in dem Abschnitt über Hochfrequenzmaschinen (1219) gesagt. In bezug auf die Gesamtanordnung ist noch folgendes zu bemerken:

Die Hochfrequenzmaschine wird von einer Gleichstrommaschine (250 V, 1000 A aufgenommene Leistung) angetrieben, die in Leonardschaltung an einen 1000tourigen Gleichstromgenerator angeschlossen ist. Letzterer wird von einem Asynchronmotor angetrieben, der über einen Transformator vom Überlandnetz gespeist wird. Der Leonardbetrieb wurde gewählt, weil dadurch die Drehzahländerung und -konstanz einfacher wird; sie erfolgt durch Beeinflussung des Erregerstroms des Leonardgenerators. Der Erregerstrom der Hochfrequenzmaschine beträgt bei Normalstrom in der Antenne 90 A. Getastet wird durch Änderung dieses Stromes (bei Pause 15 A) mit Hilfe eines von Prebluft betätigten Relais [Konstruktion S & H (P. Schuchmann)]. Im Betrieb benutzt man jetzt nur noch die zweifache Grundfrequenz entsprechend einer Welle von 14,7 km. Der Läuferstrom beträgt dabei etwa 1000 A, der Antennenstrom etwa 250 A.

(2166) Maschinensender mit ruhenden Frequenzwandlern. Angaben über Frequenzwandler vgl. (1220...1223). Diese Sender beruhen auf der Vervielfachungstransformatoranordnung von Epstein, Jolly, Vallauri (Telefunken) und K. Schmidt (C. Lorenz A.G.) [vgl. (1220)]. Die zur Anwendung kommenden Generatoren sind im allgemeinen nach dem Gleichpoltyp (Induktortyp) konstruiert und geben eine Grundfrequenz von 5000...10000 Hz. Der Anker besitzt zwei symmetrische Teile, dazwischen befindet sich die feststehende Erregerwicklung.

Die Frequenzsteigerung wird außerhalb der Maschine mittels ruhender Frequenzwandler (1220...1223) vorgenommen. Je nach der Schaltung kann eine gerad- oder ungeradzahlige Vervielfachung erreicht werden. Werden die

Sekundärwicklungen und die Gleichstrommagnetisierungswicklungen unter sich gegeneinander geschaltet, so erhält man aus den beiden Spannungen E_1 und E_2 die resultierende Spannung e_r mit doppelter Frequenz (Abb. 1421). Bei Frequenzverdreifung dagegen sind nur die beiden Gleichstrommagnetisierungswicklungen gegeneinander geschaltet. Die in den beiden Transformatoren sekundär entstehenden Spannungen geben eine resultierende Spannung E_r , die sich zu-

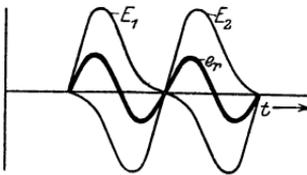
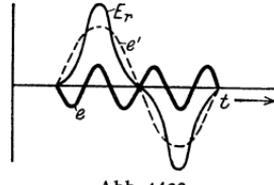


Abb. 1421. Frequenzverdopplung.

Abb. 1422.
Frequenzverdreifung.

sammensetzt aus den Spannungen e' (Frequenz = f) und e (Frequenz = $3f$). Vgl. hierzu Abb. 1422 (die Schaltung ergibt sich aus Abb. 744, S. 352).

1. Maschinensender von Telefunken (Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H.).

Die Großmaschinensender arbeiten mit Frequenzvervielfachung außerhalb der Maschine. Als Beispiel für einen solchen Sender ist in der Abb. 1423 die Schal-

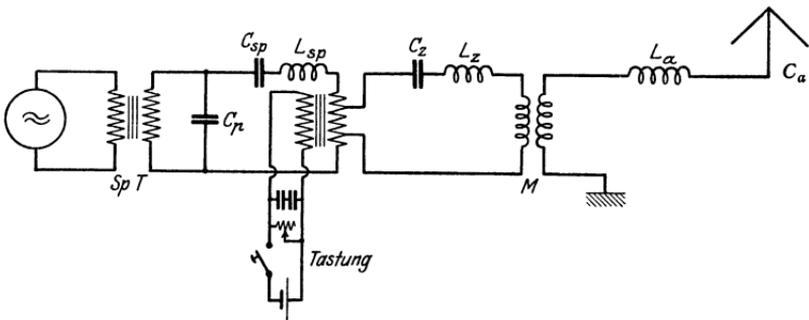


Abb. 1423. Schaltung des 400-kW-Senders für die 18-km-Welle in Nauen

tung des 400-kW-Senders für die 18-km-Welle in Nauen dargestellt. Der Hochfrequenzgenerator hat 500 kVA Scheinleistung, 6000 Per/s bei 1500 U/min. Er wird von einem Drehstrommotor von etwa 500 kW Dauerleistung angetrieben. $Sp T$ bedeutet den Spannungstransformator für eine Spannungsübersetzung im Verhältnis 1:4. C_p ist die Parallelkapazität, die zusammen mit den anderen Abstimmgliedern der Maschinenfrequenzkreise die für den Frequenzwandler nötige hohe Scheinleistung erzeugt. L_{sp} und C_{sp} ist die ungefähr auf die Maschinenfrequenz abgestimmte Sperre, die das Rückfluten der Nutzfrequenz, d. i. der dritten Oberschwingung, in die Maschine verhindert. Sie verhindert gleichzeitig, daß die Spannung der Nutzfrequenz über die Parallelkapazität kurzgeschlossen ist. Unterhalb L_{sp} erkennt man den Frequenzwandler, eine Drossel aus 2 Kernen mit eisengeschlossenem Weg, die vom Strom der Maschinenfrequenz hochgesättigt wird. An ihren Klemmen entsteht eine stark verzerrte Spannungskurve, deren dritte Harmonische dadurch nutzbar gemacht wird, daß der Zwischenkreis $C_z L_z$ und die Antenne $C_a L_a$ auf diese Frequenz abgestimmt wird. Die Tastung erfolgt dadurch, daß der Gleichstrom, der den Frequenzwandler bei Pause sättigt, weggenommen wird. Der Zwischenkreis dient dazu, die Ober-

wellen, die infolge der Verzerrung der Spannungskurve durch den Frequenzwandler entstehen, auf ein erträgliches Maß zu drücken.

Folgende Großstationen wurden mit derartigen Maschinen ausgerüstet: Nauen, Prado del Rey bei Madrid, Malabar-Radio auf Java, Monte Grande bei Buenos Aires.

Literatur. Graf Arco: Die drahtlose Station Nauen. ETZ 1919, S. 665. — Kuntze, O.: Die Großfunkstelle Prado del Rey bei Madrid. Telefunken-Zg. 1925, Nr. 42, S. 23. — Doetsch, C. W.: Die Großstation Malabar-Radio auf Java. Ebenda Nr. 40/41. — Ders.: Die Großfunkstelle Monte Grande bei Buenos Aires. Z. V. d. I. 1926, Nr. 1, S. 3.

2. Maschinensender von K. Schmidt (C. Lorenz A.G.).

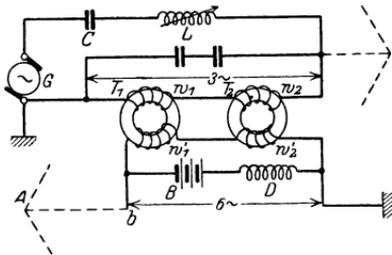


Abb. 1424. Schaltung zur Verdreifachung und Versechsfachung der Frequenz.

Die Frequenzwandlerschaltung von K. Schmidt gestattet im Nutzstromkreise mit einem Transformatorpaar direkt z. B. die dreifache oder sechsfache Frequenz bei hoher Stromamplitude zu erhalten. Wie aus

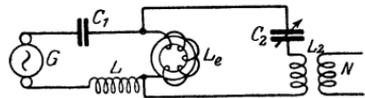


Abb. 1425. Schaltung zur Erzielung höherer Frequenzen.

Abb. 1424 hervorgeht, kann die Antenne einmal zur Erzeugung der doppelten Frequenz an die Sekundärwicklungen des Transformatorpaares, das andere Mal zur Erzeugung der dreifachen Frequenz an die primären Wicklungen angeschlossen werden. Mit dieser Schaltung kann auf die sechsfache Frequenz abgestimmt werden.

Die elektrischen Größenverhältnisse einer 25 kW-Anlage bei der Versechsfachungsschaltung sind folgende:

2 Frequenztransformatoren (Toroide) 150 mm Durchmesser, Querschnitt 25×25 mm;

(Windungszahlen: primär 24, sekundär 18);

Antennenkapazität 10000 cm, Widerstand $3,5 \Omega$ (Eberswalde);

Selbstinduktion der Maschine 63 500 cm (zwei Hälften parallel).

Folgende Werte wurden gemessen:

Antennenstrom 76 A;

Wellenlänge 7700 m;

Drehzahl der Maschine 2480 Umdr./min;

Strom im Kreise dreifacher Frequenz 80 A;

Erregerstrom 60 A, Erreger Spannung 8 V;

Primärkapazität $1,6 \cdot 10^6$ cm;

Abstimmungskapazität für dreifache Frequenz $0,4 \cdot 10^6$ cm;

Antennenleistung $76^2 \cdot 3,2 \cdot 10^{-3} = 20,2$ kW;

Leistung des Antriebsmotors $95 \text{ A} \times 400 \text{ V} \cdot 10^{-3} = 38$ kW;

Gesamtwirkungsgrad $= 20,2 : 38 = 53$ vH;

Wirkungsgrad des Umformers (Motor) = 90 vH;

Wirkungsgrad des Umformers (Hochfrequenzdynamo) = 70 vH;

Gesamtwirkungsgrad des Umformers $= 90 \cdot 70 \cdot 10^{-2} = 63$ vH;

Wirkungsgrad für die Umformung auf sechsfache Frequenz = 84 vH.

Für kleinere Wellen verwendet Schmidt eine Frequenzvervielfachung mit durch Wechselstrom magnetisierten Transformatoren (Abb. 1425). Es ist G ein Hochfrequenzgenerator von etwa 5000 bis 10 000 Per/s, C_1 der Abstimmkondensator, L_e eine eisenenthaltende Selbstinduktion, L eine eisenfreie oder nicht eisen-geschlossene Selbstinduktion. An den Wicklungsenden der Selbstinduktion L_e

(Frequenztransformator) liegt der auf höhere Frequenz abgestimmte Schwingungskreis, die Kapazität C_2 und die Selbstinduktion L_2 . Mit der Selbstinduktion L_2 kann ein Nutzkreis N gekoppelt werden. Die Spannung lädt den angelegten Schwingungskreis auf und schwingt dann während der Zeit, in der sich die Primärkurve nahezu auf der Nulllinie bewegt, weiter, bis der nächste Aufładungsstoß kommt (nach O. Scheller: Stoßerregung).

Literatur: Schmidt, K.: Ein neuer Hochfrequenzmaschinensender für drahtlose Telegraphie. ETZ 1923, S. 910. — Lorenz, C., A.-G.: Sendeeinrichtung für drahtlose Nachrichtenübermittlung. DRP 269344 (1912). — Verfahren zur Frequenzumwandlung durch ruhende Transformatoren mit Eisenkern und Hilfssättigung durch Gleichstrom. DRP 275448 (1912). — Sendeeinrichtung für drahtlose Nachrichtenübermittlung. DRP 269344 (1912).

Mit Hilfe von neuen Frequenztransformatoren ist es möglich, sämtliche ungeraden Harmonischen praktisch zu verwerten. Es kann ein Wirkungsgrad bis zu 50 vH bei Frequenzen bis zur 47-fachen der Grundharmonischen erreicht werden.

Bemerkenswert ist, daß mit dem Schmidtschen Hochfrequenzmaschinensender zum ersten Male die Erzeugung kurzer Wellen bis herunter zu 250 m gelang

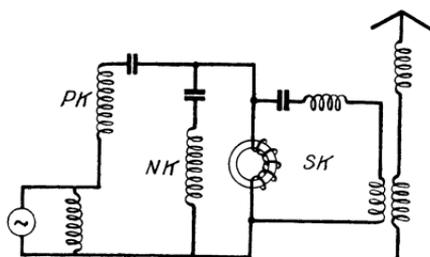


Abb. 1426. Maschinensender von K. Schmidt für kurze Wellen.

(vgl. F. Gerth: Herstellung kurzer Wellen mit Maschinen. El. Nachr.-Technik 1925, Heft 1). Ein derartiger Maschinensender arbeitet mit Primärkreis, Nebenkreis und Stoßkreis (Abb. 1426). Bei $\lambda = 280$ m erfolgen 16000 Stöße je Sekunde. Die Schwingungszahl des Stoßkreises beträgt dabei 1070000 Schwingungen je Sekunde. Daher vollführt der Stoßkreis in dem Zeitraum zwischen zwei Stößen 76 Schwingungen. Der Nebenkreis

wird auf eine Zwischenfrequenz abgestimmt und durch seinen Einfluß erfolgt eine neue Ummagnetisierung des Frequenzwandlers mit der Frequenz dieses Nebenkreises. Für die Frequenzwandler wird Eisennickelblech von 0,006 mm Stärke, hergestellt nach einem Verfahren von H. Hausrath, verwendet.

Die Drehzahlreglung erfolgt nach einer besonderen Methode (1226, c), welche sich besonders für Hochfrequenzmaschinen für kurze Wellen eignet.

3. Maschinensender von W. Dornig. Diese Sender arbeiten ebenfalls mit Frequenzwandlern ohne Gleichstrommagnetisierung, ihr Aufbau ist daher ähnlich den Sendern von K. Schmidt.

(2167) Röhrensender. Allgemeines. Unter Benutzung des Rückkopplungsprinzips (1187) kann mit Hilfe von Gleichstrom als Anodenspannung Wechselstrom beliebiger Frequenz erzeugt werden (Niederfrequenz, Mittelfrequenz, Hochfrequenz).

Literatur: v. Arco, Graf G.: Die modernen Sender ungedämpfter Schwingungen. Jahrb. drahtl. Telegr. 1919, S. 558. — Barkhausen, H.: Das Problem der Schwingungserzeugung. Leipzig: Hirzel 1907. — Ders.: Die kürzesten mit Vakuumrohren herstellbaren Wellen. Phys. Z. 1920, S. 1. — Geißler, E.: Die Kuhnsche Schaltung. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 19, S. 383. 1922. — Herzog, A.: Untersuchung an einem Röhrensender mit Kuhnscher Gittererregung. Ebenda Bd. 20, S. 72. 1922. — Hull, W.: Das Dynatron. Ebenda Bd. 14, S. 47, 157. 1919. — Kuhn, L.: Technische Entwicklung der Röhrensender. Ebenda Bd. 14, S. 395. 1919. — Meißner, A.: Über Röhrensender. Ebenda Bd. 14, S. 5. 1919. — Rukop, H.: Die Anzahl der Eigenfrequenzen beim Zwischenkreisröhrensender. Telefonen-Zg. 1923, Nr. 29, S. 24. — Ders. u. Hauser, J.: Die Schwingungserzeugung durch Rückkopplung vermittelt der Anodengitterkapazität bei der Hochvakuum-Eingitterrohre. Z. techn. Phys. 1923, S. 101; Telefonen-Zg. 1922, Nr. 25, S. 34. — Vos, M. u. Ziegler, R.: Über Röhrensenderschaltungen und ihre Dimensionierung. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 14, S. 578. 1919. — Weichart, F.: Röhrensender ohne Rückkopplung. Z. Fernmeldetechn. 1923, S. 24. — Wien, M.: Schwierigkeiten beim Senden und Empfang ungedämpfter Wellen. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 14, S. 442. 1919.

Folgende Rückkopplungsschaltungen sind möglich (vgl. J. Zenneck und H. Rukop: Lehrbuch der drahtlosen Telegraphie. Stuttgart 1925):

1. aperiodisch-induktiv (A. Meißner),
2. induktiv mit abgestimmtem Gitterkreis (H. I. Round, Gen. El. Comp., A. Meißner),
3. induktive Spannungsteilerschaltung (A. Meißner, West. Electr. Comp., Bell. Tel. Comp., J. Zenneck).
4. kapazitive Spannungsteilerschaltung (L. de Forest, G. Vallauri, M. Vos),
5. Rückkopplung vermittelt eines dritten Zweiges (M. Vos, C. Lorenz A.-G.),
6. Rückkopplung durch Anoden-Gitterkapazität (H. I. Round, Marconi, W. C. Withe, L. Kuhn, A. S. Blattermann, H. Rukop, A. Herzog, H. Barkhausen, F. Weichart),
7. Rückkopplung mittels eines Ohmschen Widerstandes in der Anodenleitung (M. Latour, L. B. Turner, A. Blondel).

(2168) Zwischenkreisschaltung.

Abgesehen von den verschiedenen Schaltmöglichkeiten zur Erzeugung der Rückkopplung, bedingt die Anschaltung des Schwingungskreises selbst noch Schaltervariationen. Wird der Antennenkreis als Schwingungskreis benutzt, so erhält man die Direktschaltung eines Röhrensenders. Derartige Schaltungen sind jedoch zu verwerfen, da die Oberschwingungen ebenfalls ausgestrahlt werden.

Wird dagegen der Schwingungskreis als geschlossener Kreis ausgeführt, so erhält man den Zwischenkreis (Abb. 1427), mit dem alsdann die Antenne lose zu koppeln ist. Der Zwischenkreis ist in der Lage, bei ganz loser Kopplung (durch Ausbiegung der Grundfrequenz) die Oberschwingungen zu beseitigen. Die Kopplung ist so zu wählen, daß kein „Ziehen“ vorhanden ist (1208).

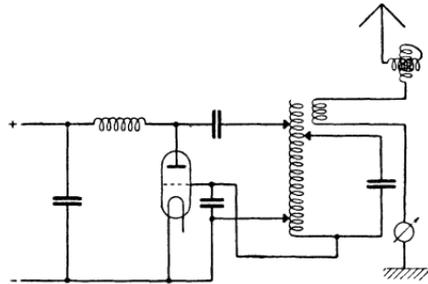


Abb. 1427. Zwischenkreissender.

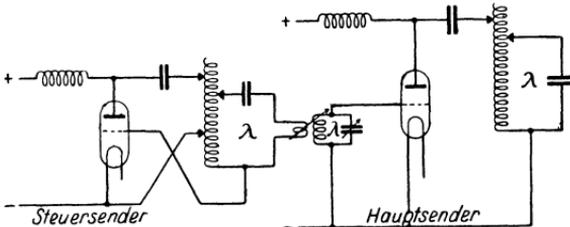


Abb. 1428. Fremderregter Röhrensender.

(2169) Dynatronschaltung. In Amerika wurde eine Schwingungserzeugerschaltung besonderer Art ausgebildet (Dynatron). Die Röhren werden zweckmäßig hierzu besonders konstruiert. Näheres (1201).

(2170) Wirkungsgrad des Röhrensenders. Unter günstigen Bedingungen ist es möglich, bis zu 70 vH der zugeführten Gleichstromleistung in Hochfrequenzschwingungen umzuwandeln. Der Wirkungsgrad ist abhängig von der Anodenspannung und kann unter Umständen bis auf 85 vH gesteigert werden (10000 V Anodenspannung).

(2171) Fremdgesteuerte Röhrensender. Parallelschaltung. Zur Erzielung möglichst großer Wellenkonstanz benutzt man den fremdgesteuerten (fremd-erregten) Röhrensender (Abb. 1428). Der Steuersender dient zur Erzeugung der

Hochfrequenzenergie, während der Hauptsender lediglich ein groß dimensionierter Hochfrequenzverstärker ist. Zur Vermeidung der Selbsterregung dieses Verstärkers muß der Gitterkreis gegen λ um einen gewissen Betrag verstimmt werden, bzw. muß eine Gegenkopplung vorgesehen werden (Neutrodynkondensator), andernfalls kann man auch die Kapazität groß und die Selbstinduktion des Gitterkreises des Verstärkers klein wählen. Fremdgesteuerte Röhrensender können sowohl in Direkt- als auch in Zwischenkreisschaltung arbeiten.

(2172) Tönend Senden mit Röhrensendern. Soll der Röhrensender so eingerichtet werden, daß er direkt mit Detektor empfangen werden kann (Not-senden!), so muß er als Tonsender geschaltet werden. Derartige Einrichtungen lassen sich leicht bewerkstelligen. Man kann verschiedene Methoden konstruieren:

1. Man benutzt mittelfrequenten Wechselstrom als Anodenspannung. Die Hochfrequenzschwingung wird im Takte des Wechselstroms moduliert (Wirkungsgrad schlecht!).

2. Verwendung von gleichgerichtetem Wechselstrom ohne Ausgleichskondensator oder Drosselkette.

3. Mechanische Gitterkreisunterbrechung (rotierender Unterbrecher!). Zu beachten ist, daß an dem Unterbrecher ziemlich hohe Spannungen auftreten.

Diese Erscheinung wird vermieden, wenn nach F. Weichart eine Taströhre verwendet wird und man den Gitterkreis dieser Röhre unterbricht.

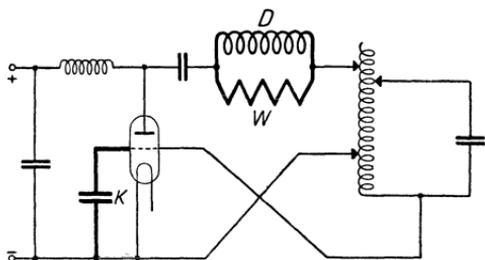


Abb. 1429. Kurzschlußkondensator und Kurzwellendrossel.

(2173) Störerscheinungen an Röhrensendern. Sehr häufig treten unerwünschte Nebenschwingungen auf. Kurze Wellen werden häufig erzeugt, wenn die Dreipunktschaltung benutzt wird. Auch die Sendeschaltung mit abgestimmtem Gitterkreis neigt

hierzu. Die Folge dieser Erscheinung ist Überlastung und Zerstörung der Röhren. Abhilfe kann geschaffen werden durch Einfügung eines Schlußkondensators zwischen Gitter und Kathode oder Einschaltung einer Hochfrequenzdrossel D_r mit parallel geschaltetem Hochohmwiderstand W (Abb. 1429).

Lange Wellen treten seltener auf.

Sofern ein Maschinton sich bemerkbar macht, sind Vorkehrungen geeigneter Art zu treffen.

Tonschwankungen sind auf Frequenzänderungen zurückzuführen, hervorgerufen durch kapazitive Einflüsse, z. B. Annäherung der Hand zwecks Bedienung, Vorbeigehen am Sender oder an der Antennenzuführung, oder durch Erwärmung der gesamten Apparatur. Desgleichen kann die Bewegung der Antenne durch Winddruck ebenfalls dazu führen. Sofern eine sprunghafte Änderung der Frequenz beobachtet wird, können Wackelkontakte, Funkenüberschlag, unregelmäßiges Arbeiten von Gasgleichrichtern, Schwanken der Netzspannung die Ursache sein.

(2174) Senderöhren. Im allgemeinen kommen Drei-Elektrodenröhren zur Anwendung (geringer Durchgriff, etwa 1 vH, größere Steilheit, 10 mA je Volt). In Deutschland werden Senderöhren bis 20 kW gebaut, in Amerika sind solche bis zu 1000 kW konstruiert worden. Sofern die Röhren über 5 kW Leistung haben, werden sie mit Wasserkühlung hergestellt (Metallsenderöhren). Die Anodenspannungen schwanken zwischen 400 und 20000 V.

Die Steuerung erfolgt im allgemeinen durch das Gitter. Eine Abart ist das Magnetron. Die senkrecht zur Achse austretenden Elektronen werden spiralförmig

abgelenkt (Windungsebene der Magnetspule senkrecht zum Glühfaden). Bei starkem magnetischen Feld erreichen die Elektronen die Anode nicht mehr.

(2175) Heizung der Röhren. Die einwandfreieste Stromquelle zur Heizung der Röhren ist der Akkumulator (besonders für Telephonie!). Es sind geeignete Drosseln in der Plus- und Minusleitung des Heizstroms vorzusehen (kapazitätsfreie Wicklung!).

Für große Leistungen kommen Gleichstrommaschinen in Frage. Diese müssen jedoch besonders konstruiert sein; sie müssen vor allen Dingen eine große Lamellenzahl des Kollektors und eine große Schwungmasse aufweisen. Da der Kollektorton nicht zu vermeiden ist, müssen geeignet bemessene Kettenleiter (2177) vorgesehen werden.

Sollen die Röhren mit Wechselstrom geheizt werden (50...10000 Hz), so sind besondere Vorkehrungen zu treffen. Günstig ist, daß Vorschaltregulierwiderstände wegfallen, da mit Transformatoren reguliert wird. Wackelkontakte am Schiebewiderstand können nicht auftreten. Die Zuführungsleitung zur Kathode erfolgt nicht direkt, sondern über einen Parallelwiderstand, der genau einzuregulieren ist (Abb. 1430). Sofern die Mitte des Transformators angezapft wird, ist noch für jede Hälfte ein Parallelkondensator vorzusehen. Bei Parallelschaltung von mehreren Röhren genügt ein gemeinsames Potentiometer.

Als am günstigsten hat sich für die Heizung die Frequenz $f = 10000$ Hz erwiesen.

(2176) Anodenspannung. Für geringe Spannungen genügen Akkumulatorbatterien mit Parallelkondensator ($1 \mu\text{F}$). Für Spannungen über 1000 V kommen Gleichstrommaschinen in Frage. Auch hier ist der Kollektorton zu vermeiden (2175). Während in Deutschland derartige Maschinen bis 2000 V je Kollektor hergestellt werden, baut das Ausland solche bis zu 7500 V je Kollektor (100 V Lamellenspannung). Die Nuten sind schief angeordnet (Vermeidung des Kollektortones).

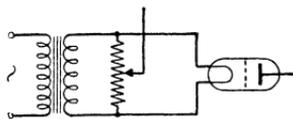


Abb. 1430. Symmetrieschaltung der Kathode bei Wechselstromheizung durch Potentiometer.

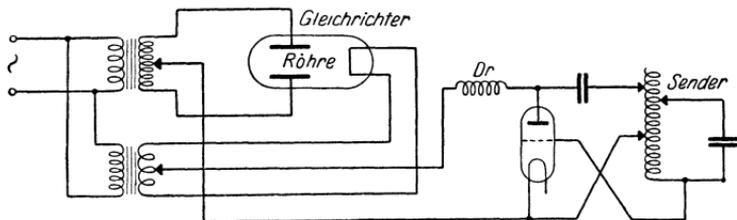


Abb. 1431. Schaltung des Gleichrichters für Anodenspannung.

Zur Erzielung beliebiger Anodenspannungen (bis 20 kV) sind die Gleichrichter sehr geeignet. Die Lebensdauer der Hochvakuum-Gleichrichterröhren (Kenotrons) beträgt 1000...2000 h. Der Preis ist ungefähr gleich dem einer gleichgroßen Senderöhre. Es ist jedoch zu beachten, daß stets zwei Gleichrichterröhren benötigt werden. Neuerdings werden auch Röhren mit zwei Elektroden hergestellt. — Edelgasgleichrichter mit Argon- oder Neonfüllung (Akkumulatorenfabrik A.-G. Berlin, AFA) können ebenfalls Verwendung finden. Der Spannungsabfall am Gleichrichter ist unwesentlich und beträgt etwa 20...30 V. Die Lebensdauer ist gering: 80...100 Brennstunden. Die Anschaffungskosten sind im Gegensatz zum Hochvakuumgleichrichter gering und rechtfertigen die Verwendung.

Für große Leistungen kommt der Quecksilberdampf-Gleichrichter (1150) in Anwendung (bis 4000 V Anodenspannung). Die Lebensdauer der Kolben beträgt etwa 1000 Brennstunden. — Die Gleichrichter werden nach der Prinzipschaltung Abb. 1431 geschaltet.

Sind bei größeren Leistungen die Belastungsverhältnisse nicht dauernd konstant, so finden zweckmäßig die Kompensationsschaltungen von W. Hahn (DRP 343060) und Telefunken Anwendung. — Werden die Senderöhren direkt mit

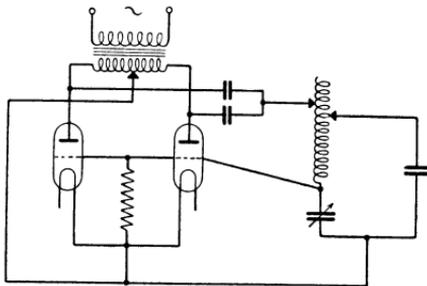


Abb. 1432. Röhrensender ohne Gleichrichter.

Wechselstrom betrieben, so ist zu bedenken, daß nur eine Stromrichtung ausgenutzt wird, die zweite bleibt unbenutzt, oder es müssen zwei Röhren Anwendung finden (Abb. 1432). Derartige Schaltungen sind meist nur im Auslande im Gebrauch, in Deutschland finden sie nur bei Kurzwellenversuchen Anwendung.

Bei Drehstrom werden drei Röhren für Stern- und sechs für Dreieckschaltung benötigt.

(2177) Beseitigung des Wechselstromtones bei Gleichrichtern. Zur Beseitigung des Wechselstromtones bei Gleichrichtern stehen mehrere Methoden zur Verfügung.

1. Kettenleiter. Werden ein oder mehrere Kettenglieder eingeschaltet (Abb. 1433), so kann, bei richtiger Bemessung, der Ton beseitigt werden. Es

ist $\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{1}{\sqrt{C \cdot L}}$. Vgl. ferner (147).

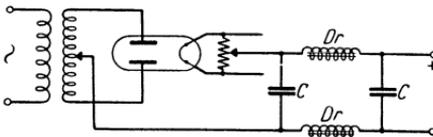


Abb. 1433. Kettenleiter für Gleichrichter.

Die Streuwirkung der Drosseln Dr ist zu vermeiden. Die Bemessung des Kettenleiters hat so zu erfolgen, daß der Spannungsabfall gering und die Sättigung des Eisens vermieden wird.

2. Brückenschaltungen. Die Senderöhre befindet sich in der Brücke, die Brückenweige werden durch Selbstinduktionen und Kapazitäten gebildet (Abb. 1434).

Stromverlauf: + Pol Gleichrichter, Drossel L_1 , Senderöhre, Drossel L_2 , - .

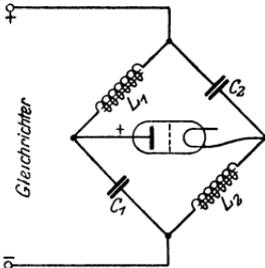


Abb. 1434. Brückenschaltung zur Beseitigung des Maschinentones.

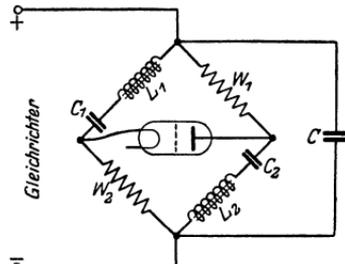


Abb. 1435. Brückenschaltung von Telefunken. $C = 0,5 \dots 1,0 \mu\text{F}$.

$L_1 C_1$ und $L_2 C_2$ bilden zwei Nebenschlüsse zur Röhre und sind auf den Maschinenton abgestimmt.

Bei der Brückenschaltung von Telefunken (Abb. 1435) befinden sich in zwei Brückenweigen Widerstände W_1 und W_2 , in den andern sind Serienschaltungen von Selbstinduktionen und Kapazitäten vorgesehen. Die Brücke wird so

abgeglichen, daß für die Frequenz des zu vernichtenden Maschinentones der Spannungsabfall an C_1L_1 gleich dem an W_2 und der an C_2L_2 gleich dem an W_1 ist. Demnach erhält die Rohre keine Störfrequenz mehr, da Anode und Kathode gleiches Potential haben.

Wenn man berücksichtigt, daß neben der Störfrequenz meist noch Oberwellen dieser vorhanden sind (Störfrequenz = 2mal Grundfrequenz, verzerrt), so werden nur die Kettenleiter ausreichenden Schutz bieten, da sie für alle Frequenzen oberhalb einer bestimmten Größe, für die sie gebaut sind, sperrend wirken. Die Brückenschaltungen leisten dieses nicht.

(2178) Schwingungskreise. Der Aufbau der Schwingungskreise erfolgt nach ähnlichen Grundsätzen wie in (2151 . . . 2155) beschrieben. Bevorzugt werden Dubilier-Glimmerkondensatoren¹⁾ zur Bildung der Kapazitäten. Für die Selbstinduktionen kommen hauptsächlich Zylinder- und Flachspulen in Anwendung (Kupferrohr, Rundkupfer, Hochfrequenzlitze). Infolge des Hauteffektes wird der Querschnitt nur zum Teil ausgenutzt. Die Strombelastung sollte nicht höher als 2 A/mm² gewählt werden.

(2179) Meßinstrumente (1054 u. f.). Zur Bestimmung der Resonanzlage genügen Hitzdrahtinstrumente mit Nebenschluß oder Hochfrequenz-Stromwandler. Für die übrigen Messungen kommen *Hitzbandinstrumente* in Frage. Vgl. (1055, a).

(2180) Tastung. Für die Tastung der Röhrensender sind eine große Zahl von Schaltungen angegeben worden.

1. Die einfachste Lösung ist die Unterbrechung der Anodengleichstromzuführung (komplizierte Tastrelais).

2. Unterbrechung der Gitterleitung (Handtaste), entweder durch Abschaltung der Hochfrequenz vom Gitter oder durch Einschaltung eines Blockkondensators zur Verhinderung der Ableitung der Elektronen vom Gitter zur Kathode (Abb. 1436).

3. Die Drossel bzw. der Ableitwiderstand kann durch eine Röhre (Steuerröhre) ersetzt werden. Diese Röhre erhält alsdann beim Schließen der Taste positives, beim Öffnen negatives Potential.

4. Anwendung der Tastdrossel (2146) und (2147) nach C. Lorenz A.G., Berlin.

5. Tasten auf Ballastkreis.

6. Tasten mit Verstimmungswelle.

Methode 5 und 6 sind hier praktisch ungünstig.

7. Tasten der Primärseite des Hochspannungstransformators bei Verwendung von Wechselstrommaschinen (mit Gleichrichter). Diese Methode ist bei Leistungen bis 1 kW (Schwingungsenergie) mit Handtaste möglich, bei größeren Leistungen muß ein Tastrelais Verwendung finden.

Zur Konstanthaltung der Anodenspannung (Verhinderung des Spannungsanstiegs beim Öffnen der Taste) sind Tastausgleichsschaltungen notwendig (A. Semm DRP 368027, W. Hahn DRP 347822 und 347823, H. Harbich, W. Schäffer [Telefunken], C. Lorenz A.G., Dr. E. F. Huth).

(2181) Wellenbereich der Röhrensender. Mittels Röhrensender lassen sich Wellen von einigen Zentimetern (Barkhausen, H.: Die kürzesten, mit Vakuumröhren herstellbaren Wellen. Phys. Z. Bd. 21, S. 1. 1920. — Danilewsky, A.: Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 21, S. 156. 1923) bis zu etwa 500000 km ($f = 10^{10}$. . . 0,5) herstellen. Daher ist auch die Röhre als Tonsummer zu verwenden (16 bis 40000 Hz). Bei der Erzeugung kurzer Wellen kommen „rückkopplungslose“ und „Gegentaktschaltungen“ zu Anwendung.

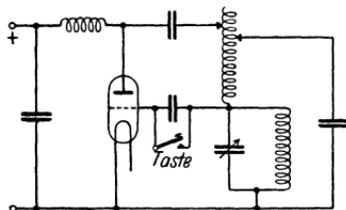


Abb. 1436. Gittergleichstromtastung.

¹⁾ Werden in Deutschland von der Firma Telefunken hergestellt.

Funktelegraphische Empfänger.

(2182) Antennenkreis. Für mittlere und kleine Stationen dient die gleiche Antenne zum Empfang sowohl wie zum Senden.

Bei Großstationen sind besondere Anordnungen zu schaffen, so daß sich besondere Sende- und Empfangsantennen herausgebildet haben. Zum Empfang wird zweckmäßig der geschlossene Schwingungskreis genommen (Rahmenantenne). Außerdem sind Sender und Empfänger räumlich voneinander getrennt; die Empfangsapparaturen selbst sind so einzubauen, daß eine Beeinflussung durch störende Felder nicht stattfindet (2196, 2200, 2201).

In dem Empfangsgebilde wird durch das einfallende elektromagnetische Wechselfeld ein elektrischer Strom erzeugt, der bei geeigneter Abstimmung einen Höchstwert erreicht. Man unterscheidet zwischen Grob- und Feinabstimmung. Die Grobabstimmung geschieht durch stufenweise unterteilte oder auswechselbare Spulen, die Feinabstimmung durch Drehkondensatoren, weil sich diese für die geringe Beanspruchung durch die schwachen Empfängerströme ohne großen

Verlust und mit großer Genauigkeit herstellen lassen, vgl. G. Seibt: ETZ 1914, S. 531. Die Schaltung des Abstimmkondensators kann prinzipiell entweder in Reihe mit der Antenne (Abb. 1437) erfolgen (Verkürzungskondensator), oder er liegt parallel zur Antenne (Abb. 1438), dann vergrößert er die Gesamtkapazität, verlängert also die Welle (Verlängerungskondensator).



Abb. 1437.
Verkürzungs-
kondensator.

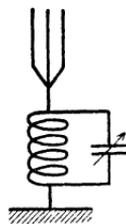


Abb. 1438. Ver-
längerungs-
kondensator.

Wird die Empfangsantenne unter dem Einfluß der einfallenden Wellen in Schwingungen versetzt, so strahlt sie ihrerseits Wellen aus, welche die einfallenden Felder kompensieren. Je größer ihr Strahlungsvermögen ist, um so

besser ist sie hierzu geeignet, aus einem um so größeren Raume absorbiert sie also die ankommenden Wellen.

Fließt in einer Sendeantenne von der wirksamen Höhe H_1 der Strom I_1 bei einer Wellenlänge λ , so wird nach H. Barkhausen (Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 5, S. 261; 1912) in der Entfernung r in einer abgestimmten Empfangsantenne von der wirksamen Höhe H_2 mit dem Dämpfungswiderstand R Ohm ein Strom I_2 erzeugt von der Größe:

$$I_2 = \frac{377}{R} \cdot I_1 \cdot \frac{H_1 \cdot H_2}{r \cdot \lambda} \sqrt{\frac{\delta_2}{\delta_1 + \delta_2}};$$

dabei sind δ_1 und δ_2 die Dämpfungskoeffizienten der Sende- und Empfangsantenne.

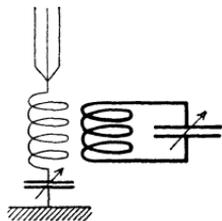
Der Strom I_2 wird in Wirklichkeit nicht ganz erreicht, weil die Wellen infolge der ungenügenden Leitfähigkeit der Erdoberfläche bei ihrer Ausbreitung Verluste erfahren, die bei dieser Formel nicht mit einbegriffen sind; Ansätze zu ihrer Berechnung sind entwickelt worden von A. Sommerfeld (Ann. Physik Bd. 28, S. 665; 1909), M. Reich (Phys. Z. Bd. 14, S. 934; 1913), L. W. Austin (Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 12, S. 185; 1917).

Während für die Stromstärke und die Energieverhältnisse in den Antennen die Dämpfungswiderstände maßgebend sind, wird die Abstimmbarkeit und damit die Störungsfreiheit durch das Dämpfungskoeffizient:

$$\delta = \pi \cdot R \cdot \sqrt{\frac{C}{L}}$$

bestimmt. Darum ist die Störung durch fremde Wellen um so geringer, je kleiner man den Dämpfungswiderstand R und die Kapazität C , und je größer man die Selbstinduktion L des Antennenkreises macht.

(2183) Zwischenkreise. Die Erzielung kleiner Dekremente ist begrenzt, denn der Dämpfungswiderstand enthält neben den schädlichen Verlusten auch den nützlichen Strahlungswiderstand. Durch Vergrößerung der Selbstinduktivität werden zwangsläufig die Leitungswiderstände in den Spulen ebenfalls vergrößert. Ferner erfährt die Schwingung im Antennenkreis eine neue Dämpfung, falls Mittel benutzt werden, um sie wahrnehmbar zu machen. Zur Erhöhung der Selektivität benutzt man daher besondere Zwischenkreise, die lose mit dem Antennenkreis gekoppelt werden (Abb. 1439). Derartige Zwischenkreise können mehrfach in Kaskade angewandt werden, jedoch wird bereits beim Tertiärempfang die Einstellung schwierig.



Mit derartigen Einrichtungen ist man in der Lage, Abb. 1439. Zwischenkreis. auch mit ungünstigen Antennen gute Störungsfreiheit zu erreichen, und es können sogar kleine Wellen in dem Zwischenkreis abgestimmt werden, die im Antennenkreis überhaupt nicht oder nur als unharmonische Oberschwingungen abgestimmt werden.

Die Kopplung des Zwischenkreises mit der Antenne muß zweckmäßig lose sein, da sonst zwei Frequenzen auftreten, mithin die Selektivität herabgesetzt wird. Je kleiner die Kopplung ist, um so mehr tritt die Amplitude der Eigenschwingung des Zwischenkreises gegenüber allen übrigen in der Antenne etwa erregten Schwingungen hervor. Praktisch kann man daher in vielen Fällen störende Stationen unhörbar machen, ohne daß die gesuchte Station merklich leiser wird.

Bethenod, J.: Vergleich zwischen induktiver und direkter Schaltung bei radio-telegraphischen Stationen. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 3, S. 297, 1910. — Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H.: Empfangsschaltung für drahtlose Telegraphie mit lose gekoppeltem Induktorkreis. DRP 191 478 vom 10. 9. 1904. — Anordnung zur Energieübertragung auf einen Empfängskreis für el. Schwingungen. DRP 255 674 vom 15. 9. 1910. — Leithauser: Empfangsanlagen der drahtlosen Telegraphie. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 15, S. 178, 1920. — Marconi: Schaltung für funken-telegraphische Empfangsapparate. DRP 164 739 vom 3. 3. 1904. — Marconi's Wireless Telegraph Co.: Empfänger für Funktelegraphie mit Transformator. DRP 121 424 vom 21. 3. 1899. — Riegger, H.: Über den gekoppelten Empfänger. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 8, S. 58, 1914; Bd. 9, S. 229, 1915.

(2184) Wellenindikatoren. Da es nicht möglich ist, unmittelbar elektromagnetische Wellen nachzuweisen, so ist man gezwungen, Schwingungsgebilde zu benutzen, welche durch diese Wellen erregt werden. Derartige Schwingungsgebilde, welche verschiedene Formen annehmen können, werden mit geeigneten Apparaten verbunden, die als Wellenanzeiger, Detektoren oder Wellenindikatoren bezeichnet werden. Diese haben die Aufgabe, die im Schwingungsgebilde entstehenden Ströme bzw. Spannungen anzuzeigen.

Man unterscheidet Indikatoren:

1. welche auf Strom ansprechen,
2. welche durch Spannung erregt werden.

In jedem Fall ist zu unterscheiden, ob der Detektor auf Momentanwerte anspricht, also sprunghaft seine Eigenschaften unter dem Einfluß der Schwingungen ändert, oder ob er Integralwerte anzeigt. Auf momentane Spannungswerte sprechen an:

(2185) Der Kohärer oder Fritter. Dieser Wellenindikator gehört der Geschichte an und hat große Dienste geleistet, solange der Knallfunksender im Gebrauch war, da dieser mit großen momentanen Leistungen arbeitet. Die Konstruktion stammt von Branly und wurde von Marconi verbessert (Abb. 1440).

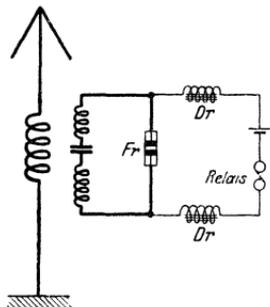


Abb 1440. Fritterschaltung.

Er besteht aus einem mit Metallpulver gefüllten Glasröhrchen und zwei Elektroden. Dieses Pulver nimmt unter dem Einfluß einer kleinen Spannung plötzlich einen geringen Widerstand an, der durch Erschütterung bzw. Klopfen wieder auf einen hohen Wert gebracht wird. Er ist geeignet, wenn Wellen im Takte von Morsezeichen einfallen, ein Relais im Takte dieser Zeichen zu betätigen, das seinerseits einen Morseapparat sowie die Klopfleinrichtung für die Entfrittung in Gang setzt.

Andere Konstruktionen stammen von Schlömilch (Gesellschaft für drahtlose Telegraphie), ferner von A. Koepsel und A. Boas.

Der Quecksilberkohärer, der ebenfalls von Marconi eine Zeitlang benutzt wurde, besitzt eine wesentlich größere Empfindlichkeit und hat außerdem selbst die Eigenschaft, entfrittend zu wirken.

Andere Konstruktionen stammen von O. Lodge und A. Muirhead (Electr. Bd. 50, S. 930, 1903).

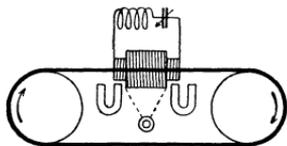


Abb. 1441. Magnetdetektor

(2186) Der Magnetdetektor von Marconi (Abb. 1441) spricht bei momentanen Stromwerten an. Die Angaben hierzu stammen von Rutherford. Er beruht darauf, daß die Hysterese eines magnetisierten Eisenstückes in einem rasch pulserenden Magnetfeld plötzlich verschwindet. Er

besitzt ein endloses Eisenband, das über zwei Rollen geführt wird und auf seinem Wege beständig durch zwei Magnete ummagnetisiert wird. Es läuft durch das Innere von zwei Spulen, von denen die eine den Empfangsstrom führt, die andere an ein Telephon angeschlossen ist. In diesen wird dann stets ein Stromstoß wahrgenommen, wenn die Empfängerspule erregt wird, also wenn auf der Sendestation ein Funke überspringt. Es existieren noch andere Konstruktionen von magnetischen Wellenanzeigern, und zwar befindet sich hierbei der Eisenkörper, auf den die Schwingungen einwirken sollen, in einem magnetischen Drehfeld bzw. wird selbst in einem konstanten magnetischen Felde gedreht. Derartige Ausführungsformen wurden angegeben von:

Ewing, J. A. u. Walter, L. H.: Proc. Roy. Soc. Bd. 73, S. 120, 1904. — Walter, L. H.: Proc. Roy. Soc. Bd. 77, S. 518, 1906. — Rossi, A. S.: Phys. Zschr. Bd. 10, S. 549, 1909. — Fessenden, R. A.: DRP 227 102, 1909 — Peuckert, W.: ETZ 1904, S. 992; — vgl. außerdem: Austin, W.: The comparative sensitiveness of some common detectors of electrical oscillations. Electr. Bd. 67, S. 709, 1914. — Gesellschaft f. drahtlose Telegraphie u. Rohmann, H.: Magnetdetektor, DRP 283 805 vom 17. 5. 1914. — Marconi's Wireless Telegraph Co.: Empfänger für die Telegraphie ohne fortlaufenden Draht, DRP 142 224 vom 12. 6. 1902. — The Marconi system of wireless telegraphy: Electr. Bd. 69, S. 133, 1912.

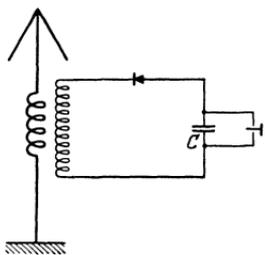


Abb 1442. Detektorkreis.

Detektoren, welche auf Spannungsintegrale ansprechen, sind die photoelektrischen Zellen (Behnen, H.: Verhandl. phys. Ges. Jg. 16, S. 668, 1914). Jedoch werden sie in der Technik nicht verwandt. Die bekanntesten und gebräuchlichsten Wellenindikatoren sind diejenigen, welche stromintegrierend wirken. Ihre Funktion ist so, daß, sofern sie von Wechselstrom durchflossen werden, sie als Ventilzellen wirken (Gleichrichter). Dementsprechend hat ihre Einschaltung in den Schwingungskreis zu erfolgen. Dieses führt zur Konstruktion der aperiodischen Detektorkreise (Kiebitz, F.: ETZ 1909, S. 225); sie bestehen aus einer

Spule, dem Detektor und einem Kondensator von wenigstens 2000 cm Kapazität, dem das Telephon parallel geschaltet ist (Abb. 1442). Der Detektor muß dabei möglichst kapazitätsfrei angeschlossen werden.

Man unterscheidet folgende stromintegrierende Detektoren:

(2187) Der elektrolytische Detektor. Er wurde unabhängig voneinander angegeben von Ferrié, R. Fessenden, Nernst und W. Schlömilch. Bekannt geworden ist die Schlömilchzelle der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie (Abb. 1443). Es ist ein Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure und zwei Elektroden aus Platin-drähten, von denen der eine sehr dünn und soweit isoliert ist, daß nur eine ganz kleine Spitze frei bleibt. Diese ist mit dem positiven, die große Elektrode mit dem negativen Pole des galvanischen Elements verbunden, dessen Spannung ungefähr so groß ist wie die Polarisations-spannung der Zelle selbst. Die Konstruktion von Fessenden benutzt einen feinen Wollaston-draht, der gerade die Oberfläche eines geeigneten Elektrolyten berührt (Salpetersäure). Nach J. E. Ives kann auch eine Lösung von Ätzkali genommen werden.

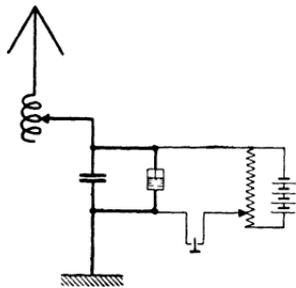


Abb. 1443.
Schaltung der Schlömilchzelle.

Die Empfindlichkeit eines Wellenindikators hängt von der Größe der positiven Elektrode ab, d. h. je kleiner diese ist, desto größer ist die Empfindlichkeit.

Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft: Verfahren zum Empfangen el. Schwingungen unter Benutzung elektrolytischer Zellen, DRP 150 149 vom 13. 3. 1903. — Vorrichtung zum Empfang el. Schwingungen, Zusatzpatent 176 401 vom 22. 1. 1904. — Jéou, P.: Elektrolytischer Detektor ohne elektromotorische Hilfskraft. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 7, S. 458, 1913. — Ives, J. E.: Ein elektrolytischer Detektor. Ebenda Bd. 4, S. 112, 1910/11. — Ludwig, P.: Die physikalischen Vorgänge in der Schlömilchzelle. Ebenda Bd. 3, S. 411, 1910. — Reich, M.: Einige Beobachtungen am Schlömilch-Zellendetektor für drahtlose Telegraphie. Phys. Zschr. Bd. 5, S. 338, 1904. — Rothmund, V. u. Lessing, A.: Versuche mit dem elektrolytischen Wellendetektor. Ann. Physik Bd. 15, S. 15, 1904. — Schlömilch, W.: Ein neuer Wellendetektor f. drahtl. Telegr. ETZ 1903, S. 959.

(2188) Kristalldetektoren. Sie bestehen aus einem Stück Silizium, einem Kies oder Glanz oder einem anderen Mineral, das von einer Metall- oder Graphit-spitze berührt wird. Derartige Detektoren sind seit langem in Gebrauch. Die Anordnung hierzu wurde von F. Braun (1901) gegeben und von der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie weiter ausgearbeitet. Weitere Angaben über geeignete Mineralien stammen von Dunwoody, G. W. Pierce, S. G. Brown, G. J. Pickard, C. Tissot. Die Gleichrichterwirkung wird zum Teil durch das Auftreten von Thermokräften bewirkt, zum Teil beruht sie auf elektrolytischer Polarisation. In letzterem Falle kann man die Empfindlichkeit noch erhöhen, wenn man den Detektor durch eine geeignete Hilfsspannung dauernd polarisiert.

(2189) Der Tikker. Der Tikker von Poulsen gehört ebenfalls zu den integrierenden Detektoren, er ist ein rasch vibrierender Kontakt zwischen Goldfedern und wurde zum Empfang der Poulsenschen Wellen (2160) benutzt. Frühere Indikatoren waren hierzu nicht geeignet, da sie nur für den Empfang der gedämpften Wellen brauchbar waren. Vorläufer des Tikkers sind der Synchronunterbrecher von Tesla (1901), die Unterbrecherschaltung von Shoemaker-Snook (1903). Anfänglich benutzten Poulsen und Pedersen den Rotations-kondensatorempfänger (1904), der später von Marconi und C. S. Franklin (1913) verbessert wurde. Allerdings ist hier der Tikkereffekt selbst nicht mehr vorhanden. Schaltet man den Unterbrecher in Reihe mit einem Detektor (Abb. 1444), so können sich die Schwingungen bis zur vollen Amplitude aufschaukeln, sofern der Resonanzkreis schwach gedämpft ist. Die Unterbrechungszahl soll im Tonfrequenzgebiet liegen; alsdann ist der Empfang der ungedämpften Schwingungen bei Verwendung eines Detektors als Gleichrichter ein musikalischer Ton. Eine ähnliche Einrichtung stammt von Telefunken (1908).

Die reine Tikkerschaltung verwendet lediglich den Unterbrecher (rotierend). Sie gestattet die ungedämpften Schwingungen je nachdem als Punkt oder Strich

hörbar zu machen. Für das Geräusch im Fernhörer ist maßgebend die Unterbrecherzahl. Da keine Dämpfungsglieder vorhanden sind (Abb. 1445), so ist eine wesentlich höhere Empfindlichkeit als bei reinem Detektorempfang möglich. Es können sowohl gedämpfte als ungedämpfte Stationen empfangen werden. Bei Empfang von Tonfunksendern geht allerdings der charakteristische Ton verloren (2156).

A r n d t, S.: Tikker zum Nachweis ungedämpfter elektromagnetischer Schwingungen. DRP 217 542 vom 20. 10. 1908. — L o r e n z, C., A.-G.: Empfangsanordnung für drahtlose Telegraphie. DRP 209 189 vom 28. 2. 1907. — M o s l e r: Tikkerempfang mit aperiodischem Kreis. ETZ 1911, S. 1027. — P o u l s e n, V.: Empfangssystem für drahtlose Signalübertragung. DRP 178 867 vom 6. 10. 1905. — D e r s.: Empfangsanordnung für drahtlose Telegraphie. DRP 203 704 vom 7. 9. 1905. — D e r s.: Anordnung bei Empfängern für Signale der drahtlosen Telegraphie. DRP 207 158, 209 495 und 210 454 vom 24. 10. 1906.

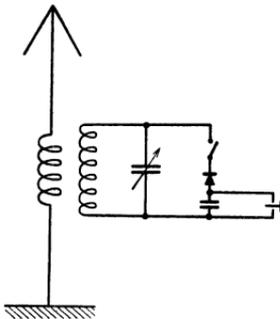


Abb. 1444
Tikkerschaltung mit Detektor

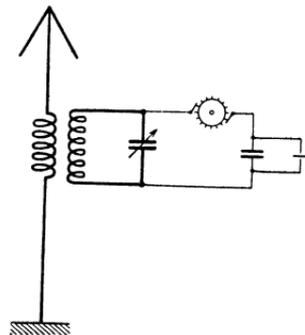


Abb. 1445. Reine Tikkerschaltung.

(2190) Der Schleifer, der in der Hauptsache von Telefunken entwickelt wurde, wirkt ebenso wie der Tikker; es ist ein Draht, der lose auf einer rotierenden Scheibe schleift.

A u s t i n, L. W.: Der Gleichrichterdetektor mit Schleifkontakt. Phys. Zschr. Bd. 12, S. 867, 1912. — G e s e l l s c h a f t f. d r a h t l. T e l e g r.: Ohne Hilfsspannung arbeitende Empfangseinrichtung für el. Schwingungen (Schleifer). DRP 256 707 vom 15. 3. 1911. — L o r e n z, C., A.-G.: Schleifkontakt (f. Tonrad). DRP 265 313 vom 28. 11. 1912.

(2191) Der Glühlampendetektor übt eine einfache Venturwirkung aus (I. A. Fleming, Proc. Roy. Soc. Bd. 74, S. 476, 1905). Er besteht aus einem im Vakuum weißglühenden Faden, der von einem Metallmantel umgeben ist. Der Faden sendet negative Elektronen aus, kann also nur als Kathode wirken und unterdrückt daher diejenigen Halbwellen, in denen positiver Strom vom Glühfaden zum Mantel fließen will, während er die anders gerichteten Halbwellen hindurchtreten läßt (97, 1182).

B r a n d e s, H.: Hilfsspannung für Kathodenrohren als Detektor. ETZ 1906, S. 1015. — D e r s.: Wellenempfindlicher Detektor. DRP 193 383 vom 1. 11. 1905. — F l e m i n g, J. A.: Oscillation valve or audion. Electr. Bd. 61, S. 843, 1908. — D e r s.: Oscillation valve. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 1, S. 95, 1908. — Electr. Bd. 55, S. 303, 1905. — F l e m i n g und M a r c o n i's W i r e l e s s T e l e g r a p h C o.: Verfahren zum Empfangen el. Schwingungen in der drahtlosen Telegraphie. DRP 186 084 vom 12. 4. 1905. — T i s s o t, C.: Ionised gas electric wave detectors. Electr. Bd. 58, S. 729, 1907. — W e h n e l t, A.: Ein el. Ventilrohr. Ann. Physik Bd. 19, S. 138, 1906. — Phys. Zschr. Bd. 5, S. 680, 1904.

(2192) Audion. Durch Hinzufügen einer dritten Elektrode (Gitter) wurde von de Forest der von ihm mit „Audion“ benannte Detektor geschaffen (1182). Im Gegensatz zu Fleming ist hier bereits eine Hilfsbatterie vorhanden (Abb. 1446). Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 3, S. 429, 1910 und Majorana, O.: Ebenda Bd. 2, S. 347, 1909.

Fast ausschließlich kommt heute die Röhre in ihrer speziellen Schaltung als Wellenindikator in Frage. Nur für Rundfunkzwecke bei kurzen Entfernungen hat der Detektor noch eine gewisse Berechtigung.

Das System Glühkathode-Gitter wird als Glühlampendetektor benutzt und zu dem Zweck in die Strombahn des Empfängerkreises gelegt (Abb. 1447). Dabei liegt ein großer Widerstand ($1\text{ M}\Omega$ und mehr) parallel zum Kondensator, weil sich sonst das Gitter im Betrieb mit dauernd wachsender negativer Ladung bedecken würde. Das Telephon wird in den Anodenkreis gelegt und empfängt auf diese Weise die gleichgerichteten Stromstöße in verstärkter Form.

Eine weitere Vervollkommnung in der Verwendung des Elektronenrelais im Empfänger bildet der Audionempfang mit Rückkopplung (Abb. 1448); die Röhre wird dabei nicht nur als Glühlampendetektor und einfacher Lautverstärker benutzt, sondern es wird noch eine weitere Lautverstärkung nach dem Prinzip der Rückkopplung herbeigeführt. Diese wird z. B. dadurch erreicht, daß in den Anodenkreis eine Spule gelegt wird, die auf die Spule des Gitterkreises induziert. Damit sich hierbei die Gleichstromstöße von der Frequenz der einfallenden Schwingung im Anodenkreis ausbilden können, muß parallel zur Anodenbatterie und zum Telephon noch ein Kondensator von großer Kapazität gelegt werden, der den hochfrequenten

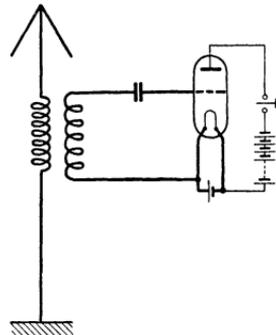


Abb. 1446. Audionschaltung.

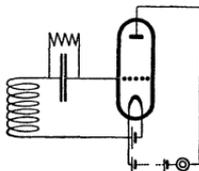


Abb. 1447. Audion.

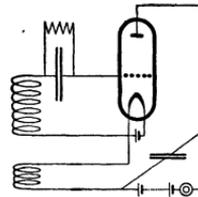


Abb. 1448. Audion mit Rückkopplung.

Schwingungen keinen erheblichen Widerstand bietet, die für das Telephon bestimmten Gleichstromstöße aber blockiert. Die Rückkopplung ist dabei loser als beim Röhrensender, so daß noch keine Selbsterregung von Schwingungen zustande kommt. Ihre Wirkung besteht in der Kompensation der Dämpfungsverluste des Empfängers, so daß man beim Audionempfang mit Rückkopplung sich dem Fall eines dämpfungslosen Empfängers beliebig nähern kann (vgl. Dunndrahtempfänger der C. Lorenz A.-G.).

Abgesehen von der einfachen Rückkopplung wird noch von der Audionrückkopplung nach I. de Forest (und Logwood, C.: USP 1170881 vom 12. 3. 1914, außerdem Austin, L. W.: Proc. I.R.E. Bd. 4, S. 252, 1916) der Ultraaudionschaltung Gebrauch gemacht (Abb. 1449). Vgl. Armstrong, E. H.: Proc. I.R.E. Bd. 4, S. 264, 1916. — Vallauri, G.: Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 12, S. 375, 1917.

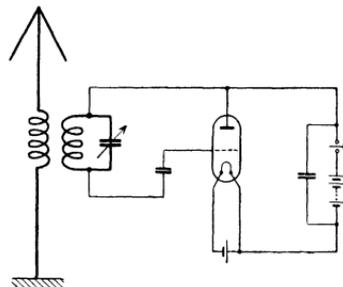


Abb. 1449. Ultraaudionschaltung.

Ferner sind bemerkenswert die Schaltungen von R. A. Weagant (s. E. E. Bucher: Vac. Tub. New York 1918/19, S. 103), H. Rukop (1920) und G. Leit-

häuser und K. Heegner: Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 17, S. 21, 1921 u. Bd. 21, S. 30, 1923).

(2193) Schwebungs- oder Interferenzempfang. Zum Empfang ungedämpfter Telegraphierstationen wird die Rückkopplung des Audions so fest genommen, daß das Elektronenrelais als Sender wirkt, es erzeugt alsdann z. B. im Zwischenkreise Schwingungen. Auf dieser Erscheinung beruht eine neue Verwendung des Elektronenrelais. Man gibt der Frequenz der im Zwischenkreise erzeugten Schwingung eine kleine Differenz gegen die Frequenz der in der Antenne aufgenommenen Welle. Alsdann bilden sich durch Interferenz Schwebungen aus; ihre Frequenz hat man in der Hand durch die Frequenzdifferenz zwischen der einfallenden und der selbstregerten Schwingung. Diese stellt man so ein, daß sie einem hörbaren Ton entspricht, den man alsdann im Telephon wahrnimmt. Die ersten Angaben stammen von R. A. Fessenden und F. K. Vreeland. Abb. 1450 zeigt als Beispiel eine derartige Schaltung für Schwebungsempfang (Schwebungszusatzkasten).

Der Schwebungsempfang ist natürlich nicht allein an die Audionwirkung gebunden, sondern ist auch mit anderen Detektoren anwendbar (Abb. 1451).

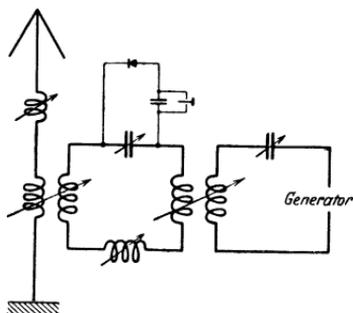


Abb. 1450. Schwebungsempfang.

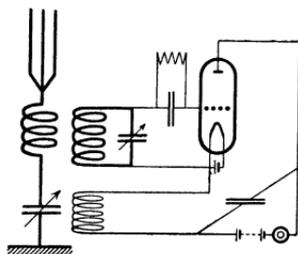


Abb. 1451. Schwebungsempfang.

Außerdem können anstatt der Röhren zur Erzeugung der Hilfsschwingungen noch andere Mittel Anwendung finden. Abgesehen von der rotierenden Kopplung (A. Meißner, M. Vos, W. Schlömilch, Telefunken: DRP 297971 vom 3. Mai 1916), welche bisher nur theoretisches Interesse hat, da sie nicht zur Anwendung gekommen ist, hat das Tonrad von R. Goldschmidt (DRP 257141 vom 19. 10. 1911) seine Brauchbarkeit erwiesen. Allerdings ist es auch heute durch die einfachere Röhrenschaltung verdrängt worden. Ähnlich dem Tonrad arbeitet der „Töner“ der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie (A. Hänni und W. Schlömilch, DRP 300024 vom 16. Okt. 1915).

Der Schwebungsempfang mittels Röhre stellt jedoch die einfachste und vollkommene Methode dar.

Vgl. ferner:

Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft: Empfangseinrichtung für die heterodynamische Wellentelegraphie, DRP 302894 vom 30. 12. 1914. — Austin, L. W.: Der Heterodyn-Empfänger von Fessenden. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 8, S. 443, 1914. — Eales, H.: Über Gasröhrenschwebungsempfang. Ebenda Bd. 12, S. 47, 1918. — Fessenden, R. A.: The principles of el. wave telegraphy. Electr. Bd. 59, S. 985, 1907. — Goldschmidt, R.: Das Tonrad als Detektor in der drahtlosen Telegraphie. ETZ 1914, S. 93 u. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 8, S. 516, 1914. — Latour, M.: Betrachtungen über die Empfindlichkeit des Heterodympfängers in der drahtlosen Telegraphie. El. World Bd. 65, S. 1039, 1915.

(2194) Hör- und Schreibempfang. Diejenigen Wellenindikatoren, welche selbsttätig nach dem Aussetzen der Schwingung wieder in ihren Normalzustand zurückkehren, gestatten ohne weiteres den Empfang mittels Telephon, also den „Hörempfang“. Abgesehen von den Röhren als Detektor kann man die übrigen

Wellenindikatoren in solche mit und ohne Hilfselement einteilen. Dementsprechend hat sinngemäß die Schaltung des Indikators oder Detektors zu erfolgen.

Sofern der Wellenindikator mit Hilfselement versehen ist, hat man sich der prinzipiellen Schaltung nach Abb. 1452 zu bedienen. Die notwendige Hilfsspannung wird mittels des Potentiometers eingestellt. Entsprechend der Konstruktion sind noch Drosselspulen notwendig, die eine schädliche Verzweigung verhindern sollen.

Der Hörempfang war in Verbindung mit dem Detektor oder der elektrolytischen Zelle üblich. Jedoch war Schreibempfang mit derartigen Wellenindikatoren ausgeschlossen.

Andererseits ist die automatische Registrierung der Telegramme stets erwünscht, besonders wenn es sich um Schnellbetrieb handelt. Der Schreibempfang war bereits bei den Fritterempfängern in Anwendung, jedoch war Hörempfang unmöglich.

Bereits von Lodge und Muirhead stammt die Anwendung eines Galvanometers von kurzer Schwingungsdauer und starker Dämpfung [Heberschreiber (1462)] in Verbindung mit Thermodetektor oder Quecksilberkohärer. Eine Verbesserung stellt das Saitengalvanometer mit photographischer Registrierung der Zeichen dar (Lichtschreiber). Dieses Galvanometer besteht im allgemeinen aus einem Wollaston-Draht, der zwischen den Polen eines Magnets senkrecht zu den Kraftlinien ausgespannt ist. Beim Stromdurchgang wird dieser Draht aus seiner Ruhelage senkrecht zu den Kraftlinien abgelenkt (Ausführung von C. Lorenz A-G. und anderen Firmen). Verwendet man an Stelle eines Galvanometers ein Relais (10^{-6} A Betriebsstrom), wie es bereits Marconi bei seinen ersten Stationen getan hat, so kann man Morseapparate (Farbschreiber) verwenden. Schnellschreiber verlangen besondere Relais, die erst in neuerer Zeit brauchbar wurden. Da Detektoren nicht soviel Strom vertragen, so können derartige Wellenindikatoren nur in Verbindung mit Verstärkern (Brownsches Relais und Tonverstärker der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie) betrieben werden. Da jedoch heute die weit besseren Röhren zur Verfügung stehen, so kommen nur diese in Anwendung.

(2195) Die Schaltrelais werden eingeteilt in Wechselstrom- und Gleichstromrelais.

Wechselstromrelais kommen im allgemeinen wenig in Anwendung, da das Ansprechen nicht so sicher ist als bei den Gleichstromrelais, die mit wesentlich geringerem Wattverbrauch arbeiten. Von den Wechselstromrelais können das Thomsonringrelais und das Hitzdrahtrelais mit Hoch- und Niederfrequenz betrieben werden, dagegen kommen das Weicheisenrelais, das Vibrationsrelais und das labil eingestellte Gleichstromrelais nur bei Betrieb mit Niederfrequenz in Frage.

Die Gleichstromschaltrelais, welche in der Hauptsache mit Vormagnetisierung arbeiten, können verschiedene Ausführungsformen erhalten. Man verwendet in der Hauptsache Relais mit einseitiger Direktionskraft (Federspannung) und polarisierte (doppelwirkende) Relais. Elektrostatisch wirkende Relaisanordnungen kommen kaum in Frage und haben nur rein theoretisches Interesse. Wichtig sind die verschiedenen Röhrenschaltungen zur Erzeugung des Gleichstroms zwecks Betätigung der Relais.

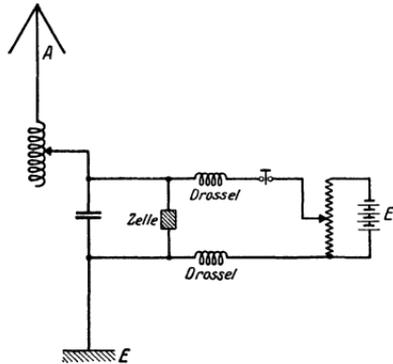


Abb. 1452. Wellenindikator mit Hilfselement.

Die einfachste Methode ist die Schaltung einer Dreielektrodenröhre als Ventil oder Gleichrichter (Abb. 1453). Es ist lediglich eine Heizbatterie (HB) vorhanden; Gitter und Anode sind verbunden, so daß hier eine gewisse Ähnlichkeit mit der Flemingröhre (2191) besteht. Sofern die induktiv zugeführte Wechselspannung Null ist, ist der Anodenstrom praktisch auch gleich Null (vgl. J. Weinberger: Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 20, S. 89, 1922). Der Transformator Tr ist in Reihe mit dem Relais R_e geschaltet. Eine andere Methode ist die für Relaiszwecke abgeänderte Richtverstärkerschaltung. Wichtig ist, daß zu gleicher Zeit eine Verstärkerwirkung vorhanden ist. Die Schaltung selbst ist ganz normal und besteht aus Gitterkreis und Anodenkreis. Die Gittervorspannung ist so zu wählen, daß man im negativen Teil, und zwar am Fußpunkt der Charakteristik arbeitet (A. Meißner, DRP 300013 vom 8. 2. 1916, DRP 306336 vom 6. 3. 1917. — W. Schottky, Arch.f. Elektr. Bd. 8, S. 1 u. 300, 1919). Auch hier ist der Anodenstrom in der Ruhepause praktisch gleich Null.

Neben der normalen Audionschaltung, die gleichfalls Anwendung finden kann (Anodenstrom im Ruhezustand am größten), ist besonders die mit Kom-

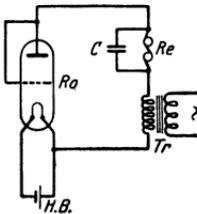


Abb. 1453.
Gleichrichter-Schaltung.

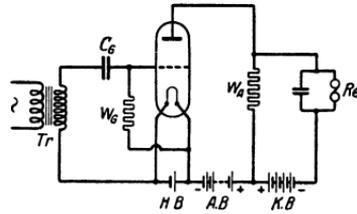


Abb. 1454. Audionschaltung mit Kom-
pensation des Ruhestromes.

pensation des Ruhestromes arbeitende Audionschaltung zu erwähnen (Abb. 1454). Der Ruhestrom im Relais wird auf Null gebracht. Auf der Gitterseite ist vorhanden: Transformator Tr , Gitterkondensator C_g und Ableitungswiderstand W_g . Neben der Heizbatterie ist noch vorhanden die Anodenbatterie AB und die Batterie für die Kompensationsspannung KB . Der Anodenkreis enthält den Widerstand W_a und den Relaiskreis. Es ist also für diese Anordnung Bedingung, daß die Kompensationsspannung gleich dem Spannungsabfall: $W_a = I_R$ ist, wobei I_R den Ruhestrom bedeutet. (Vgl. F. Banneitz: DRP 349069 vom 23. 6. 1920; Telegr.- u. Fernspr.-Techn. Bd. 9, S. 90, 1920. — F. Eppen: Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 20, S. 173, 1922). Bei der auch hierher gehörenden Schwingungsschaltung ist zu berücksichtigen, daß sie nicht ganz einfach in ihrem Aufbau und in ihrer Bedienung ist. Wichtig ist die Einstellung der Röhre durch geeignete Gittervorspannung, so daß sie im Springreißbe (1208) arbeitet. Es sind besondere Kontakteinrichtungen notwendig, die z. B. die Rückkopplung kurzschließen. Näheres hierüber s.:

Turner, L. B.: Brit. Pat. 130 408 vom 16. 2. 1918. — DRP 362 151 vom 16. 2. 1918. — Cusins, A. G. T.: Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 20, S. 93, 193, 1922. — J. Inst. El. Eng. Bd. 60, S. 245, 1922. — Rukop, H.: Telefunken-Zg. Nr. 31 bis 35, 1923/24. — Zschr. f. techn. Phys. Bd. 5, S. 260, 299 usw., 1924. — Trautwein, F.: Zschr. f. techn. Phys. Bd. 5, S. 556, 1924.

Sofern polarisierte Relais zur Anwendung gelangen, ist zu berücksichtigen, daß diese Relais zwei Ruhelagen besitzen. Dementsprechend sind die Röhrenschaltungen auszubilden.

Bei der Richtverstärkerschaltung (Abb. 1455), die mit passend eingestellter Gittervorspannung am unteren Punkt der Charakteristik arbeitet, ist ein Kondensator C in Reihe mit dem polarisierten Relais geschaltet. Durch Aufladung und Entladung dieses Kondensators wird das Relais betätigt und es ist möglich, so die beiden Lagen der Schaltungen zu erhalten.

Siemens & Halske: DRP 331 496 vom 12. 10. 1917. — Banneitz, F.: DRP 347 586 vom 23. 6. 1920; Telegr.- u. Fernspr.-Techn. Bd. 9, S. 80, 1920.

Nach A. Clausing (S & H) kann auch ein Transformator im Anodenkreise verwendet werden, der die Anpassung der Relaisimpedanz an den inneren Widerstand der Röhre gestattet. Ferner sind noch in Anwendung die Relaischaltung mit Stromkompensation (ähnlich wie Abb. 1454) nach Angaben von F. Banneitz und F. Eppen, die Gegentaktschaltung (Abb. 1456) von P. Schuchmann (S & H) und die Raumladungsgitterröhrenschialtung (Abb. 1457). Die Gegentaktschaltung verwendet zwei Röhren, von denen die eine als Richtverstärker arbeitet. Die günstigste Wirkung wird erzielt, wenn sofern der Ruhestrom der ersten Röhre Null ist, die zweite Röhre den vollen Anodenstrom führt. Derartige Anordnungen haben sich sehr gut bewährt.

Die Raumladungsgitterröhrenschialtung (S & H, DRP 349097 vom 29. 8. 1919 — 349098 vom 8. 5. 1920) verfolgt das gleiche Ziel wie die Gegentaktschaltung, jedoch wird dieses nicht ganz erreicht.

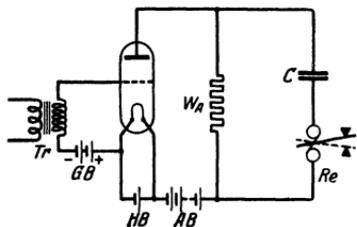


Abb. 1455. Richtverstärkerschialtung.

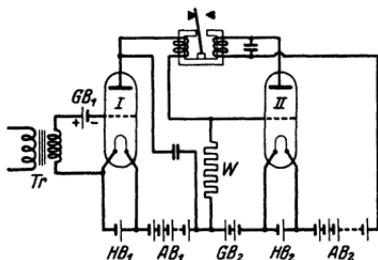


Abb. 1456. Gegentaktschialtung.

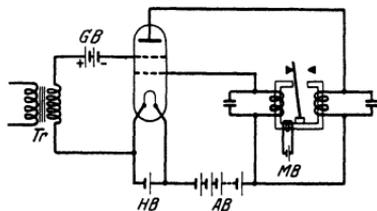


Abb. 1457. Raumladungsgitterröhrenschialtung.

Praktisch wenig zur Anwendung gekommen sind bisher die elektrostatischen Relais. Es liegt das darin, daß sie immer noch zu unsicher arbeiten. Vorschläge für derartige Relais stammen von T. A. Edison (Elektromotograph); vgl.:

Grätz, L.: Die Elektrizität und ihre Anwendung. 1883, S. 318. — Fessenden, R. A. (Franz. Pat. 401 366; USP 1 045 781 vom 16. 6. 1908; DRP 244 092 vom 12. 5. 1910, 244 093 vom 5. 4. 1911). — Johnson, A. und Rahbek, K. (Brit. P. 151 997 vom 15. 2. 1919 — 144 761 vom 6. 3. 1919 — 146 747 vom 6. 9. 1919). Electr. Bd. 86, S. 694, 1921. — Rottgardt, K.: Zschr. f. techn. Phys. Bd. 2, S. 315, 1921.

Das elektrostatische Relais arbeitet genau wie das magnetische in Verbindung mit Hochvakuumverstärkerröhren. Die notwendigen Schaltungen sind sinngemäß abzuändern und es ist zu berücksichtigen, daß die Kopplung zwischen Verstärker und Relais mittels Widerständen zu erfolgen hat.

(2196) Großstationsempfängeranlagen. Da für Großanlagen fast durchweg der Betrieb für Schreibung vorgesehen ist, so sind für die notwendige Verstärkung die verschiedensten Verstärker in Form von Hochfrequenz-, Zwischenfrequenz- und Niederfrequenzverstärkern in Anwendung. Die großen Verstärkungszahlen, die mit dem Elektronenrelais erreicht werden können (1000- bis 10000fach) haben dazu geführt, daß man auch mit sehr kleinen Antennen noch ferne Stationen hören kann. Man kann daher auf den Bau von besonderen Luftleitern verzichten und zum Empfang große Drahtspulen von einigen Windungen benutzen, die im Zimmer oder in besonderen kleinen Gebäuden aufgestellt werden können. Solche Spulen werden bekanntlich auch als Rahmenantennen (2205)

bezeichnet. Sie besitzen eine starke Richtwirkung insofern, als sie in der Rahmen-ebene maximal empfangen, aus der Richtung senkrecht zum Rahmen dagegen nichts aufnehmen können.

In Abb. 1458 ist die Schaltung einer Großstationsempfangsanlage mit Rahmen unter Verwendung von Zwischenfrequenzverstärkung (Amerika-Empfänger in Geltow) gegeben (vgl. Telefunken-Zg. Nr. 28, S. 30). Die Bedeutung der Zeichen ist folgende:

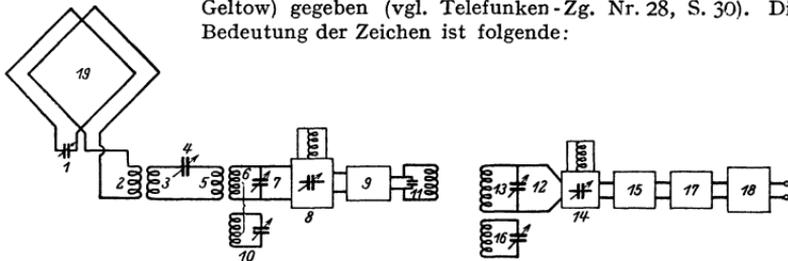


Abb. 1458. Großstationsempfangsanlage.

- 1 = Rahmenabstimmkondensator,
- 2 = Rahmenkoppelspule,
- 3 = Zwischenkreiskoppelspule,
- 4 = Zwischenkreisabstimmkondensator,
- 5 = Zwischenkreisselbstinduktion,
- 6 = Tertiärkreisselbstinduktion,
- 7 = Tertiärkreiskondensator,
- 8 = Rückkopplung für Hochfrequenz,
- 9 = Hochfrequenzverstärker,
- 10 = Überlagerer für Hochfrequenz,
- 11 = Zwischenfrequenzkoppelspule,
- 12 = Zwischenfrequenzabstimmkondensator
- 13 = Zwischenfrequenzselbstinduktion,
- 14 = Zwischenfrequenzrückkopplung,
- 15 = Zwischenfrequenzverstärker,
- 16 = Zwischentfrequenzüberlagerer,
- 17 = Tonselktion,
- 18 = Niederfrequenzverstärker,
- 19 = Rahmen.

Diese Geräte müssen, um Störungen zu vermeiden, in einem eisengepanzten Schrank untergebracht werden. Der Rahmen hat etwa eine Fläche von 10 m². Die Retätigung erfolgt vom Innern der Kabine mittels Handrades.

Zur Fixierung der Zeichen wird sehr häufig der Heberschreiber (1462) benutzt (vgl. J. Weinsberger: Proc. I.R.E. 9, 1921; Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 20, S. 30, 1922). Diese Vorrichtung besteht bekanntlich aus einem geeignet geformten Hebelarm, der von einer Spule bewegt wird. Andererseits findet der Siemens-Schnelltelegraph bereits ebenfalls schon große Verwendung, und es ist möglich, zwischen Nauen und Amerika eine Geschwindigkeit von 130 Wörtern in der Minute zu erzielen.

(2197) Anrufeinrichtungen. Bei unterbrochenem Betriebe ist eine Anrufeinrichtung unerlässlich. Die Konstruktion dieser Vorrichtung ist verschieden, je nachdem welcher Detektor zur Anwendung gelangt. Bei dem Fritter ist jegliche Schwierigkeit vermieden, da durch den Klopferr bereits infolge des Geräusches der Beamte aufmerksam wird. Außerdem läßt sich die Einrichtung so schaffen, daß der Morseschreiber automatisch in Betrieb gesetzt wird.

Anders liegen die Verhältnisse bei Kristalldetektoren, elektrolytischen Zellen, Ventilröhren, Magnetdetektoren oder beim Schleifer und Trikker. Die Emp-

fangsenergie ist zur Betätigung von Anrufapparaten zu gering, aus diesem Grunde sind besondere Anrufapparate notwendig.

Abgesehen von dem Vorschlag von v. Bronk (DRP 217 389 vom 13. 5. 1909), eine Selenzelle in Verbindung mit einem Spiegelgalvanometer zu benutzen, so daß durch Ablenkung des Lichtstrahls die Zelle verdunkelt und ein Relais sekundär betätigt wird, sind noch andere Konstruktionen angegeben worden, z. B. ein Drehspulengalvanometer (Empfindlichkeit 10^{-6} A), welches im Stromkreise eines Detektors liegt und bei Maximalausschlag Kontakt für eine Alarmeinrichtung macht. Der Kontaktdruck ist zu unsicher, außerdem ist ein Ansprechen auf atmosphärische Störungen nicht zu vermeiden. Wesentlich sicherer arbeitet der Anrufapparat mit Galvanometer und Wippeinrichtung der C. Lorenz A.-G.

Am geeignetsten sind Einrichtungen, welche in Verbindung mit Röhrenempfängern und passend konstruierten Verstärkern ausgerüstet sind, so daß sowohl akustische wie optische Anrufe ohne weiteres möglich sind. Allerdings ist zu berücksichtigen, daß die Röhren dauernd in Betrieb zu halten sind. Vgl.:

Eichhorn, G.: Anrufapparat für funktelegraphische Stationen. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 4, S. 404, 1910/11. — Fessenden, R. A.: Anrufeinrichtung f. Einrichtungen zur Übertragung von Zeichen mittels elektromagnetischer Wellen. DRP 201 047 vom 7. 3. 1917. — Gesellschaft für drahtl. Telegraphie m. b. H.: Anrufvorrichtung für drahtlose Nachrichtenübermittlung mittels Zeiger-Drehspulgalvanometer-Relais. DRP 229 218 vom 8. 4. 1909. — Lorenz, C., A.-G.: Anrufvorrichtung für drahtlose Empfangssysteme. DRP 217 389 vom 13. 5. 1909. — Schaltungsweise von Anrufvorrichtungen der drahtlosen Telegraphie und Telephonie. DRP 292 221 vom 11. 5. 1909.

(2198) Gegensprechen. Unter diesem Wort versteht man die Möglichkeit, in wechselnder Richtung zu verkehren, also auch die gebende Station von der empfangenden aus unterbrechen und fragen zu können. Sie ist für einen ungehinderten, schnellen Gedankenaustausch unbedingt erforderlich.

Wenngleich bereits verschiedene Vorschläge zur Lösung dieses Problems vorhanden sind, so ist doch eine einwandfreie Lösung bisher noch nicht gefunden worden.

(2199) Umschaltverfahren. Die einfachste Art ist die Verwendung des Sendeempfangsumschalters. Man hat je einen Sender und Empfänger und steht entweder auf Senden oder Empfang. Derartige Einrichtungen dürften sich besonders bei großen Anlagen notwendig erweisen. Da aber nur gesendet oder empfangen werden kann, so ist diese Methode sehr primitiv.

Unter Verwendung von Röhren als Sender oder Empfänger könnte bei den kleinsten Typen die Vereinfachung vorgenommen werden, daß die gleiche Röhre einmal sendet, dann bei geeigneter Umschaltung (Veränderung der Kopplung) zum Empfang benutzt werden kann.

Derartige Anordnungen sind nur Notbehelfe, auch die Methode der Gen. El. Co. (W. C. White, amerik. Patent 1298613 vom 23. 4. 1915, Umschaltung der Antenne auf den Sender mit Hilfe von Relais, die durch Sprachfrequenz gesteuert werden), kann dazu gerechnet werden.

(2200) Getrennte Antennen. Bei den heutigen Großstationen wird zweckmäßig so verfahren, daß man zwei verschiedene Wellen und Antennen benutzt. (Sender: Hochantenne, Empfänger: Rahmen.) Empfangs- und Sendestation stehen räumlich weit auseinander (vgl. Nauen—Geltow), beide werden fernbedient. An einer dritten Stelle befinden sich Besprechungs- oder Tasteinrichtung zusammen mit dem Fernhörer. Bedingung für ein einwandfreies Arbeiten ist jedoch große Abstimmfreiheit der benutzten ungedämpften Wellen auf der Sendestation bei genügender Wellenkonstanz und die Anwendung der Braunschenschen Rahmenantenne mit ausgeprägter Richtwirkung. Zur Vermeidung von Störfeldern ist, abgesehen von Rahmen, die gesamte Empfangseinrichtung einschließlich Batterien in eisengepanzerten Schränken untergebracht.

Als Beispiel soll die Einrichtung von Transradio dienen, wie sie zum Amerikaempfang benutzt wird (Abb. 1459). Die Sendestation befindet sich in Nauen, die Empfangsanlage (Rahmen) in Geltow. Sender und Empfänger sind räumlich also etwa 30 km voneinander entfernt und werden von der Betriebszentrale in Berlin bedient. Demnach ist Nauen durch eine Tastleitung, Geltow durch eine

Übertragerleitung mit der Betriebszentrale verbunden. So ist es möglich, daß Rückfragen stattfinden können. Zwecks schneller Verkehrsabwicklung ist die Betriebszentrale durch besondere Rohrpostleitungen mit dem Haupttelegraphenamt verbunden.

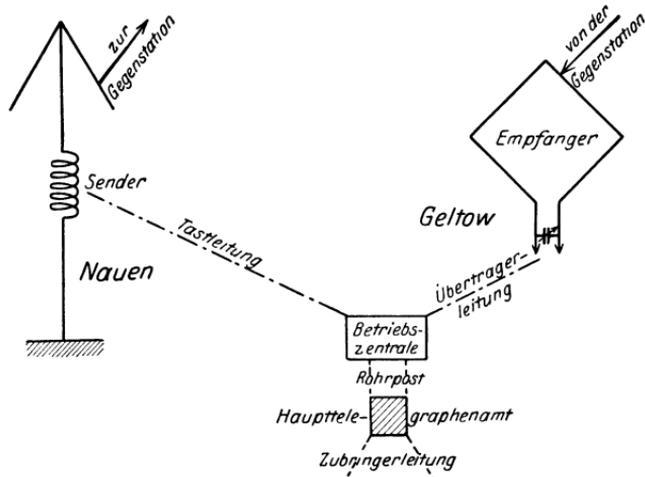


Abb. 1459. (Duplex)-Sende-Empfangsanlage.

Die beschriebene Methode gestattet nur mit einer Gegenstation in Duplex zu arbeiten. Zurzeit ist die technische Einrichtung in Nauen—Geltow so beschaffen, daß zu gleicher Zeit drei Senderanlagen mit den dazugehörigen Rahmen (Antennen) in Betrieb sind. Die Bedienung erfolgt gemeinsam von der Betriebszentrale. Nach dem Ausbau Nauens wird aber die Möglichkeit gegeben sein, mit acht bis neun Stationen zu gleicher Zeit in Duplex zu arbeiten.

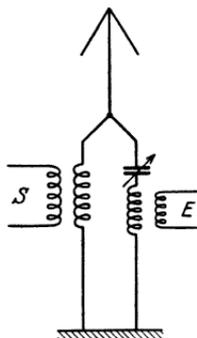


Abb. 1460.
Gegensprechen mit einer Antenne.

Bei Verwendung einer Hochantenne anstatt des Empfangsrahmens sind besondere Sperr-, Kurzschluß- oder Ableitungskreise notwendig (I. St. Stone: J. Frankl. Inst. Bd. 174, S. 353, 1912. — W. Schäffer: Tijd. Ned. Rad. Bd. 1, S. 33, 1921). Man kann z. B. so verfahren, daß man die Empfangsantenne zunächst über einen Sperrkreis für die Sendewelle der eigenen Station mit dem Empfänger verbindet. Parallel zu dieser Anordnung ist abgezweigt ein Kreis bestehend aus einem schwingungsfähigen Gebilde als Nebenschluß mit möglichst kleiner Impedanz für die eigene Sendewelle, außerdem ist noch ein Sperrkreis für die Empfangswelle angekoppelt.

Schaltungsanordnungen, welche für Sender und Empfänger nur eine gemeinsame Antenne benutzen, arbeiten wesentlich unsicherer, so daß der Betrieb nur möglich ist, wenn mit zwei Wellen gearbeitet wird, die voneinander sehr verschieden sind (Abb. 1460). Außerdem kann nur ein schwacher Sender Verwendung finden, da sonst die Energie doch durchschlagen würde.

Diese Schaltung kann noch vereinfacht werden, wenn man die Antenne einwellig, und zwar nur für die Sendewelle, abstimmt. Der Empfänger ist lose gekoppelt. Bedingung ist auch hier ein großer Wellenunterschied zwischen Sender und Empfänger.

Die in Abb. 1460 angegebene Schaltung, welche bei einer Antenne Betrieb mit je einer Abstimmung für Sender und Empfänger gestattet, kann durch Einfügung von Entkopplungseinrichtungen verbessert werden, Abb. 1461 (vgl. L. Espenschied, amer. Pat. 1256889 vom 15. 5. 1916). Die Kompensation kann

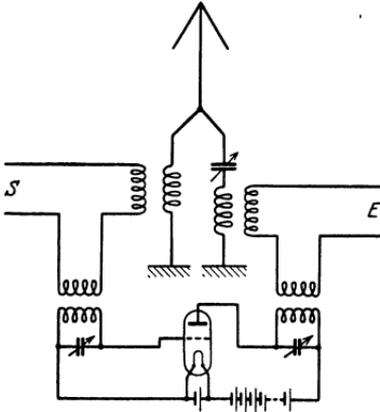


Abb. 1461. Gegensprechen mit einer Antenne und Entkopplungseinrichtungen.

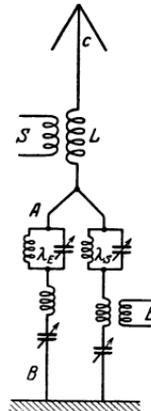


Abb. 1462. Gegensprechen mit gemeinsamer Antenne und mit Sperr- und Ableitkreisen.

nach Phase und Amplitude erfolgen, außerdem besteht die Möglichkeit der Verwendung einer besonderen Röhre für diese Zwecke.

(2201) Gemeinsame Antenne. Mit Hilfe von Sperr- und Ableitkreisen, wie es bereits I. St. Stone angegeben hat, läßt sich nach Anordnung von W. Schäffer und Telefunken-Zg. ein mehrwelliges Antennengebilde konstruieren, welches sich sowohl für die Sendewelle als auch für die Empfangswelle in Resonanz befindet (Abb. 1462). Die Abstimmung hat so zu erfolgen, daß für die Sendewelle abgestimmt werden: Antenne C und Selbstinduktion L, desgleichen die Schwingungskreise zusammengenommen zwischen den Punkten A und B, und das Schwungrad auf der Empfängerseite. Da zwischen A B die Spannung sehr gering ist, so gelangen zum Empfänger kaum merkliche Teile der Sendeströme; ferner befindet sich noch als weiterer Schutz der Schwungradkreis mit Abstimmung auf λ_S der Empfängerseite.

Die gleiche Maßnahme ist auf der Sendeseite getroffen, indem hier das Schwungrad auf λ_E abgestimmt ist, um jegliche Verluste an Empfangsenergie zu vermeiden.

Anstatt derartiger Methoden kann nach O. Scheller, C. Lorenz A.-G. (DRP 273616 vom 31. 5. 1913, DRP 274925 vom 6. 6. 1913) auch eine Schaltung nach der Wheatstoneschen Brückenkombination genommen werden (Abb. 1463). Die Brücke ist abgeglichen, wenn die Werte des Antennengebildes durch C_1 , L_1 , R_1 nachgebildet werden, ferner wenn $L_2 = L_3$ ist.

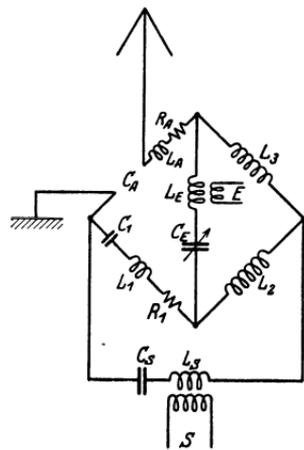


Abb. 1463. Gegensprechen mit gemeinsamer Antenne in Wheatstonescher Brückenschaltung.

Ähnlich wie bei Zwischenverstärker-Zweiroherschaltungen kann auch für funktenographisches Gegensprechen eine Art Ausgleichsschaltung verwandt werden (Fessenden, R. A.: DRP 208750 vom 5. 4. 1908), die fälschlich auch als „Brücke“ bezeichnet wird. Es ist zu bedenken, daß bei einer derartigen Schaltung das Antennengebilde mit Zusatzelementen künstlich nachgebildet werden muß. Der Empfänger liegt in einer elektrischen Symmetrieachse mit gleichen Äquipotentialpunkten, so daß er vom Sender nicht beeinflußt wird.

Die Gegensprechschaltung von O. Scheller mittels der Brücke und die Ausgleichsschaltung von R. A. Fessenden lassen infolge ihrer Anordnungen auch den Betrieb mit einer Welle zu. Allerdings ist zu berücksichtigen, daß die Abgleichungen wesentlich genauer erfolgen als bei Betrieb mit zwei Wellen, ferner daß eine Teilung der Empfangsenergie unter allen Umständen eintreten muß. Alle zur Zeit bestehenden Methoden des Gegensprechens, welche rein elektrisch mit einer Antenne arbeiten, ohne zu schalten, kommen nur für ganz geringe Reichweiten bzw. Sendestromstärken in Frage. Gänzlich ausgeschlossen ist die Anwendung für Großstationen. Hier bleibt nur der Betrieb mit zwei getrennt aufgestellten Antennen und zwei verschiedenen Wellen übrig.

Denkbar ist ein praktischer Gegensprechbetrieb mit einer Antenne nur bei denjenigen Geräten, die die gleiche Röhre zum Senden und Empfang benutzen können. Aber auch hier bestehen gewisse Schwierigkeiten, wie gleichzeitiges Arbeiten der Röhre als Sender und Empfänger; dazu erscheint, wenn man keine besonderen Hilfsmittel anwendet, die eigene Sprache zu laut im Hörer. Wenngleich auch hier durch Begrenzungsröhren oder Kompensationschaltungen Abhilfe geschaffen werden kann, so muß doch besonders bei kleinen Anlagen die Einfachheit berücksichtigt werden.

Gerichtetes Senden und Empfangen.

I. Grundlagen.

(2202) Reziprozitätstheorem der drahtlosen Telegraphie von A. Sommerfeld: Eine Antenne A_1 sende im Punkte O_1 und werde im Punkte O_2 von der beliebig gerichteten Antenne A_2 empfangen. Andererseits sende A_2 mit derselben Frequenz und Energie wie vorher A_1 und werde von A_1 empfangen. Dann ist die empfangene Feldstärke in A_1 dieselbe wie vorher die in A_2 , und zwar unabhängig davon, wie das Zwischenmedium elektromagnetisch beschaffen ist, und wie die Antennen geformt sind.

Dieses Gesetz bringt eine wesentliche Vereinfachung bei der Behandlung von Sender- und Empfangsgebilden. Nach ihm genügt es, für die gerichtete drahtlose Telegraphie deren Gesetze entweder für Senden oder für den Empfang abzuleiten.

Man pflegt das Richtvermögen einer Anlage in Polarkoordinaten als Richtcharakteristik darzustellen, indem man in den verschiedenen Richtungen die Feldamplitude (oder auch Energie) aufträgt, die die Anlage in dieser Richtung erzeugt bzw. aus dieser Richtung empfängt. Voraussetzung ist dabei, daß man bei einer Sendeanlage mehrere Wellenlängen von ihr entfernt ist, bzw. daß beim Empfang die ankommende Wellenfront in der Ausdehnung der Empfangsanlage als eben betrachtet werden kann.

Als Maß für das Richtvermögen kann der Flächeninhalt der Richtcharakteristik gewählt werden, wobei die Maximalamplitude übereinkunftsgemäß auf den Maßstab 1 zu reduzieren ist.

Literatur: Rudenberg: Aussendung und Empfang elektrischer Wellen. Berlin: Julius Springer 1926. — Rukop-Zenneck: Drahtlose Telegraphie. Stuttgart: F. Enke 1925, S. 406—438. — Sommerfeld: Das Reziprozitätstheorem der drahtlosen Telegraphie. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 26, S. 93, 1925. — Walter, L. H.: Directive Wireless Telegraphy. London: Pitmann 1921. — Ollendorff: Hochfrequenztechnik. Berlin, Springer, 1926, S. 479—609.

II. Richtcharakteristik für die längs der Erdoberfläche sich ausbreitenden Wellen.

(2203) Polarisierte Wellen. Die bisher in der drahtlosen Telegraphie benutzten Wellen breiten sich im allgemeinen längs der Erdoberfläche aus, und zwar so, daß das elektrische Feld über extrem gut leitendem Boden senkrecht steht — über schlecht leitendem Boden neigt sich das Feld nach vorne, doch erreicht dieser Neigungswinkel immer nur wenige Grad —, während das magnetische Feld stets parallel zur Erdoberfläche schwingt. Solche Wellen sollen im folgenden als normal polarisiert bezeichnet werden. Als Polarisations ebene gelte die Ebene durch den elektrischen Feldvektor und die Fortpflanzungsrichtung. Auf der Polarisations ebene steht demnach der magnetische Vektor senkrecht.

(2204) Linearantenne. Jedes gerichtete Gebilde läßt sich zurückführen auf die Linearantenne. Diese nimmt aus allen Richtungen gleichmäßig auf, ihre

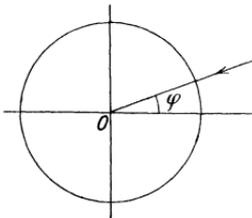


Abb. 1464. Richtcharakteristik der Linearantenne.

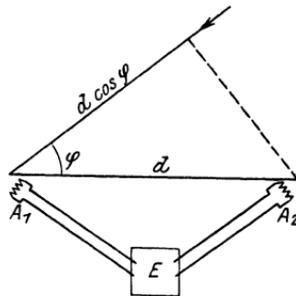


Abb. 1465. Rahmenerersatz durch 2 Linearantennen.

Charakteristik ist daher ein Kreis $r = 1$ (Abb. 1464); die in der Antenne wirkende EMK ist mit dem ankommenden Feld in Phase; ihre Stärke ist proportional der Höhe der Antenne.

(2205) Der Rahmen kann im Strahlungsfeld sowohl magnetisch mit Hilfe des durch seine Fläche hindurchgehenden Flusses abgeleitet, als auch elektrisch auf die Linearantenne zurückgeführt werden: Ein rechteckiger Rahmen (Höhe h , Breite d) mit n Windungen, dessen vertikale Seiten sich in den Punkten A_1, A_2 (Abb. 1465) befinden, werde von einer Welle $E \sin \omega t$ unter dem Winkel φ zu seiner Ebene getroffen. Die in den vertikalen Seiten induzierten EMKe sind proportional der Höhe h und der Windungszahl n . Sie besitzen den Phasenunterschied $\frac{\omega \cdot d}{c} \cos \varphi$ ($c =$ Lichtgeschwindigkeit) und arbeiten gegeneinander. Also

ist die im Rahmen resultierende EMK:

$$\begin{aligned}
 E' &= n \cdot h \cdot E \cdot \left[\sin \left(\omega t - \frac{\omega d}{2c} \cos \varphi \right) - \sin \left(\omega t + \frac{\omega d}{2c} \cdot \cos \varphi \right) \right] \\
 &= 2n \cdot h \cdot E \cdot \cos \omega t \cdot \sin \left(\frac{\omega d}{2c} \cdot \cos \varphi \right), \text{ da } \omega = \frac{2\pi \cdot c}{\lambda} \\
 &= 2n \cdot h \cdot E \cdot \cos \omega t \cdot \sin \left(\frac{\pi d}{\lambda} \cdot \cos \varphi \right) \dots \dots \dots (1)
 \end{aligned}$$

im allgemeinen ist $d \ll \lambda$ (und so lange gilt nur die folgende Vereinfachung); daher kann man $\sin \left(\frac{\pi \cdot d}{\lambda} \cdot \cos \varphi \right)$ durch sein Argument ersetzen. Beachtet man weiter, daß

$$h \cdot d = F, \text{ dem Flächeninhalt des Rahmens ist,}$$

so folgt:

$$E' = \frac{2\pi F \cdot n}{\lambda} \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega t. \dots \dots \dots (2)$$

Die Richtcharakteristik eines Rahmens ist daher:

$$r = \cos \varphi, \dots \dots \dots (3)$$

d. h. ein Doppelkreis (Abb. 1466). Die Rahmen-EMK ist um 90° gegen das Feld verschoben, die Effektivhöhe des Rahmens ist $\frac{2\pi \cdot F \cdot n}{\lambda}$.

(2206) Das **Goniometer** wirkt ähnlich wie der Rahmen. Es besteht aus zwei gleich großen, rechtwinklig zueinander stehenden Rahmen R_1 und R_2 (Kreuzrahmen), deren Aufnahmeeffekte auf zwei zueinander senkrechte Feldspulen S_1 und S_2 galvanisch oder induktiv übertragen werden. In den Feldern von S_1 und S_2 dreht sich die Goniometerspule G , die im ersten Empfangskreis liegt. Fällt eine Welle unter dem Winkel φ zur Ebene R_1 ein, so sind die in R_1 und R_2 erzeugten Effekte nach (2) proportional $\cos \varphi$ bzw. $\sin \varphi$; bildet G mit S_1 den Winkel α , so ist die im ersten Empfangskreis induzierte EMK:

$$\cos \varphi \cdot \cos \alpha + \sin \varphi \cdot \sin \alpha = \cos(\varphi - \alpha), \dots \dots \dots (4)$$

d. h. in Abhängigkeit von φ dieselbe wie die eines einfachen Rahmens.

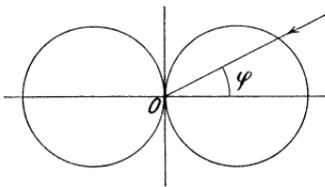


Abb. 1466. Empfangscharakteristik des Rahmens.

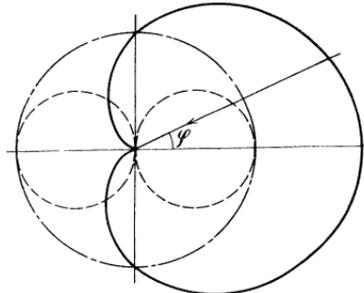


Abb. 1467. Kardioiden.

Die Felder von S_1 und S_2 müssen möglichst homogen sein, daher ersetzt man S_1 und S_2 meist durch je zwei einander gegenüberstehende Spulen (Abb. 1474).

Der Vorteil des Goniometers gegenüber dem Rahmen besteht darin, daß man die Rahmen R_1 und R_2 , die ja fest im Raume montiert sind, sehr groß machen und nur durch Drehen der Spule G jede beliebige Richtung einstellen kann. Das Richtdiagramm eines Goniometers ist aber nur für normal polarisierte Wellen, d. h. Wellen, deren magnetisches Feld parallel der Erdoberfläche schwingt, gleich dem des Rahmens. Sind die Wellen anders polarisiert (was gelegentlich schon bei Wellen unter 4000 m auftreten kann), so verhalten sich Rahmen und Goniometer voneinander verschieden.

(2207) **Einseitiger Rahmenempfang, Einfachgoniometer.** Ein Rahmen (oder Goniometer) und eine Antenne am selben Ort mit den Empfangsamplituden R und A , deren EMKe eine Phasendifferenz von 90° haben, ergeben die Charakteristik

$$r = \sqrt{A^2 + R^2 \cdot \cos^2 \varphi}. \dots \dots \dots (5)$$

Wird die Antennenwirkung mit der Rahmenwirkung gleichphasig gemacht, so ist die Charakteristik

$$r = A + R \cdot \cos \varphi;$$

und bei gleicher Amplitude $A = R = 1$

$$r = 1 + \cos \varphi, \dots \dots \dots (6)$$

d. h. die in der Praxis zum einseitigen Empfang häufig angewandte Kardioiden (Herzkurve) (Abb. 1467).

Da der Rahmen selbst eine Kapazität gegen Erde besitzt, kann man ihn in der Mitte über Abstimmittel erden und selbst als Antenne benutzen (Abb. 1468).

Literatur: Abraham: Spule im Strahlungsfeld verglichen mit der Antenne. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 14, S. 259, 1919; Phys. Z. Bd. 2, S. 329, 1902. — Herzog: Zur Theorie und Wirkungsweise des Goniometers. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 22, S. 172, 1926; Telefunken-Zg. Nr. 42, S. 67, 1926. — Mesny: Rayonnement d'un cadre. Onde él. Bd. 2, S. 571. 1923. — Telefunken, Phasenverschiebung des Antenneneffektes. DRP 407844, 1923.

(2208) Richtsystem allgemeiner Fall. Das an diesen Beispielen auseinandergesetzte Verfahren läßt sich allgemein auf jedes Richtsystem anwenden. Es kommt immer auf den Phasenunterschied an, mit dem die Einzelgebilde von der ankommenden Welle getroffen werden. Gegeben ein beliebiges Koordinatensystem (Anfangspunkt O , der gleichzeitig Phasennullpunkt sein soll), eine Welle $E \cdot \sin \omega t$, die unter dem Winkel φ einfällt. In dem Punkte A_i (Polarkoordinaten ϱ_i und ψ_i) befinde sich ein Empfangssystem mit der Eigencharakteristik $f_i(\varphi)$. Dann ist die in ihm induzierte EMK:

$$E_i = f_i(\varphi) \cdot \sin \left[\omega t + \frac{\varrho_i \cdot \cos(\varphi - \psi_i)}{c} \right]$$

(c = Lichtgeschwindigkeit)

$$E_i = f_i(\varphi) \cdot \sin \left[\omega t + \frac{2\pi \varrho_i}{\lambda} \cos(\varphi - \psi_i) \right].$$

Wird der Effekt dieses Systems zum Empfänger durch ein Kabel von der Länge l_i mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit V und der Dämpfungsziffer γ übertragen, so ist die Wirkung von A_i im Empfänger:

$$E_i = E \cdot f_i(\varphi) \cdot e^{-\gamma l_i} \sin \left[\omega t + \frac{2\pi \varrho_i}{\lambda} \cdot \cos(\varphi - \psi_i) - \frac{2\pi l_i \cdot c}{v \cdot \lambda} \right]. \dots (7)$$

Hat man nun n solcher Systeme, so ist die Gesamtwirkung im Empfänger gleich der Summe:

$$r = \sum_{i=1}^n E_i. \dots \dots \dots (8)$$

(2209) Antennen in gerader Linie. Praktische Anwendung finden folgende Fälle:

Es sind n Antennen in gleichem Abstand d voneinander in gerader Linie aufgestellt und durch gleich lange Leitungen mit dem Empfänger verbunden; d. h.

$$\begin{aligned} f_i(\varphi) &= 1 & i &= 1 \dots \dots n, \\ \psi_i &= 0, \\ l_i &= \text{const, kann daher } = 0 \text{ gesetzt werden.} \\ \varrho_i &= i \cdot d; & i &= 1 \dots \dots n. \end{aligned}$$

Dann ergibt die Summation von (8):

$$r = \frac{\sin \left[n \cdot \frac{\pi d}{\lambda} \cdot \cos \varphi \right]}{\sin \left(\frac{\pi d}{\lambda} \cdot \cos \varphi \right)}. \dots \dots \dots (9)$$

Der Flächeninhalt dieser Charakteristik läßt sich durch Besselsche Integrale J_0, J_1, J_2 leicht ausdrücken; er wird ein Minimum bei der für die Praxis wichtigen Bedingung:

$$\frac{d}{\lambda} \sim \frac{n-1}{n}. \dots \dots \dots (10)$$

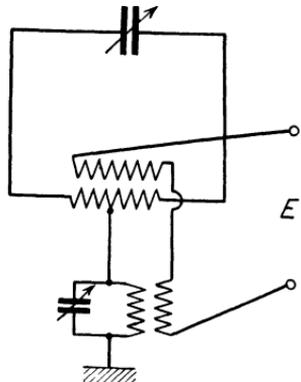


Abb. 1468. Einseitiger Empfang.

Abb. 1469 zeigt die mit 2 Antennen, Abb. 1470a, b, c die mit 3 Antennen in Abhängigkeit von dem gewählten Verhältnis $\frac{d}{\lambda}$ erhaltenen Richtcharakteristiken.

Auch der aus mehreren Antennen aufgebaute Parabolspiegel (Abb. 1471) läßt sich aus dem allgemeinen Ausdruck (8) auf eine ähnliche Formel wie (9) zurückführen. Bei ihm ist nur die Strahlung nach rückwärts (bzw. der Empfang von rückwärts) fast gänzlich unterdrückt. Denselben Effekt unter gleichzeitiger Verschärfung der Richtcharakteristik erreicht man, wenn man hinter dem in einer Linie aufgebauten Antennensystem ein zweites parallel aufbaut, das wie eine reflektierende bzw. von hinten abschirmende Fläche wirkt (Abb. 1472).

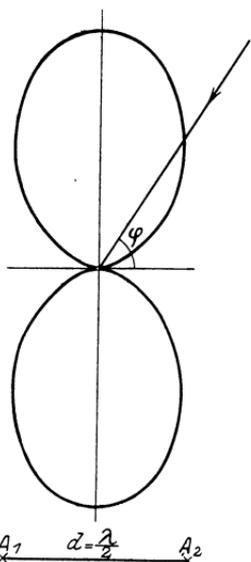


Abb. 1469. Richtcharakteristik zweier additiv geschalteter Antennen.

Richtsysteme, bestehend aus mehreren in einer Linie aufgebauten Antennen, waren zwar schon lange bekannt, konnten aber erst in neuerer Zeit mit der Einführung der kurzen Wellen praktische Anwendung finden. Ein solches Richtsystem gibt nur dann eine praktisch brauchbare Richtkurve, wenn der Abstand der einzelnen Antennen und die gesamte Ausdehnung des Systems immerhin vergleichbar mit der Wellenlänge ist. Marconi verwendet zurzeit bei seinem „Beam-System“ 32 Sende- oder Empfangsantennen in einer geraden Linie, hinter denen 64 Reflektordrähte aufgebaut sind. Die damit erzielte Charakteristik ist praktisch nur etwa 5° breit, die erzielte Feldkonzentration ist mindestens 100mal größer als die eines ungerichteten Systems. Interessant ist die Art, wie Marconi den Antennen die Energie zu- bzw. ableitet. Um die bei den kurzen Wellen schädliche Streukapazität zu vermeiden und symmetrische Verhältnisse zu erhalten, führt er die Zuleitungen als konzentrische Röhren aus, von denen die äußere auf ihrer ganzen Länge geerdet ist.

Es soll hier auf einen in der bisherigen Literatur meist übersehenen Umstand hingewiesen werden. Die abgeleiteten und durch Messung geprüften Charakteristiken nach Formel (9) gelten nur für die sich längs der Erdoberfläche ausbreitenden Wellen, aber nicht für die bei kurzen Wellen auftretende Raumstrahlung (2222).

(2210) Doppelgoniometer. Zwei Einzelsysteme (je 1 Rahmen und 1 Antenne) befinden sich im Abstand d , ihre Zuführungen zum Empfänger seien wieder gleich lang, d. h. wir müssen in (8) setzen

$$\begin{aligned}
 i = 1, 2 \quad f_i(\varphi) &= 1 + \cos \varphi \\
 \psi_i &= 0, \\
 l_i &= \text{constant} = 0 \text{ gesetzt.} \\
 \rho_1 &= 0, \quad \rho_2 = d.
 \end{aligned}$$

Die erhaltene Charakteristik ist

$$r = (1 + \cos \varphi) \cdot \sin \left(\pi \frac{d}{\lambda} \cdot \cos \varphi \right) \cdot \dots \dots \dots (11)$$

Diese Charakteristik, die also durch Kombination zweier Kardioide erhalten wird, wird heute noch in Deutschland mit gutem Erfolg zum Empfang langer Wellen angewandt. Die Abb. 1473 und 1474 zeigen die Abhängigkeit des Richtvermögens (das sich auch leicht durch Besselsche Integrale ausdrücken läßt) von

der Wellenlänge λ und von d . Abb. 1473 ist die Charakteristik für $d = \lambda$; sie ist zum Richtempfang ungeeignet. Brauchbare Charakteristiken sind in Abb. 1475 a

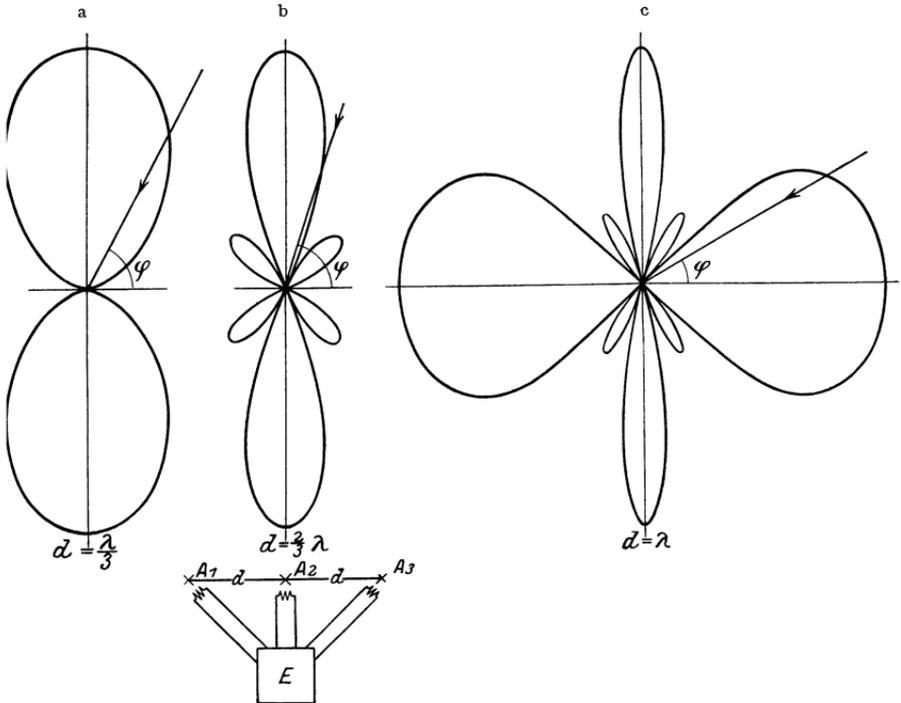


Abb. 1470 a—c. Richtcharakteristik von 3 Antennen in Abhängigkeit von Antennenabstand d .

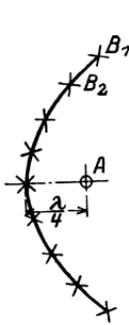


Abb. 1471. Parabolspiegel.

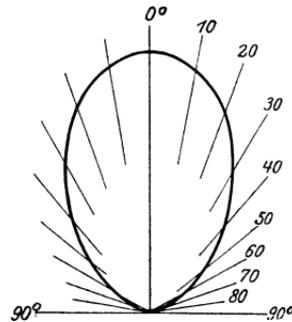


Abb. 1472. Richtcharakteristik des Parabolspiegels.

dargestellt, und zwar die Kurve A für $\frac{d}{\lambda} = \frac{1}{2}$, B für $\frac{d}{\lambda} = \frac{1}{4}$, C für $\frac{d}{\lambda} = \frac{1}{6}$.

In der Praxis wird meist $\frac{d}{\lambda} = \frac{1}{4}$ gewählt. Abb. 1475 b zeigt für diesen Abstand die erhaltene Energie (d. h. die Lautstärke), d. h. das Quadrat von Kurve B (der Abb. 1475 a).

Abb. 1474 gibt die Ausführungsform einer solchen Anlage. Die in den Kreuzrahmen und Antennen erhaltene Energie wird über möglichst verlustfreies Kabel (man empfängt immerhin auf diese Weise noch Wellen bis zu 2000 m herab) nach dem Empfangshaus transportiert und dort über je eine Röhrenkopplung (in Abb. 1474 *RK I* und *RK II*) auf den ersten gemeinsamen Empfangskreis übertragen. Diese Röhrenkopplung hat infolge der Ventilwirkung der Röhre den Vorteil, daß die hinter der Röhrenkopplung wirkenden Überlagerer nicht auf die

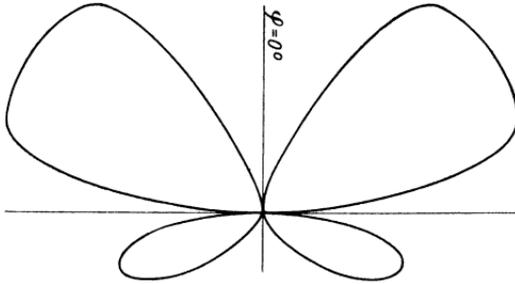


Abb. 1473. Richtcharakteristik des Doppelgoniometers ($d=\lambda$). vor ihr befindlichen Kreise wirken können. Es war auf diese Weise möglich, bis zu 4 Doppelgoniometerempfänger gleichzeitig von einem Richtsystem zu betreiben. Die Rahmen der nach diesem System erbauten Transradio Duplex-Empfangsanlage in Geltow und Westerland z. B.

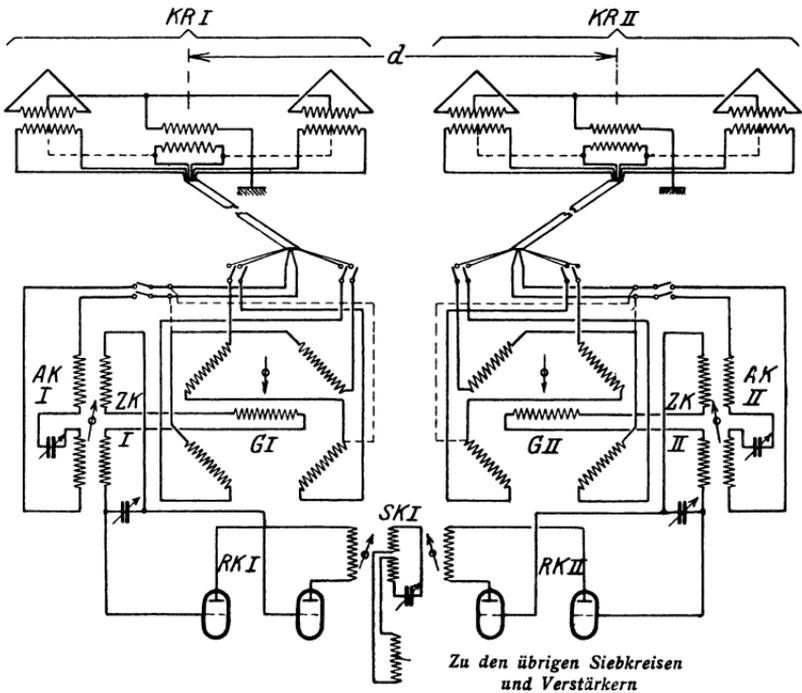


Abb. 1474. Doppelgoniometeranlage.

sind Dreiecksrahmen von zwei Windungen mit 30 m horizontaler Basis, deren Spitzen an einem 60 m hohen Mast aufgebracht sind. Beim Betrieb von mehreren Empfängern von einer Doppelgoniometeranlage ist es notwendig, für jeden Emp-

fänger bei den Rahmen je eine besondere Antenne aufzubringen, und die Antennenwirkung durch je ein besonderes Kabeladerpaar zum Empfänger zu übertragen, während die Rahmenwirkung für alle Empfänger von demselben Kabel abgenommen werden kann. Der Grund liegt darin, daß wie unter (4) ausgeführt wurde, Rahmen- und Antenneneffekt um 90° phasenverschoben sind. Sie müssen aber zur Erzielung der Kardioide phasengleich gemacht werden; dies kann z. B. (Abb. 1474 *AK I* und *AK II*) durch Abstimmen des Kabelabschlusses der Antennenzuführung erreicht werden.

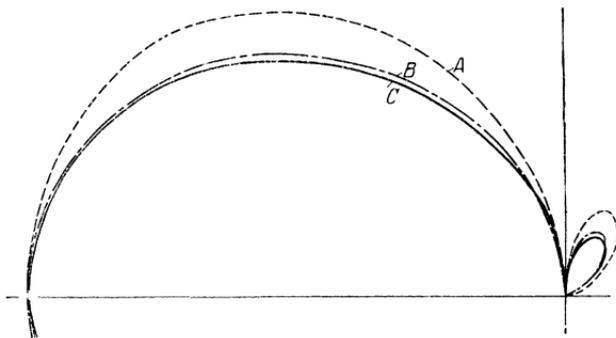


Abb. 1475 a. Richtcharakteristik des Doppelgoniometers

$$\left(A: \frac{d}{\lambda} = \frac{1}{2}, B: \frac{d}{\lambda} = \frac{1}{4}, C: \frac{d'}{\lambda} = \frac{1}{6} \right).$$

(221) Vierfachgoniometer. Es war noch in der Praxis geplant, die Richtwirkung der Doppelgoniometeranlage zu erhöhen, dadurch, daß man zwei solche Anlagen parallel in einem Abstand d' aufstellt. Abb. 1476 zeigt die errechneten Kurven für zwei parallele Doppelgoniometer (Abstand der Kreuzrahmen $d = \frac{\lambda}{4}$)

im Parallelabstand $d' = \frac{\lambda}{2}$ (ausgezogene Kurve) und $d' = \lambda$ (gestrichelte Kurve).

Ihre Formel ist:

$$r = (1 + \cos \varphi) \cdot \sin \left(\frac{\pi d}{\lambda} \cdot \cos \varphi \right) \cdot \cos \left(\frac{\pi d'}{\lambda} \cdot \sin \varphi \right) \cdot \dots \quad (12)$$

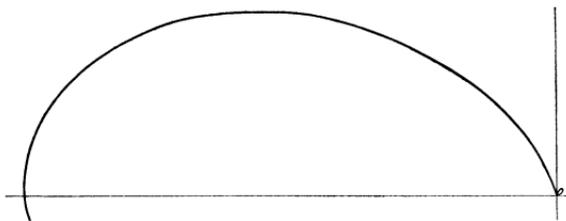


Abb. 1475 b. Des Doppelgoniometers Energiediagramm.

Die Ausführung der Anlage unterblieb, da inzwischen die kurzen Wellen ihren Siegeszug angetreten hatten. Doch finden wir dasselbe Prinzip bei dem in Amerika ausgeführten Bau von zwei parallelen Beverageantennen (2213).

Literatur: Chireix: Antennes dirigées. Radioél. Bd. 5, S. 65, 1924; Onde él. Bd. 54, S. 262, 1926. — Bouthillon: Optique et radioélectricité. Onde él. 1923, S. 287; 1926, S. 577. — Esau, A.: Richtcharakteristiken von Antennenkombinationen. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 27, S. 142, 1926; Bd. 28, S. 1, 147, 1926. — Green: Gerichteter Empfang.

Exp. Wirel. Bd. 25, S. 828, 1925. — Koerts: Atmosphärische Störungen. (Kap. IV: Der Richtempfang.) Berlin: Kraysn 1924. — Société Radioél.: Spiegelantenne. Brit. Patent 217933, 1925; Franz. Patent 579597, 1923. — Tatarinoff: Zur Konstruktion der Radiospiegel. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 28, S. 117, 1926. — Telefunken, Empfangssystem aus Einzelantennen in einem Abstand der Wellenlänge entsprechend. DRP 384578, 1922. — Western El. C.: Richtempfang mit 2 getrennten Rahmenantennen. Brit. Patent 251337, 1925. — White: Theory of the wireless beam. Electrician Bd. 94, S. 392, 1925. Ref. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 27, S. 27, 1926.

(2212) Beverage- oder Wellenantenne. Wir nehmen wie unter (2209) wieder als Richtanlage n Antennen in gerader Linie mit dem gegenseitigen Abstand d , also ψ_i wieder = 0 und $\varrho_i = i \cdot d$. Der Empfangsapparat befinde sich im Nullpunkt; die Länge der Zuleitung ist also nicht bei allen Antennen gleich; sie beträgt von der i -ten Antenne zum Empfänger $l_i = i \cdot d$. Da hier sämtliche Zulei-

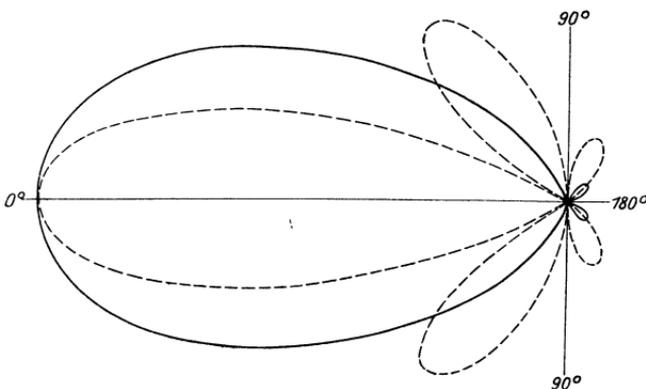


Abb. 1476. Richtcharakteristik des Vierfachgoniometers.

tungen parallel laufen, kann man sie auch durch eine einzige ersetzen. Dann ist der Beitrag der i -ten Antenne im Empfänger (vgl. Formel [7]):

$$E_i = e^{-\gamma \cdot i \cdot d} \sin \left(\omega t + \frac{2\pi \cdot i \cdot d}{\lambda} \cos \varphi - \frac{2\pi i \cdot d \cdot c}{v \cdot \lambda} \right);$$

Summiert man über alle n Antennen ($i = 1 \dots n$), so folgt die Amplitude der im Empfänger resultierenden Schwingung nach einer hier übergangenen Zwischenrechnung:

$$A^2 = e^{-(n-1)\gamma \cdot d} \frac{\cos \gamma n d - \cos \left[\frac{n d \cdot 2\pi}{\lambda \cdot m} (1 - m \cos \varphi) \right]}{\cos \gamma \cdot d - \cos \left[\frac{d \cdot 2\pi}{\lambda \cdot m} (1 - m \cdot \cos \varphi) \right]},$$

wo $m = \frac{v}{c} = \frac{\text{Wellengeschwindigkeit auf der Zuleitung}}{\text{Lichtgeschwindigkeit}}$

gesetzt ist.

Durch den Grenzübergang $n = \infty$ (wobei natürlich sowohl der Abstand d der Einzelantennen als auch der Beitrag jeder Einzelantenne gegen 0 gehen müssen), geht $n \cdot d$ über in die Länge l des Gesamtsystems, und es wird:

$$A = \sqrt{\frac{2 \cdot e^{-\gamma l} \left\{ \cos \gamma l - \cos \left[\frac{2\pi l}{\lambda \cdot m} (1 - m \cos \varphi) \right] \right\}}{\gamma^2 + \left[\frac{2\pi}{\lambda \cdot m} (1 - m \cdot \cos \varphi) \right]^2}} \dots \dots (13)$$

Haben wir es statt mit Antennen mit Rahmen zu tun, deren Ebene mit ihrer Verbindungslinie zusammenfällt, so ist der Ausdruck (13) noch auf der rechten Seite zu multiplizieren mit $\cos \varphi$

$$A' = A \cdot \cos \varphi (14)$$

Dieser Ausdruck ist aber der Richtfaktor der Beverageantenne oder Wellenantenne. Diese Antenne besteht aus einem in einigen Metern Höhe über dem Erdboden gespannten Draht, dessen Länge gleich (oder auch größer) der zum empfangenden Wellenlänge gewählt wird (Abb. 1477 a—c). Das hier durch endliche Summation mit nachfolgendem Grenzübergang erhaltene Resultat kann auch durch differentiellen Ansatz erhalten werden. Die ankommende Welle erzeugt in jedem Linienelement des Drahtes eine EMK, die proportional dem $\cos \varphi$ des Einfallswinkels der Welle zum Drahte ist, ihre Phase (bezogen auf den Anfangspunkt) ist gegeben durch den Abstand des Linienelementes vom Anfangspunkt. Der Ansatz führt auf die Telegraphengleichung, deren Integration den Ausdruck (14) ergibt (Busch, Bellescize, Bét henod, Beverage). Über den Richtfaktor herrscht auch in den verschiedenen Theorien keine Meinungsverschiedenheit, wohl aber über die Amplitude der erzeugten Schwingung. Beverage nimmt an, daß in einem Linienelement eine EMK nur dann erzeugt wird, wenn das ankommende Feld geneigt ist, also der Draht von magnetischen Kraftlinien geschnitten wird. Das ist dieselbe Überlegung, die Zenneck bei der Berechnung der geknickten Marconiantenne (2216) anstellte, und die zu dem Schluß führt, daß die Beverageantenne über gut leitenden Erdboden keine Richtwirkung (bzw. nur die eines großen Rahmens) zeigen würde. Hierin liegt gleichzeitig, daß die Empfangsamplitude der Beverageantenne in weitem Maße unabhängig ist von der Höhe, in der die Antenne gespannt ist. Diese Annahme wird durch die in Amerika gebauten Wellenantennen bestätigt; die über schlecht leitenden Boden zeigt die beste Richtwirkung, ihre Amplitude ist unabhängig von ihrer Höhe.

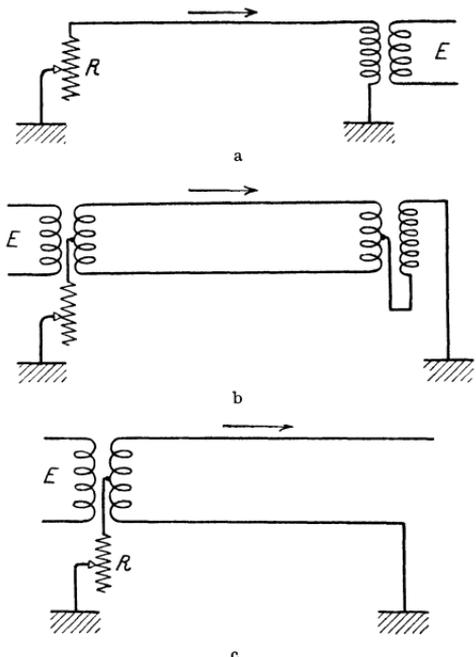


Abb. 1477 a—c. Beverageantenne.

Der Amplitudenvergleich der Beverageantenne mit einer normalen Hochantenne ergibt eine Effektivhöhe von mehreren hundert Metern.

Bei der Ableitung der Beverageantenne aus unendlich vielen Rahmen waren sämtliche Zuleitungen durch eine ersetzt gedacht (bei der einfachen Beverageantenne wird die Zuleitung gebildet durch die Antenne selbst und die Erde), an deren einem Ende sich der Empfangsapparat befindet. Jeder einzelne Rahmen wird aber nicht nur einen Beitrag geben nach dem Ende, an dem sich der Empfangsapparat befindet, sondern auch nach dem entgegengesetzten. Nur ist natürlich die Phase, mit der diese Beiträge da eintreffen, nicht mehr bestimmt

durch die Entfernung $i \cdot d$, sondern durch: $l - id$. Der i -te Rahmen ergibt daher den Beitrag:

$$E'_i = \cos \varphi \cdot e^{-\gamma \cdot (l - id)} \cdot \sin \left[\omega t + \frac{2\pi i \cdot d}{\lambda} \cos \varphi - \frac{2\pi (l - id) \cdot c}{v \cdot \lambda} \right]. \quad (15)$$

Und durch Summation bzw. Integration erhält man den Gesamteffekt

$$B = \Sigma E'_i; \dots \dots \dots (16)$$

Damit dieser nicht durch Reflexion am Ende über die Leitung in den Empfänger gelangt, ist es nötig, die Leitung so abzugleichen, daß keine Reflexionen (und damit stehende Wellen) entstehen können. Die Bedingung ist ja aus der Kabeltechnik bekannt, man muß die Leitung durch einen Widerstand abschließen, der gleich der Impedanz Z der Leitung ist, d. h. die Beverageantenne muß über diesen Widerstand geerdet sein. (Bei den Wellen, die Beverage mit seinem System empfängt, ist die Impedanz wesentlich ohmisch und $= \sqrt{L/C}$, wo L und C die kilometrische Selbstinduktion bzw. Kapazität bedeuten.)

Die Abb. 1477 a—c zeigen die wichtigsten Ausführungsformen der Beverageantenne.

Abb. 1477 a: Die Wellenantenne besteht aus einem Drahte, an dessen einem (dem zu empfangenden Sender abgewandten) Ende der Empfänger angekoppelt ist, während das andere Ende über einen Widerstand $R = Z$ (d. h. reflexionsfrei) geerdet ist.

Abb. 1477 b: Die Antenne besteht aus zwei Drähten, der Empfänger ist an dem dem Sender zugewandten Ende angekoppelt; das andere Ende ist durch einen Transformator abgeschlossen, so daß beide Antennendrähte als Rückleitung dienen.

Abb. 1477 c zeigt eine in Rußland für kürzere Wellen gebaute Ausführungsform einer 2drähtigen Antenne.

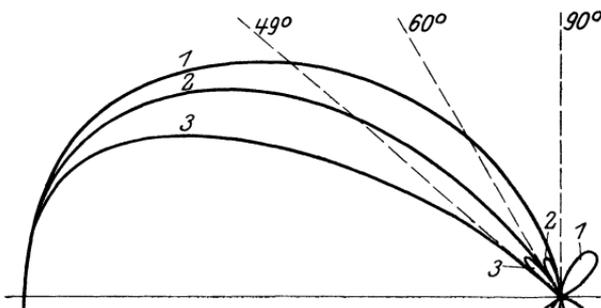


Abb. 1478. Richtcharakteristik der Beverageantenne.

Die nachstehende Tabelle gibt einen Überblick über einige von Beverage für die Wellenantenne gemessenen Daten für $\lambda = 10$ km.

	Eindrahtantenne	Zweidrahtantenne
L	2,31 mH/km	1,59 mH/km
C	0,006 μ F/km	0,0098 μ F/km
m	0,853	0,806
γ	0,039	0,056
$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$	592	384

Die Abb. 1478 zeigt die Richtcharakteristiken von Wellenantennen in Abhängigkeit von der Wellenlänge; die Kurve 1 für $l = \lambda$, die Kurve 2 für $l = 2\lambda$, die Kurve 3 für $l = 3\lambda$.

Die Charakteristiken zeigen, daß man dann geringen Empfang von einer von rückwärts einfallenden Welle (einer Störwelle) erhält, wenn die Länge der Antenne ungefähr gleich einem Vielfachen der halben Wellenlänge ist. Man überzeugt sich davon durch Betrachtung des Ausdrucks (14). Für eine von rückwärts einfallende Welle ist $\varphi = 180^\circ$ zu setzen, also $\cos \varphi = -1$. Vernachlässigen wir der Einfachheit halber noch die Dämpfung, d. h. setzen wir $\gamma = 0$, $\cos \gamma l = 1$ und nehmen wir die Wellengeschwindigkeit v auf dem Drahte = Lichtgeschwindigkeit, d. h. $m = 1$, so wird der Ausdruck (14), der ja den im Empfänger auftretenden Störeffekt darstellt:

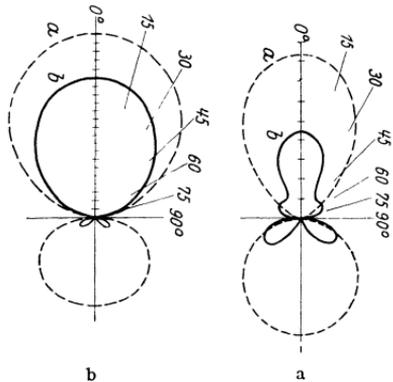


Abb. 1479 a u. b. Richtkurven der Beverageantenne mit und ohne Kompensation.

$$A_{\text{Störer}} = \sqrt{\frac{2 \left(1 - \cos \frac{4\pi l}{\lambda}\right)}{\left(\frac{4\pi l}{\lambda}\right)^2}} \dots \dots \dots (17)$$

Dieser Ausdruck wird nur dann = 0, wenn $l =$ einem Vielfachen von $\lambda/2$ ist. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so können die Störampplituden erhebliche Beträge annehmen. (Vgl. Abb. 1479 a, b, gestrichelte Kurven, wo $l = \frac{1}{6}$ bzw. $l = \frac{3}{8} \lambda$, gewählt ist.) Um sie zu beseitigen, wendet Beverage bei der doppeldräh-

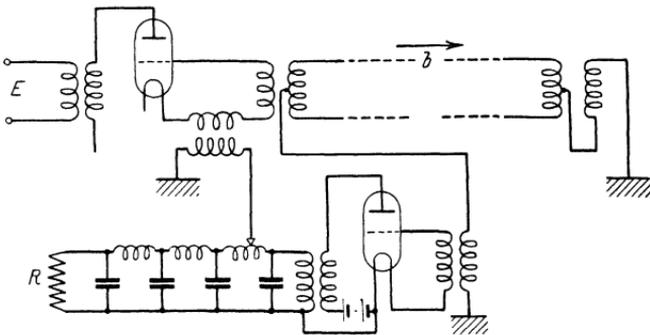


Abb. 1480. Störkompensation bei der Beverageantenne.

tigen Antenne einen einfachen Kunstgriff an (vgl. Abb. 1480). Der nach dem anderen Ende der Antenne gelangende Betrag der Störwelle (Formel 16) wird über einen Kettenleiter (zur Einstellung der richtigen Phase) in solcher Stärke dem Empfänger zugeführt, daß er den direkt in den Empfänger gelangenden Störbetrag aufhebt. Die ausgezogenen Kurven in Abb. 1479 a, b sind die durch solche Kompensationen erhaltenen Richtkurven.

(2213) Doppel-Beverageantenne. Auch hier kann man [wie unter (2211) schon erwähnt] zur Verbesserung der Richtcharakteristik mit zwei Wellenantennen im Abstand $d = \lambda$ arbeiten. Die in Amerika für den Europa- und Südamerikaverkehr benutzten Antennen sind als Doppel-Beverageantennen gebaut.

Literatur: Bedeau: L'antenne ondulatoire. Onde él. 1924, S. 96, 153. — Beverage, Rice u. Kellog: Wave antenna. J. Americ. Inst. El. Eng. 1923, S. 258, 372, 510, 635, 728; Electr. Bd. 91, S. 269, 1923. — Busch: Theorie der Beverage-Antenne. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Telef. Bd. 21, S. 290, 374, 1923. — Gen. El. Co.: Richtempfang mit mehreren Wellenantennen. DRP 431529, 1922. — Vagné: Un nouveau type d'antenne Beverage. Radio Revue 1924, S. 41.

(2214) Kompensatorempfang. Der bei der Beverageantenne zur Beseitigung eines Störeffangs benutzte Kettenleiter kann auch bei anderen Empfangsanlagen zur Verbesserung der Richtcharakteristik angewandt werden. Man kann z. B. bei der unter (2209) (n in gerader Linie aufgestellten Antennen mit gleich langen Zuleitungen zum Empfänger) beschriebenen Anlage in jede Zuleitung noch einen Kettenleiter schalten, der eine zusätzliche (konstante, d. h. von der Richtung der einfallenden Welle unabhängige) Phasenverschiebung ergibt. Ist die Anzahl der in jede Zuführung einschaltbaren Glieder des Kettenleiters variabel (Kompensator), so hat man es in der Hand, die Charakteristik in gewissen Grenzen zu drehen, d. h. das Maximum des Empfangs in eine gewünschte Richtung zu legen. Die zusätzliche Phasenverschiebung kann dabei entweder auf die empfangene Frequenz selbst oder auch auf eine aus der Empfangswelle erzeugte Zwischenfrequenz angewandt werden.

(2215) Horizontalantenne (Erdantenne). Ist der horizontale Teil der Antenne sehr klein gegen die Wellenlänge, aber immer noch größer als die Höhe, in der die Antenne gespannt ist, so geht der oben dargestellte Summationseffekt verloren und es bleibt für die Richtwirkung nur der erste Faktor $\cos \varphi$ über; d. h. die Richtcharakteristik ist die eines Rahmens (Horizontalantenne, Erdantenne, L-Antenne, T-Antenne, V-Antenne).

(2216) Geknickte Marconiantenne. Ähnliche Charakteristiken wie die Beverageantenne ergibt die geknickte Marconiantenne, die genau von Sommerfeld und von Hörschelmann untersucht wurde. Sie kann in erster Annäherung ersetzt werden durch eine Vertikalantenne und einen Rahmen, die beim Senden mit einer gegenseitigen Phasenverschiebung von 45° erregt werden.

(2217) Braunsche Dreiecksanlage. Aus historischem Interesse soll erwähnt werden, daß schon Braun mit phasenverschoben erregten Sendeantennen gearbeitet hat; er benutzte drei in Dreiecksform aufgestellte Antennen, von denen zwei gleichphasig, die dritte mit einer Phasenverschiebung von 270° erregt wurde. Die von ihm erhaltenen Richtkurven sind die Kardioide (Abb. 1467) bzw. ähnliche Kurven. Ihr analytischer Ausdruck kann aus dem allgemeinen Ausdruck Formel (7) und (8) leicht erhalten werden.

Literatur: Braun: Gerichtetes Senden. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 1, S. 1, 1907; Electr. Bd. 57, S. 244, 1906. — Grimsen: Strahlungsuntersuchungen an Horizontalantennen, die in einer höheren Harmonischen erregt sind. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 29, S. 25, 46, 1927. — Hoerschelmann: Geknickte Marconi-Antenne. Diss. München. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 5, S. 14, 188, 1911. — Telefunken: Koppelung von Horizontalantennen. DRP 436462, 1925.

III. Richtcharakteristiken bei Raumstrahlung.

(2218) Richtfläche. Die bisherigen Richtkurven gelten nur, solange es sich um normal polarisierte Wellen handelt; d. h. Wellen, bei denen das elektrische Feld senkrecht zur Erdoberfläche steht, oder doch nur um wenige Grad nach vorwärts geneigt ist, während das magnetische Feld immer parallel der Erdoberfläche ist, und bei denen sich die Energie im wesentlichen längs der Erdoberfläche ausbreitet. Das gilt z. B. also nicht mehr für eine Flugzeugantenne, es gilt auch nicht mehr bei den in letzter Zeit stark in den Vordergrund getretenen kurzen Wellen, d. h. Wellen unter 300 m. Hierbei genügt es nicht mehr, bloß die Abhängigkeit des Feldes von der Sende- bzw. Empfangsrichtung in der Hori-

zontalebene zu beachten, sondern man muß auch die Abhängigkeit in der Vertikal-ebene untersuchen. Man gelangt so zu der Richtfläche; sie gibt die zu einer beliebigen Raumrichtung zugehörige Feldstärke an. Im allgemeinsten Fall müßte man noch bei der Charakterisierung einer Richtsendeanlage zu jedem Raumpunkt die Art der Polarisation angeben. Hiervon wird im folgenden abgesehen, obwohl für Flugzeugempfang und Senden diese Angabe von Wichtigkeit sein kann.

(2219) Linearantenne mit beliebiger Stromverteilung. Besitzt eine Antenne von der Höhe h eine beliebige Stromverteilung, so kann man die Feldverteilung in einer durch die Antenne gedachten senkrechten Ebene durch dasselbe Prinzip erhalten wie bei der wagerecht angeordneten Gruppe (2209). Man denke sich die Antenne in einzelne Linienelemente dx mit dem Strom i_x zerlegt, deren Wirkungen in einer Richtung χ (χ Erhebungswinkel über dem Erdboden) unter Berücksichtigung der Wegunterschiede man summiert. Steht die Antenne über gut leitendem Boden, so tritt durch Reflexion am Boden noch ein Beitrag hinzu, der nach dem Reflexionsgesetz herzurühren scheint von dem Spiegelbild der

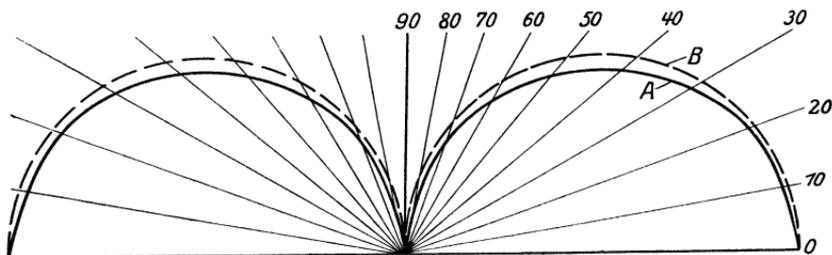


Abb. 1481. Raumstrahlung für Grundwellenerregung.

Antenne. (Es muß hier betont werden, daß für das Spiegelbild der Antenne spiegelbildliche Stromverteilung anzunehmen ist. Einige französische Arbeiten kommen zu falschen Resultaten, weil in ihnen statt der spiegelbildlichen Stromverteilung stetige Fortsetzung der Stromkurve der Antenne in den Boden angenommen wurde). Man erhält auf diese Weise die Summe:

$$E = \cos \chi \cdot \int_0^h i_x \cdot \cos \left(\frac{2\pi x}{\lambda} \cdot \sin \chi \right) dx. \dots \dots (18)$$

Die Strahlung nach oben ist daher, wie auch ohne weiteres ersichtlich, immer = 0.

(2220) Linearantenne in Grundwelle erregt. Bei einer in $1/4$ Wellenlänge erregten Antenne ist die Stromverteilung ungefähr sinusförmig. An der Spitze befindet sich ein Stromknoten, am Erdpunkt ein Strombauch. Die Integration (18) ergibt für diesen Fall die in Abb. 1481 voll ausgezogene Kurve, die sich nur unwesentlich von dem gestrichelt gezeichneten Halbkreis unterscheidet.

(2221) Linearantenne in Oberwellen erregt. Erregt man eine Antenne so, daß auf ihrem strahlenden Teil (Spulen, die zwischen Antenne und Erde geschaltet sind, brauchen, da sie nicht wesentlich strahlen, nicht berücksichtigt zu werden) z. B. eine ganze Wellenlänge liegt (Abb. 1482), so erhält man eine Strahlung, die wesentlich geneigt nach oben geht. In wagerechter Richtung heben sich die Wirkungen der beiden Ströme der entgegengesetzte Phase führenden Hälften auf, senkrecht nach oben ist die Strahlung eines senkrechten Drahtes immer = 0; das Maximum der Strahlung liegt bei einem Erhebungswinkel von etwa 35° . Abb. 1483 zeigt die Raumstrahlung einer Antenne, auf der $3/2$ Wellenlängen liegen.

Durch eine solche Erregung kann man also die Energie wesentlich schräg nach oben strahlen. Die dazu nötige Stromverteilung kann man erreichen, indem

man die Antenne in Oberwellen erregt. Man kann die Stromverteilung noch besonders günstig regeln, indem man in die Antenne an geeigneten Stellen Spulen einschaltet. So benutzt z. B. Marconi bei einer Wellenlänge von 26 m etwa 90 m hohe Antennen, die durch zwei eingeschaltete Spulen in drei Teile geteilt sind.

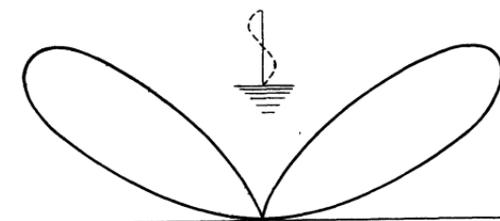


Abb. 1482.

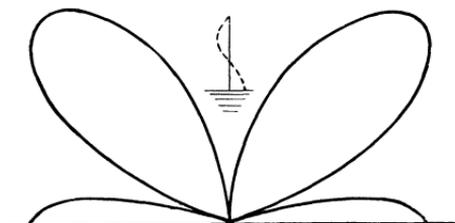


Abb. 1483.

Abb. 1482 u. 1483. Raumstrahlung bei Erregung in Oberwellen.

(2222) Antennenkombinationen. Für die bisher behandelte Einfachantenne ist aus Symmetriegründen die Strahlung in allen durch die Antenne gelegten Vertikalebene gleich; die die Strahlung darstellende Fläche ist also eine Rotationsfläche (für den in Abb. 1481 behandelten Fall also z. B. ein Kreiswulst). Diese Rotationssymmetrie bleibt nicht erhalten, wenn man mehrere solche Antennen kombiniert. Die Richtfläche wird dann wesentlich komplizierter, kann aber für jede beliebig gewählte Anlage leicht nach demselben Prinzip wie Formel (7) und Formel (18) in Abhängigkeit vom Azimutwinkel φ und Erhebungswinkel χ berechnet werden.

Literatur: Alexanderson: Discussion on „Polarization of radio waves by G. W. Pickard“. Proc. Inst. Radio Eng. Bd. 14, S. 391, 1926. — Ballantine: On the optimum transmitting wave length for a vertical antenna over perfect earth. Ibid. Bd. 12, S. 833, 1924. — Id.: On the radiation resistance of a simple vertical antenna at wave lengths below the fundamental. Ibid. Bd. 12, S. 823, 1924. Ref. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 26, S. 17, 1926. — Esau, A.: Über das Verhalten von Empfängern bei Polarisationsänderungen der elektrischen Wellen. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 28, S. 50, 1926; Bd. 29, S. 10, 1927. — Meißner: Über Raumstrahlung. Ebenda 28, S. 78, 1926. — van der Pol jr.: On the wave length of an radiation of loaded antennae. Proc. Phys. Soc. of London Bd. 29, S. 269, 1917. — Telefunken: Raumstrahlantennen. DRP 422775, 1924.

IV. Das Funkpeilen.

(2223) Grundlagen. Peilen heißt in der drahtlosen Telegraphie, die Richtung der am Empfangsort ankommenden Wellen zu bestimmen; d. h. die Richtung der Verbindungslinie Sender—Empfänger (oder genauer für große Entfernungen den diese beiden verbindenden Großkreis). Für das folgende sei, wenn nicht anders erwähnt, eine normal polarisierte Welle vorausgesetzt, deren Wellenfront in der Ausdehnung der Empfangsanlage als eben betrachtet werden kann.

Peilen kann man grundsätzlich, sobald eine gerichtete Anlage vorhanden ist, mit der man eindeutig eine bestimmte Richtung ausmachen kann. Dabei ist gleichgültig, ob dies die Sende- oder Empfangsanlage ist; notwendig nur, daß man diese Richtung beliebig verlegen kann. Die Feststellung kann am Empfänger mittels Maximums- oder Minimumsmethode oder auch durch Einstellen in zwei Peilrichtungen auf gleiche Lautstärke und Interpolation geschehen.

Literatur: Fischer, F.: Neue Ergebnisse im Funkpeilwesen während des Jahres 1926. Hansa Nr. 1, 1927. — Keen: Direction and Position Finding by Wireless. London: Wireless Press 1922. — Leib-Nitzsche: Funkpeilungen. Berlin: Mittler 1926. — Mesny:

Usage des cadres et radiogoniométrie. Paris: Chiron 1925. — Round: Direction and Position Finding. J. Inst. El. Eng. Bd. 58, S. 224, 1920. — de Vogt, A. H.: Het radio peilen. Tijdsch. Nederl. Radiogen. 1921, S. 74.

(2224) Peilsysteme. Der Antennenstern. Mehrere gerichtete Antennen (L-, Horizontal-, Erdantennen, 2215) sind sternförmig angeordnet. An sie kann durch einen Drehschalter nacheinander der Empfänger angeschlossen werden (Telefunkenkompaß). Um Stetigkeit zu erreichen, können die Antennen auch an eine Ringspule, auf der ein Kontakt nach dem Empfänger schleift, angeschlossen sein. Solche Systeme sind als Empfangssysteme zwar noch auf alten Stationen in Betrieb, arbeiten jedoch ungenau, brauchen viel Platz und werden daher durch moderne Anlagen ersetzt. Dagegen verwendet man sie noch als Richtsendeanlagen. Der Sender wird nacheinander in gleichen Zeitabständen an die verschiedenen Antennen geschaltet und gibt für jede Stellung ein bestimmtes Signal, oder das Umschalten des Senders erfolgt durch Präzisionsantrieb mit einer am Empfänger bekannten Geschwindigkeit, so daß mittels Stoppuhr aus der Zeit zwischen Kennungssignal, das z. B. für die Nord-Südantenne gegeben wird, und größter (kleinster) Lautstärke die Richtung bestimmt ist.

Hierher gehört auch die Anordnung von Kiebitz und Scheller, bei der zwei unter einem spitzen Winkel laufende Doppelantennen benutzt werden. Das eine Antennenpaar sendet dauernd dasselbe Morsezeichen a (- —), das andere n (— -). Aus dem Vergleich der Lautstärke der empfangenen Zeichen kann man beim Empfänger auf die Peilrichtung schließen.

Vorteil dieser Systeme ist, daß ein normaler, ungerichteter Empfänger genügt. Die Genauigkeit der Peilung ist jedoch im allgemeinen gering.

(2225) Der Rahmen. (Die folgenden Anlagen (2225) bis (2227) werden in der Praxis fast nur beim Empfang gebraucht.) Der ideale Rahmen hat die Charakteristik:

$$r = \cos \varphi \quad (2205), \dots (19)$$

sie zeigt zwei scharfe Minima ($\varphi = 90^\circ$ und 270°), die sich auszeichnet zum Peilen eignen. In der praktischen Ausführung sind diese jedoch zunächst durch „innere“ Fehler des Rahmens, die allerdings meist nur geringe Beträge annehmen, getrübt.

1. Der Antenneneffekt des Rahmens. Der Rahmen besitzt Kapazität gegen Erde, die von der Drehung des Rahmens unabhängig ist. Ist der Rahmen vollkommen (elektrisch) symmetrisch zur Erde, d. h. die Kapazitäten C_1 und C_2 (Abb. 1484) gleich, so tritt am Drehkondensator keine Spannung der über C_1 und C_2 abfließenden Antennenströme auf. Nun ist aber der Rahmen meist mindestens über den Empfänger unsymmetrisch geerdet (z. B. der Abstimmkondensator ist an das Gitter einer Röhre und an den direkt oder über die Batteriekapazität geerdeten Heizfaden angeschlossen), d. h. $C_1 \neq C_2$. Es tritt dadurch zum Rahmeneffekt $R \cdot \cos \varphi$ noch ein ungerichteter Antenneneffekt A , dessen Phase α gegenüber dem Rahmeneffekt durch die Kapazitäten C_1, C_2 und den Abstimmkondensator bestimmt ist, im allgemeinen ist sie fast 90° .

Das erzielte Diagramm ist also:

$$r = \sqrt{R^2 \cdot \cos^2 \varphi + A^2 + 2AR \cdot \cos \alpha \cdot \cos \varphi} \dots (20)$$

Für $\alpha = 90^\circ$: $r = \sqrt{R^2 \cdot \cos^2 \varphi + A^2}$ (2207). Das Diagramm zeigt zwei verflachte Minima, die aber wie beim idealen Rahmen bei $\varphi = 90^\circ$ und 270° einander gegenüberliegen.

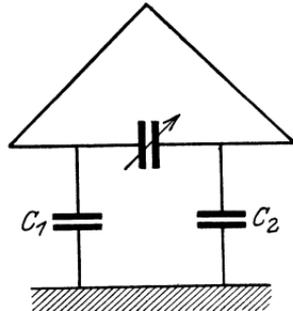


Abb. 1484. Antenneneffekt des Rahmens.

Ist $\alpha \neq 90^\circ$ (und die Abweichung ist, wenn auch klein, immer vorhanden), so zeigt das Diagramm nach (20) zwei ungleich große Minima bei

$$\varphi = 90^\circ + \gamma \dots \dots \dots (21)$$

$$\text{und } \varphi = 270^\circ - \gamma,$$

$$\text{wo: } \sin \gamma = \frac{A}{R} \cdot \cos \alpha. \dots \dots \dots (22)$$

Die beiden nicht gleich großen Minima sind flach, sie liegen beide in bezug auf die eine Symmetrieachse 90° bis 270° der Richtkurve des Rahmens nach einer Seite.

Abhilfe erreicht man: α) Man erzeugt künstlich Symmetrie durch Erden der beiden Rahmenhälften über ausgleichende Kapazitäten C_1, C_2 (Abb. 1484) (Frankreich). Dabei können C_1, C_2 in ein 3-Plattensystem vereinigt werden, an dessen mittlerer (beweglicher) Platte die Erde liegt.

β) Man erdet den Rahmen in seinem „elektrischen“ Mittelpunkt. Dieser ist jedoch schwer zu bestimmen. Meist erdet man daher die Rahmenwicklung in der Mitte (vgl. Abb. 1488, S. 1081).

γ) Man koppelt den Empfänger an den Rahmen durch einen Transformator, dessen Wicklungen durch ein geerdetes (zur Vermeidung von Wirbelstrombildung nicht geschlossenes) Kupferblech, das kapazitiv abschirmt, getrennt sind (England und Amerika).

δ) Man kompensiert den Antenneneffekt durch eine im richtigen Sinne mit variabler Kopplung angekoppelte, nicht abgestimmte Hilfsantenne. Von der Richtigkeit der Phase überzeugt man sich leicht:

Ist die ankommende Welle $E \sin \omega t$, so ist

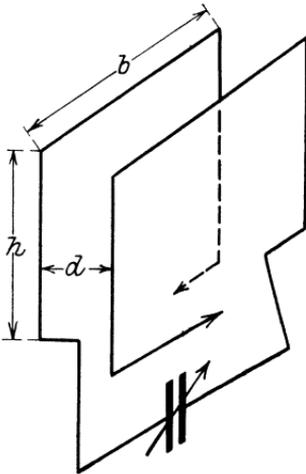


Abb. 1485. Breiteneffekt des Rahmens.

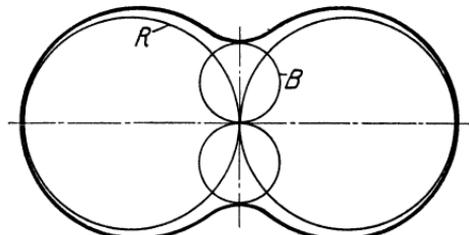


Abb. 1486. Richtcharakteristik des Rahmens mit Breiteneffekt.

die Rahmen-EMK proportional $\cos \omega t$; die Hilfsantennen-EMK $E \sin \omega t$; der Hilfsantennenstrom, da verstimmt, $\cos \omega t$; die von der Hilfsantenne auf den Rahmen induzierte EMK daher $\sin \omega t$, also von der Phase des zu kompensierenden Antenneneffekts des Rahmens (Deutschland).

2. Der Breiteneffekt. Die Rahmenwindungen liegen nicht in einer Ebene (Abb. 1485), werden also von der ankommenden Welle mit einer zeitlichen Verschiebung $\frac{d}{c} \cdot \sin \varphi$ ($c =$ Lichtgeschwindigkeit) getroffen. Analog der Berechnung des eigentlichen Rahmeneffekts folgt für den Breiteneffekt die Charakteristik:

$$r = \sin \varphi. \dots \dots \dots (23)$$

Der Strom ist, da er von Windung zu Windung quer durch den Rahmen fließt, fast um 90° phasenverschoben gegen den Rahmenstrom. Die aus beiden resultierende Charakteristik ist daher:

$$r = \sqrt{R^2 \cdot \cos^2 \varphi + B^2 \cdot \sin^2 \varphi} \dots \dots \dots (24)$$

(vgl. Abb. 1486). Das Minimum ist wieder verflacht und nicht verlegt, solange $B < R$, was immer der Fall ist.

Besonders störend war dieser Effekt bei den alten in Kastenform gewickelten Rahmen.

Der spiralförmig in einer Ebene gewickelte „Flachrahmen“ (zum Teil noch in Amerika verwandt) besitzt ihn nicht, hat aber infolge seiner größeren Kapazität zur Erde einen stärkeren Antenneneffekt, ist also nur ein schlechtes Kompromiß, da außerdem infolge der verkleinerten Windungsfläche die Effektivhöhe des Rahmens stark herabgeht. Bei modernen, schmal gewickelten Rahmen ist der Breiteneffekt an und für sich gering, der letzte Rest wird für die gewünschte Nullrichtung durch die Hilfsantenne oder eines der für die Beseitigung des Antenneneffektes angegebenen Mittel kompensiert.

Die inneren Fehler des Rahmens lassen sich so abgleichen, daß bei normaler Lautstärke eine Minimumbestimmung praktisch auf 1/2° möglich ist.

3. Eindeutigkeit der Bestimmung mit Rahmen (Seitenbestimmung). Beim Rahmenpeilen resultieren zwei Minima, die im allgemeinen um 180° verschoben sind. Um sie eindeutig zu machen, kann man

α) mit dem Rahmen einen ungerichteten Antennenempfang kombinieren (Telefunken). Man benutzt dazu dieselbe Hilfsantenne, die vorher zum Scharf-

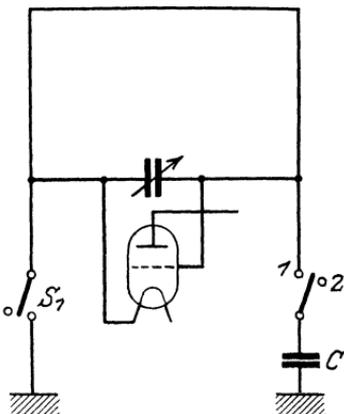


Abb. 1487. Eindeutige Peilung nach Bellescize.

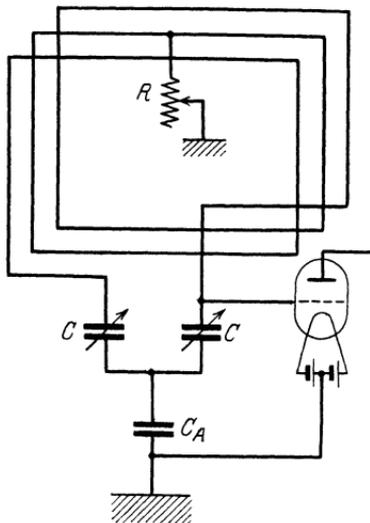


Abb. 1488. Eindeutige Peilung nach Bellini.

machen des Minimums diene, muß sie jedoch jetzt abstimmen, um Gleichphasigkeit mit dem Rahmeneffekt zu erreichen. Das erzielte Diagramm:

$$r = R \cdot \cos \varphi + A, \dots \dots \dots (25)$$

hat ein Maximum (R + A) für φ = 0° und ein Minimum — R + A für φ = 180°, gibt also eindeutig die Richtung.

Man kann bis zur Gleichheit der Amplituden gehen R = A und erhält dann die Kardioide (Abb. 1467).

β) Man kann auch den nicht abgestimmten Antenneneffekt des Rahmens selbst zur Seitenbestimmung benutzen (Bellescize, Abb. 1487). Der Rahmen ist bei der Bestimmung des scharfen Minimums symmetrisch geerdet (Schalter 1, eine Rahmenseite über Heizfaden und Batteriekapazität, die andere wesentlich über den Abgleichkondensator C und über Gitter- und Abgleichkapazität geerdet). Legt man die Schalter um, so verschiebt der auftretende Antenneneffekt die Minima eindeutig nach einer Seite (vgl. Formel 20). Die Me-

thode hat den Nachteil, daß sie mit einem kleinen Effekt arbeitet, denn γ ist ja nach Formel (22) wegen der Kleinheit von A und $\cos \alpha$ stets sehr klein.

Bellini führte deshalb in der französischen Marine die in Abb. 1488 dargestellte Schaltung ein. Der Empfänger ist mittels kapazitiver Spannungsteilung angekoppelt; die vom Rahmen- und Antenneneffekt (dessen Größe durch den Widerstand R geregelt wird) am Gitter erzeugten Spannungen sind, wie man sich leicht überzeugt, gleichphasig oder um 180° verschieden; das Richtdiagramm ist daher wie unter 3, α :

$$r = R \cdot \cos \varphi \pm A.$$

(2226) Das ideale Goniometer hat dasselbe Richtdiagramm wie der Rahmen, kann also in gleicher Weise wie der Rahmen zum Peilen benutzt werden. Die Eindeutigkeit der Richtungsbestimmung wird durch dieselben Mittel wie beim Rahmen erreicht. Da es aus zwei Rahmen, oder auch bei älteren Ausführungen aus vier Antennen (2 Antennen elektr. = 1 Rahmen, 2205), besteht, hat es zunächst dieselben „inneren“ Fehler wie der Rahmen. Dazu treten noch folgende Fehlerquellen: Haben die beiden Rahmen ungleichen Hochfrequenzwiderstand, so sind die beiden Rahmeneffekte nicht in Phase, es entsteht ein Drehfeld und daher sind die Minima nicht scharf. Die Phasenverschiebung wird am besten beseitigt durch Abstimmen der beiden Rahmen. Sind die Amplituden ungleich (ungleiche Rahmen- oder Feldspulen), so werden die Minima um einen Betrag aus der wahren Richtung verschoben, der abhängt von der Einfallsrichtung φ . Der Fehler folgt aus (2206):

$$r = R_1 \cdot \cos \varphi \cdot \cos \alpha + R_2 \cdot \sin \varphi \cdot \sin \alpha = 0.$$

Setzt man $\alpha = 90^\circ + \vartheta$, (da ja die Einfallsrichtung um 90° versetzt zur gepellten Minimumsrichtung angenommen wird).

$$\sin(\vartheta - \varphi) = \frac{R_2 - R_1}{2} \cdot \sin 2\varphi \cdot \frac{1}{\sqrt{R_1^2 \cdot \cos^2 \varphi + R_2^2 \cdot \sin^2 \varphi}}, \dots (26)$$

d. h. die Fehlerkurve ist wesentlich bestimmt durch $\sin 2\varphi$, sie ist „quadrantal“.

Literatur: Blattermann: Theory of Practical Attainments in the Design and Use of Radio Direction Finding Apparatus using Coil Antennas. J. Frankl. Inst. Bd. 188, S. 298, 1919. — Kolster u. Dunmoore: Radio Direction Finder. Bureau of Standards, Januar 1922. — Howe: Radio research board and direction finding. Electr. Bd. 94, S. 176, 184, 1925. Ref. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 27, S. 26, 1926. — Michels: Über Rahmenpeilen mit kurzen Wellen. Telefunken-Zg. Nr. 44, S. 66.

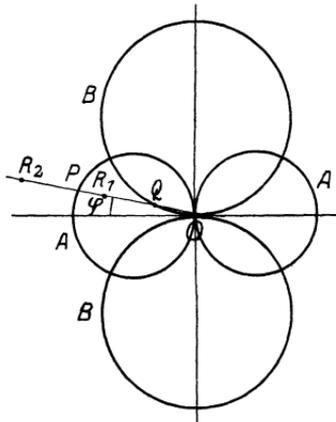


Abb. 1489. Robinsonpeiler.

(2227) Der Robinsonpeiler. Die Minimummethode versagt, wo das Minimum durch störende Geräusche stark verdeckt ist, also z. B. im Flugzeug (in letzter Zeit scheint durch Abdecken aller Störgeräusche auch hier die Minimummethode sich mit Erfolg anwenden zu lassen). Hier wendet man also besser die Maximummethode an: Mit einem Drehrahmen R (Richtkurve $r = R \cos \varphi$, Abb. 1489, Kurve A) ist starr verbunden der senkrecht zu R stehende Hilfsrahmen H (Richtkurve $r = H \cdot \sin \varphi$), dessen Wicklung mit der von R durch einen Schalter bald in einem, bald in entgegengesetztem Sinne in Serie gelegt werden kann. In der richtigen Peilung $\varphi = 0^\circ$ steht R im Maximum, H gibt keinen Beitrag.

Weicht die Peilung davon um den Winkel φ ab (Abb. 1489), so ist die Lautstärke bei der einen Schalterstellung:

$$OR_2 = OP + OQ = R \cdot \cos \varphi + H \cdot \sin \varphi,$$

bei der andern:

$$OR_1 = OP - OQ = R \cdot \cos \varphi - H \cdot \sin \varphi.$$

Die Genauigkeit der Methode hängt daher davon ab, welches Verhältnis $\frac{OR_2}{OR_1}$ das Ohr noch unterscheiden kann. In Praxis macht man den Hilfsrahmen H zwei- bis dreimal so groß wie den Hauptrahmen R .

(2228) Parabolspiegel. Auch der unter (2209) dargestellte Parabolspiegel wird als rotierender Richtsender in England für die Schifffahrt benutzt, während er als Empfangspeilanlage sich nicht eingeführt hat. Die erzielten Peilungen sind jedoch auf eine Entfernung bis zu 12 sm nur auf 2 bis 3° genau.

(2229) Leitkabel. Eine Kombination zwischen Richtsender- und Richtempfangsanlage ist das in der Schifffahrt zeitweise angewandte Leitkabelverfahren: In der Fahrtrinne einer Hafeneinfahrt liegt ein mit langer Welle (bis 50 Per/s herab) gespeistes Kabel. An beiden Seiten des Schiffes befinden sich Rahmen, deren Aufnahme aus dem Kabelfeld nur dann gleich ist, wenn sich das Schiff über dem Leitkabel befindet. Die exakte Darstellung der hier auftretenden Verhältnisse ist ziemlich kompliziert (vgl. Drysdale, Literaturverzeichnis) (2057).

(2230) Ad-Cocks System. Praktisch brauchbar zum Peilen haben sich die Wellen bis etwa 500 m herab erwiesen. Darunter treten Erscheinungen auf, die noch nicht restlos geklärt sind, deren Ursache aber wohl in einem Einfall von oben und einer anormalen Polarisation (2203) zu suchen sind. Für solche Verhältnisse brauchbar scheint sich die Anordnung von Ad-Cock zu erweisen: sie besteht aus zwei rechtwinklig zueinander angeordneten Antennenpaaren, wobei der Abstand d der Antennen jedes Paares nicht mehr wie beim Goniometer als sehr klein gegen die Wellenlänge angenommen wird (in Praxis $d \approx \frac{1}{10} \lambda$). Die Peilfähigkeit dieses und ähnlicher Systeme von beliebig im Raum einfallenden Wellen mit beliebig polarisierter Polarisation kann nach (2208) und (2218) berechnet werden.

Literatur: Ad-Cock: Improvements in Means for Determining the Direction of a Distant Source of Electrom. Radiation. Brit. Pat. 130490, 1919. — Donisthorpe: The Marconi marine radio direction finder. Proc. Inst. Rad. Eng. Bd. 13, S. 29, 1925. Ref. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Telef. Bd. 27, S. 28, 1926. — Drysdale: Distribution of the Magnetic Field and Return Current round a Submarine Cable carrying Alternating Current. Phil. Trans. (A) 224, Nr. 618, S. 95, 1924. — Engelhardt: Der el. Wegweiser mit opt. Anzeige (Leitkabel). TFT 1923, S. 21. — Hollingworth: Directional measurements with the royal aeorforce system (Robinson). Radio Review Bd. 2, S. 56, 283, 1921. — Robinson: Method of Direction Finding. Ibid. Bd. 1, S. 213, 265, 1920. — Perot: Transmission dans l'air par induction système Lyot-Perot. Onde él. 1923, S. 193. — Barfield u. Smith-Rose: Night Errors in Direction Finding. J. Inst. El. Eng. Bd. 64, S. 83, 1926.

(2231) Anzeigevorrichtungen. Die Feststellung der Peilung erfolgt im allgemeinen subjektiv mit dem Telephon. Man hatte schon früher, jedoch nur mit geringem Erfolg, versucht, eine objektive Beobachtungsmethode (z. B. Fadengalvanometer) einzuführen. In neuerer Zeit scheint hierzu die Braunsche Röhre sich als besonders geeignet zu erweisen: Der Kathodenstrahl wird durch zwei senkrecht zueinander angeordnete Plattenpaare abgelenkt, an denen (natürlich über Verstärker) die beiden Rahmen eines Goniometers liegen. Der Kathodenstrahl zeigt dann direkt die Richtung der gepulsten Welle an. Die Schwierigkeiten liegen vor allem darin, die für beide Rahmen notwendigen Verstärker vollkommen gleich zu machen. Die Versuche, atmosphärische Störungen zu peilen, sind in England bereits zu einem günstigen Abschluß gekommen.

Literatur: Herd u. Watson Watt: An instantaneous direct reading Radiogoniometer. Proc. Inst. El. Eng. Bd. 64, S. 611, 1926. Ref. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 28, S. 130, 1926.

(2232) Peilfehler. Ursachen. Außer den durch „innere“ Fehler der Peilapparat, die durch konstruktive Maßnahmen herabgedrückt werden können, hervorgerufenen Abweichungen, können beim praktischen Peilen ganz erhebliche weitere Fehler auftreten. Diese können zeitlich gleichbleibend oder veränderlich sein. Die veränderlichen treten bei den zurzeit benutzten Peilwellen (600 bis 1000 m) vor allem nachts und bei der Dämmerung auf (Nachteffekt). Sie er-

reichen bisweilen Beträge bis zu 90° . Das gepeilte Minimum ist unscharf und wandert. Ob diese Schwankungen wirklich Richtungsschwankungen sind, oder durch Interferenz zwischen den auf zwei (oder mehr) Wegen am Empfänger ankommenden Strahlen oder auch durch Drehung der Polarisationssebene der einfallenden Welle hervorgerufen werden, darin ist Klärung durch zurzeit laufende Versuche mit Peilapparaturen, die jeden dieser Effekte einzeln unterscheiden lassen, zu erwarten (z. B. Ad-Cock-System, Kombination von Vertikal- und Horizontalrahmen und ähnliche Systeme).

Die vor allem in Frankreich aus längeren Beobachtungsreihen gezogene Folgerung, daß tönende Sender sich auch in den Nachtstunden besser zum Peilen eignen als ungedämpfte, wird in letzter Zeit lebhaft angefochten. Feststeht, daß auch dicht benachbarte Wellen (und zwar um so stärker, je kürzer die Wellen sind) sich bei der Ausbreitung verschieden verhalten können. Noch nicht erwiesen ist, wie weit sich diese Verschiedenheit auf Richtungsschwankungen oder Intensitätsschwankungen (Fadings) verteilt. Die zurzeit laufenden Vergleichsuntersuchungen zwischen

1. ungedämpfter

Welle $E \sin \omega t \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot = 1$ Frequenz

2. mit reinem Ton

modulierter Welle . $E (1 + k \sin \Omega t) \sin \omega t \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot = 3$ Frequenzen

3. beliebig modulierter Welle (Telefonie)

$(1 + \sum_{i=1}^n k_i \sin \Omega_i t) \sin \omega t = 2n + 1$ Frequenz

4. abreißende und mit beliebiger Phase wieder einsetzende

Schwingung (nach F. Fischer, vgl. Lit.

Verz.) $(1 + \sum_{i=1}^n K_i \sin \Omega_i t) \cdot \sin [\omega t + \varphi(t)]$

lassen auch für die Erforschung der Richtungsschwankungen wertvolle Aufschlüsse erwarten.

Die zeitlich konstanten Fehler beim Peilen werden zum Teil hervorgerufen durch das zwischen Sender und Empfänger gelegene Gelände (Brechung und Reflexion an der Küste, Ablenkung durch Flüsse, Berge usw.), zum Teil durch die nähere Umgebung des Peilers.

Die letzteren sind in den letzten beiden Jahren auf Schiffen, wo man sie konzentriert vorfindet, genau untersucht worden (Übertragung auf Landstationen ähnlich). Die in der Nähe des Peilers befindlichen Leiterteile wirken je nach ihrer Gestalt als Antennen oder Rahmen. Durch die in ihnen durch ein ankommendes Feld erzeugten Ströme geben sie zu dem Feld der Welle am Ort des Peilers ein Rückstrahlungsfeld, so daß das auf den Peiler einwirkende Feld abgelenkt erscheint. Rückstrahlungsfelder, die nicht mit der ankommenden Welle in Phase sind, ergeben mit dieser ein Drehfeld, d. h. keine reinen Minima. Für die der einfallenden Welle konphasen Rückstrahlungsfelder gilt:

Der Peiler (z. B. Drehrahmen) stehe im Anfangspunkt O eines Koordinatensystems x, y :

1. Die Rückstrahlungsfelder aller als Antenne wirkenden Leitergebilde lassen sich ersetzen durch die Rückstrahlungsfelder zweier Antennen, von denen die eine auf der x -Achse, die andere auf der y -Achse steht.

2. Die Rückstrahlungsfelder der als Vertikalschleifen wirkenden Störgebilde lassen sich reduzieren auf vier Hauptschleifen: eine Schleife in der x -Achse, eine in der y -Achse und je eine parallel zur x - bzw. y -Achse, deren Ebene aber nicht durch O (d. h. den Peilermittelpunkt) geht.

Gepeilt wird das aus der ankommenden Welle und der Summe dieser Rückstrahlungsfelder resultierende Feld.

Für die Abweichung $f = p - q$ (Deviation, Funkfehlweisung, Funkbeschiekung) zwischen gepeilter Richtung q und wahrer Richtung p findet man auf diese Weise (fast in genauer Analogie zum Magnetkompaß; Abweichungen s. Literatur):

$$\operatorname{tg} f = \frac{\mathfrak{A} + \mathfrak{B} \cdot \sin p + \mathfrak{C} \cdot \cos p + \mathfrak{D} \cdot \sin 2p + \mathfrak{E} \cdot \cos 2p}{1 + \mathfrak{B} \cdot \cos p - \mathfrak{C} \cdot \sin p + \mathfrak{D} \cdot \cos 2p - \mathfrak{E} \cdot \sin 2p} \dots (27)$$

oder in der in der Praxis üblichen Weise entwickelt:

$$f^{\circ} = A + B \cdot \sin q + C \cdot \cos q + D \cdot \sin 2q + E \cdot \cos 2q + F \cdot \sin 3q + G \cdot \cos 3q + K \cdot \sin 4q + L \cdot \cos 4q + \dots (28)$$

Die Erfahrung hat gezeigt, daß Schiffe wesentlich wie eine induktive Längschleife wirken, die für die benutzten Peilwellen stark verstimmt ist und eine große Dämpfung besitzt. Der Ausdruck (27) wird dann zu:

$$\operatorname{tg} f = \frac{\mathfrak{D} \cdot \sin 2p}{1 + \mathfrak{D} \cdot \cos 2p} = \frac{\mathfrak{D} \cdot \sin 2q}{1 - \mathfrak{D} \cdot \cos 2q} \dots (29)$$

oder entwickelt (nach 28):

$$f^{\circ} \approx D \cdot \sin 2q + K \cdot \sin 4q \quad (\text{wo } K = \frac{1}{2} \sin^2 D \text{ und } \mathfrak{D} = \sin D),$$

d. h. die Funkfehlweisung ist quadrantal; D ist im Mittel 10° bis 15° groß und fast immer positiv.

Erwähnt sei, daß eine Längs- und Seitenneigung des Schiffes auch ein reines D ergibt, das aber in allen praktischen Fällen vernachlässigt werden kann. Maste und Takelage wirken wie Hochantennen, ergeben ein B und F , also einen halb-kreisförmigen Verlauf der Funkbeschiekung.

Die Funkbeschiekung wird für jedes Schiff aufgenommen, indem das Schiff von einem kleinen Hilfsender im Abstände von mindestens einer Wellenlänge (in diesem Abstand treten Medieneinflüsse noch nicht auf) umfahren wird, so daß man den Sender gleichzeitig optisch und elektrisch peilen kann.

(2233) Kompensation. 1. Elimination. Man kann den Fehler eliminieren durch die Eichung des Peilers und Beigabe einer Tabelle, in der zu jeder gepeilten Richtung der Fehler oder die wahre Richtung verzeichnet sind.

2. Mechanische Kompensation. Der Fehler wird entweder durch entsprechende Gravierung der Ableseskala (beim Rahmen im allgemeinen Scheibe) berücksichtigt. Oder man läßt die Kreisteilung der Skala unverändert und setzt zwischen Skala und Drehrahmen ein Getriebe, dessen Gang den Fehler kompensiert (praktisch ausgeführt für reines \mathfrak{D} von Prof. Maurer).

3. Elektrisch-bauliche Kompensation (Prof. Maurer, Dr. Fischer). Man baut in der Nähe des Peilers zusätzliche Leiter (Antennen und Schleifen), die das Störfeld gerade kompensieren. Als Antenne kann man beim Rahmen die schon zur Kompensation des Antenneneffektes benutzte „Hilfsantenne“ verwenden. Für einen in der Praxis aufgetretenen Fall:

Ein durch ein Schiff hervorgerufenen D von 10° ($\mathfrak{D} = 0,174$) wurde kompensiert durch eine trapezförmige Längsschiffschleife, deren obere Kante 9,30 m, untere Kante 1,20 m, Höhe 6,28 m, Fläche 32 m² war und in deren unterer Hälfte der Rahmen stand. Kompensiert man übrigens hier mit einer Querschleife, so hebt man dadurch nicht wie bei der Längsschleife das Störfeld auf, sondern dreht es in die Richtung der einfallenden Welle.

Abhängigkeiten des Störfeldes von der Wellenlänge kann durch Widerstände, die in die Kompensationsschleife eingebaut sind (dadurch Regulierung der Amplitude des Rückstrahlungsfeldes) begegnet werden.

Beim Goniometer kann man natürlich eine Zusatzschleife sparen; man braucht nur die beiden Rahmen oder Feldspulen des Goniometers ungleich groß zu machen [(2226), „innerer“ Fehler des Goniometers].

Literatur: Austin: A new phenomenon in sunset radio direction variations. Proc. Inst. Rad. Eng. Bd. 13, S. 409, 1925. — Ders.: A suggestion for experiments on apparent radio direction variations. Proc. Inst. Rad. Eng. Bd. 13, S. 3, 1925. — Fischer, F.: Die allgemeine Funkbeschiekungsgleichung. Ann. Hydrogr. Sept. 1926. S. 341. — Fischer, F. u.

Michelssen-Passarge: Eignen sich kurze Wellen zum Funkpeilen? Ebenda 1926, S. 384. — Maurer u. F. Fischer: Die vom Schiff hervorgerufene Funkfehlweisung und ihre Kompensation. ETZ. Bd. 46, S. 1901; Ann. Hydrogr. 1926; Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 27, S. 125, 1926. — Marconi: Kompensation des Goniometers. DRP 363202, 1920. — Mesny: Compensation des cadres radiogoniométriques. Rev. gén. de l'élect. Bd. 13, S. 773, 1923. — Ders.: Variations en direction et en intensité du champ électromagn. d'une émission. Onde él. Bd. 1, S. 501, 577, 1922. — Ders.: Diffraction du champ él. par un cylindre. Application à la radiogoniométrie à bord d'un navire. Radio-Review Bd. 1, 1920. — Ders.: Les déviations des ondes électromagn. J. de phys. Bd. 4, S. 129, 380, 1923. — Gouinet: Courbe de déviation d'un radiogoniomètre de bord. Onde él. 1926, S. 553. — Heiligtag: Über die Gründe der Mißweisungen beim Richtempfang. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 21, S. 77, 1923. — Hollingworth u. Hoyle: Local errors in Radio Direction Finding. Radio-Review Bd. 1, S. 644, 1920. — Horton: Wireless Direction Finding in steel ships. El. World Bd. 82, S. 927, 1923; J. Inst. El. Eng. Bd. 61, S. 1049, 1923. — Smith-Rose: The effect of wave damping in radio direction finding. J. Inst. El. Eng. Bd. 63, S. 923, 1925. Ref. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 27, S. 184, 1926. — Ders.: The effect of the shape of the transmitting aerial upon observed bearings on a radio-direction-finder. J. Inst. El. Eng. Bd. 62, S. 957, 1924. — Ders.: Coastal Errors in Radio Direction-Finding. Nature Bd. 116, S. 426, 1925. — Smith-Rose u. Barfield: Einfluß der lokalen Bedingungen auf eine Peilanlage. J. Inst. El. Eng. Bd. 61, S. 179, 1922; Wireless World Bd. 11, S. 165, 1922. — Dies.: On the determination of the directions of the forces in wireless waves at the earth's surface. Proc. Roy. Soc. London (A) Bd. 107, S. 587, 1925. — Hoyt-Taylor: Variation in direction of propagation of long electromagn. waves. Scient. Pap. Bur. of Stand. 15, S. 419, 1919. — Turner: Wireless Position Finding on Ships. Electr. Bd. 97, S. 127, 1926. — Wiedenhoff: Feldstarkeschwankungen und Wellenablenkung. ENT Bd. 1, S. 64, 1924. — Fischer, F.: Liefert ein abreißender ungedampfter Sender modul. Hochfrequenz. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 29, S. 191, 1927.

(2234) Flugzeugpeilung. Beim Peilen von Flugzeugen mit dem üblichen Rahmen oder Goniometer können erhebliche Mißweisungen auftreten. Die Ursache liegt darin, daß die vom Flugzeug ausgesandte Welle infolge der im allgemeinen schräg hängenden Antenne nicht normal polarisiert schräg von oben beim Empfangsort ankommt und hier am Boden reflektiert wird. (Dadurch wird übrigens die Vertikalkomponente des resultierenden magnetischen Feldes = 0 — vollkommen leitenden Boden vorausgesetzt —, die Horizontalkomponente verdoppelt. Für den Rahmen- oder Goniometerpeiler mit vertikaler Fläche ist aber nur die Horizontalkomponente des Magnetfeldes maßgebend.)

Ist ψ der Winkel, unter dem das Flugzeug über dem Horizont vom Peiler gesehen erscheint, α der Winkel der Flugzeugantenne gegen die Horizontalebene, φ der Winkel zwischen Rahmenantenne und Vertikalebene durch Flugzeug und Peiler, so ist die Fehlweisung f :

$$\operatorname{tg} f = \frac{\sin \varphi}{-\cos \varphi + n} \quad n = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \psi} \quad \dots \dots \dots (30)$$

Die Fehlweisung wird 0, wenn das Flugzeug auf den Peiler zu oder von ihm fortfliegt.

Systeme, die beliebig im Raum einfallende Wellen peilen lassen, sind in Entwicklung (2232) und werden auch über die bei Peilungen von Flugzeugen auftretenden Fehlweisungen noch genauere Unterlagen schaffen.

Literatur: Baldus, Buchwald u. Hase: Richtungstelegr. auf Flugzeugen. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 15, S. 99, 101, 114, 214, 1920. — Burstyn: Richtungstest auf Flugzeugen. Ebenda Bd. 16, S. 322, 1920. — Frank: Mesures radiogoniom. en avion. Onde él. Bd. 3, S. 65, 1924.

(2235) Peilverfahren. Zweck der Peilung ist häufig nicht bloß die Richtungsbestimmung, sondern die Standortbestimmung. (Richtungsbestimmung allein genügt bei Zielfahrt.) Diese „Funkortung“ geschieht in der Praxis nach drei Verfahren, die vor allem in der Schifffahrt durchgebildet sind.

a) Fremdpeilung: meist als Kreuzpeilung ausgeführt. Für das Ergebnis der von drei festen Stationen ausgeführten Peilungen gelten die Regeln der Ausgleichsrechnung für das „Fehlerdreieck“.

b) Eigenpeilung: 1. mit ungerichteten Empfänger an Bord und Richtsender an Land (Richtfunkbake);

2. mit Richtempfänger an Bord und ungerichteten Peilsender an Land (Funkbake).

In der Schifffahrt oft mit Abstandsbestimmung verbunden nach folgendem Verfahren: Die Landstelle (Feuerschiff) sendet gleichzeitig ein Funkkennungszeichen und mittels eines Unterwasserschallsenders (Ton zurzeit 1050) ein Unterwasserschallsignal (2059/61). Nach einer Pause von 1,253 s Dauer (d. i. die Zeit, welche der Schall durchschnittlich im Seewasser braucht, um 1 Seemeile zurückzulegen) folgen Funkzeichen von je 1 s Dauer mit dem Abstand von 0,253 s. Das Schiff, das die Unterwasserschallsignale entweder mit Unterwasserschallmikrophonen (auch Elektromagnetempfänger) oder auch schon durch Abhören an der Bordwand aufnehmen kann, braucht nur die Anzahl der Funkstriche zu zählen, die vom Kennungszeichen bis zum Eintreffen des Unterwasserschallsignals verstreichen, um seine Entfernung in Seemeilen zu erhalten.

Als Nulllinie, von der aus die Peilung genommen wird, wird naturgemäß der Meridian (Kompaßablesung) genommen. Man peilt also den Winkel (Azimut) zwischen Meridian und Großkreis (gesuchte Standlinie) durch Standort und Sendestation (Winkel α_0 in Abb. 1490). Die genaue Ortsbestimmung aus zwei Azimuten ist als Pothenotsche (Snelliussche) Aufgabe bekannt; führt auf Gleichungen 4. Grades zur Bestimmung von φ und λ von A . Eine Peilung (ein α_0) gibt ja noch nicht den Schiffsort, sondern nur eine Kurve, die Azimut-

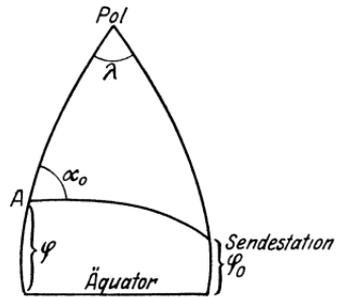


Abb 1490. Peilen auf große Entfernungen.

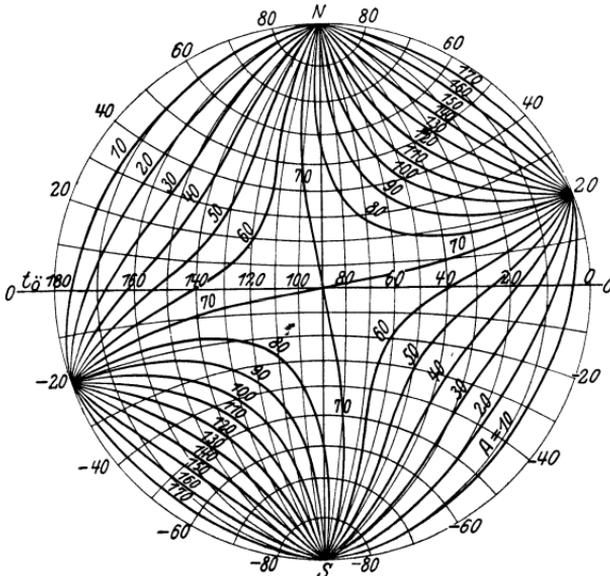


Abb. 1491. Azimutgleichen.

gleiche (gehört zu den Cassinischen Linien) als geometrischen Ort der Punkte, deren Großkreisverbindungen mit Pol und Sendestation den Winkel α_0 bilden. Abb. 1491 zeigt den von Prof. Wedemeyer errechneten Verlauf der Azimutgleichen für eine Sendestation auf 20° Nordbreite in stereographischer Projektion.

In der Praxis braucht man nie die ganze Azimutgleiche, sondern nur das Stück um den vermuteten Standort, den man aus dem geigsten Besteck ungefähr kennt. Von den für den praktischen Gebrauch ausgearbeiteten Verfahren von Wendt, Immler, v. Kobbe, Maurer und Wedemeyer, aus einem geigsten Besteck und einer oder zwei Funkpeilungen auch auf größere Entfernungen (über 80 sm) den wahren Standort in der Seekarte zu bestimmen, scheint sich das v. Kobbesche als das praktischste zu bewähren (vgl. Literatur).

Literatur: Brown u. Wood: Radioakust. Ortsbestimmung auf dem Wasser. Phys. Soc. Proc. Bd. 35, S. 183, 1923. — Eccles: Maps for Radio-telegr. and aeronautics. Yearbook 1919. — Erskine-Murray: Richtungssenden elektromagn. Wellen für nav. Zwecke. Ref. TFT 1923, S. 23. — Funkpeilungen, Nautischer Funkdienst 1926, S. 17. — Immler: Die Azimutgleiche und ihre Verwertung bei der Funkortung. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 26, S. 78, 1925; Ann. Hydrogr. 1925, S. 127. — Ders.: Der Peiler als nautisches Instrument. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 17, S. 57, 1921. — Marti: Le repérage de la position des navires par emploi combiné de la TSF et des ondes sonores sous-marines. Onde él. Bd. 8, S. 445, 1922. — Maurer: Ergebnisse von Ft.-Peilungen. TFT 1923, S. 23. — Nitzsche: Funkpeilungen auf große Entfernungen. Telefunken-Zg. Nr. 38, S. 44, 1924. — Ders.: Ermittlung wahrer Funkstrahlrichtungen auf Landpeilstationen. Ebenda Nr. 44, S. 72, 1926. — Plett: An Azimuthal-Zenithal Graticule. Yearbook 1922. — Wedemeyer: Das Pothenotsche Problem. Ann. Hydr. 1910, S. 434. — Ders.: Ortsbestimmungen durch Funkpeilungen. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 25, S. 50, 1925; Telefunken-Zg. Nr. 39, S. 41, 1925.

Schnelltelegraphie und Schreibempfang.

(2236) **Schnelltelegraphie.** Das Aussenden und Empfangen von drahtlosen Zeichen ist gleichbedeutend mit dem Senden und Empfangen von modulierten Schwingungen; das Sendetempo ist also wesentlich bedingt durch die Dämpfung der Sende- und Empfangsseite. Erwünscht ist möglichst steiler Anstieg und Abfall der Zeichen („rechteckige“ Zeichen). Ein Punkt von der Dauer $\tau = t_2 - t_1$, der zur Zeit t_1 einsetzt und zur Zeit t_2 aufhört, läßt sich darstellen durch:

$$V = [E_o(t, t_1) - E_o(t, t_2)] \cdot V_o \cdot \sin \omega(t - t_1),$$

wo ω die Kreisfrequenz, V_o die Amplitude der hochfrequenten Schwingung und E_o der Diskontinuitätsfaktor

$$E_o(t, t_1) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{d\Omega}{\Omega} \sin \Omega(t - t_1)$$

sind. Dadurch ist das Amplitudenspektrum des Punktes in Abhängigkeit von der Frequenz bei gegebener Punktlänge τ und damit von der Telegraphiergeschwindigkeit dargestellt.

Turner hat für ein „rechteckig“ ankommendes Zeichen die zulässige Grenze für das Empfängerdekrement δ bestimmt durch:

$$\frac{\omega}{2\pi} \delta \cdot \tau \approx 2.$$

Da z. B. τ für das Morsesystem $= \frac{60}{48} \cdot \frac{1}{W_m}$ (W_m = Wortzahl je Minute, Einheitswort „Paris“ = 48 Punktlängen), so ist die zulässige Telegraphiergeschwindigkeit annähernd gegeben durch:

$$W_m = \frac{15}{48} \cdot \frac{\omega}{\pi} \delta.$$

Wird der Einfluß der An- und Abklingzeiten des Senders mit berücksichtigt, so reduziert sich W_m etwa auf die Hälfte:

$$W_m = \frac{15}{2} \cdot \frac{\omega}{\pi} \cdot \delta \cdot a;$$

(wo a allgemein durch das angewandte Registriersystem gegeben ist).

Für ein Empfängerdekrement von $\delta = 0,003$ ergeben sich nach Turner daraus die maximalen Telegraphiergeschwindigkeiten:

$$\begin{aligned} \text{bei } \lambda &= 1000 \text{ m zu } W_m \approx 280 \\ \text{,, } \lambda &= 5000 \text{ m ,, ,, } \approx 55 \\ \text{,, } \lambda &= 20000 \text{ m ,, ,, } \approx 14. \end{aligned}$$

Die nach Turner für W_m erhaltenen Werte sind im allgemeinen etwa drei- bis viermal zu groß, da Turner nicht die volle Einschwingzeit für ein Zeichen verlangt, sondern sich mit 70 vH der Maximalamplitude begnügt. Außerdem hat Turner sich auf die Betrachtung nur eines Kreises beschränkt.

Besteht der Empfänger aus einer Reihe von Kreisen (Siebkette, Wellenfilter), so ist die Einschwingzeit eines Zeichens (Einschwingzeit = Zeit vom Beginn des Zeichens bis zum Erreichen von 90 vH des Endwertes) nach Küpfmüller.

$$T = \frac{5,0 \text{ bis } 5,5}{\omega_2 - \omega_1}$$

wo ω_2 und ω_1 die Grenzfrequenzen des Wellenfilters sind. (Die Grenzfrequenzen sind dabei definiert als die Frequenzen, bei denen die Resonanzkurve des Filters die größte absolute Steilheit hat.)

Für ein solches Filter ergibt sich demnach als maximale Wortgeschwindigkeit (Morsesystem):

$$W_m = \frac{60}{48} \cdot \frac{\omega_2 - \omega_1}{5}$$

W. Ludenia gibt in einer kürzlich erschienenen Arbeit die maximalen Wortgeschwindigkeiten zu:

$$W_m = \frac{3}{\pi} \cdot \delta \cdot \omega \cdot a$$

wo δ das Senderdekrement und das Empfängerdekrement $\delta' = \frac{3}{5} \delta$ sein soll.

Da der aus der Betriebspraxis entnommene Begriff der Wortgeschwindigkeit nicht eindeutig ist, pflegt man neuerdings die Übertragungsfähigkeit in Baud auszudrücken. Nach dem Vorschlag der CCIT, Berlin 1926, ist 1 Baud = 1 Stromschritt/sec.

Die zur Zeit im kommerziellen Verkehr erreichten Geschwindigkeiten sind wesentlich bedingt durch die atmosphärischen Bedingungen. Sie betragen bis zu 300 W_m bei den ganz kurzen Wellen (20...50 m) und bis etwa 140 W_m bei den langen Wellen (13 km).

(2237) Schreibempfang. Gleichrichter: Die ankommenden hochfrequenten Zeichen werden durch Überlagerung (falls nicht moduliert gesendet wird) und im allgemeinen durch Gleichrichtung mit Audion in niederfrequente Zeichen verwandelt. Es ist durchaus möglich, mit der Niederfrequenz direkt auf ein Wechselstromrelais zu arbeiten; dies findet aber wenig Anwendung. Meist werden die niederfrequenten Zeichen noch mit Hilfe von Röhren in Gleichstromstöße umgewandelt. Die Röhre kann dabei

a) als Ventil geschaltet werden: Gitter und Anode sind beide miteinander verbunden. Die Niederfrequenz wird induktiv der Anode (Gitter) zugeführt (Betriebsschaltung der Radio Corporation of America).

b) Die Röhre wird als Richtverstärker benutzt: Die Niederfrequenz wird dem Gitter, das durch eine Gleichspannung auf den unteren oder oberen Knick der Kennlinie eingestellt ist, zugeführt (Transradio, Berlin).

c) Die Röhre wird als Audion geschaltet, so daß bei auf das Gitter kommenden Schwingungen der Anodenstrom sinkt.

Je nach Art der verwendeten Anzeigevorrichtung kann diese bei den angegebenen Schaltungen in die Anodenleitung direkt gelegt werden, oder man

arbeitet mit der an einem hohen Widerstand in der Anodenleitung abgegriffenen Spannung.

Für die unter a...c dargestellten Methoden der Gleichrichtung ist wesentlich, daß der Gleichstromkomponente noch eine Reihe von Wechselströmen überlagert sind. Für reine Halbweggleichrichtung sind deren Amplituden gegeben durch:

$$I = I_0 \cdot \left[\frac{1}{\pi} - \frac{1}{2} \cos \omega t + \frac{2}{3\pi} \cos 2 \omega t - \frac{2}{3 \cdot 5 \pi} \cdot \cos 4 \omega t + \dots \right].$$

Es ist daher notwendig, die Anzeigevorrichtung durch große Kapazitäten zu überbrücken. Ihre Größe (etwa 0,5...4 μ F) hängt ab von der Impedanz des Anzeigesystems und der angewandten Telegraphiergeschwindigkeit, da durch diese Kapazitäten die Zeichen verflacht werden.

Statt direkt auf die Anzeigevorrichtung zu arbeiten, kann ein Schaltrelais, d. h. ein Relais, das einen Hilfskontakt bestätigt, eingeschaltet werden. Dies hat jedoch den empfindlichen Nachteil, daß der von der Hilfsbatterie betriebene Schreiber dann nicht mehr quantitativ arbeitet, und atmosphärische Störungen, die das Hilfsrelais zum Ansprechen bringen, sich nicht mehr von Zeichen unterscheiden lassen.

(2238) Anzeigevorrichtungen. a) Elektromagnetische: Der Gleichstrom fließt durch eine Spule mit Eisenkern und zieht (oder dreht) dadurch einen Anker an, der den Schreibstift trägt. Der Anker wird durch Federkraft in seine Ruhelage zurückgebracht. Statt des einfachen Magnetrelais kann auch ein polarisiertes Relais benutzt werden (Morseschreiber, Telegraphon, bei dem der Schreibstift die Zeichen auf eine sich drehende Wachsrolle aufschreibt).

b) Elektrodynamische: α) Einthovensches Fadengalvanometer. Der Gleichstrom fließt durch einen dünnen Goldfaden, der in einem konstanten Magnetfeld ausgespannt ist. Der Faden wird von der einen Seite beleuchtet und sein Schattenbild nach Vergrößerung durch ein Linsensystem auf abrollendes lichtempfindliches Papier photographiert.

β) Tauchspulenrecorder. Der Gleichstrom fließt durch eine Spule, die in ein konstantes Magnetfeld taucht und an einem längeren Hebel den Schreibstift (ein Kapillarröhrchen, das an einem Ende auf dem vorbeilaufenden Papierstreifen aufsitzt, am anderen Ende in ein Tintengefäß taucht) trägt (Radio Corporation of America). Die Tauchspule wird durch 4 gespannte Seidenfäden in ihrer Ruhelage gehalten.

γ) Drehspulenrecorder (1462, 1473) (Syphon Recorder von Lodge, Muirhead). Statt der Tauchspule wird eine Drehspule verwandt, die durch 4 gespannte Stahldrähte in der Ruhelage gehalten wird. Neuerdings zu sehr großer Empfindlichkeit durchgebildet von Siemens; weniger empfindlich der von Creed Co., London.

δ) Elektrostatische: Über einem rotierenden zylindrischen Halbleiter (Achat) schleift ein Metallband, welches auf der einen Seite durch eine Feder gegen die Mitnahme gehalten wird. Wird die von Gleichstromimpulsen herrührende Spannung an den Zylinder und das Metallband angelegt, so wird dieses durch die auftretende starke Anziehung von dem rotierenden Zylinder mitgenommen und betätigt über Winkelhebel den Schreibstift (Johnson-Rahbek, 1474).

c) Lichtschreiber (vgl. Bildtelegraphie (1525) bis (1531) und (2248)).

Bei guten Empfangsverhältnissen ist es möglich, die ankommenden Zeichen direkt im Typendruck zu erhalten; im allgemeinen werden dazu die ankommenden Zeichen einem Stanzer zugeführt und durch den so erhaltenen Lochstreifen wird der Typendruckapparat betätigt (Wheatstone, Creed, Morkrum-Teletype [vgl. dazu Kabeltelegraphie]).

Literatur: Fischer u. Pungs: Schnelltelegraphie mit Steuerdrossel. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 27, S. 51, 1926. — Mayer, R.: Bemerkung dazu. Ebenda Bd. 29, S. 76, 1927. — Jipp: Der neue Drehspulenschnellschreiber von Siemens-Halske. Ebenda Bd. 27, S. 175, 1926. — Kupfmüller: Einschwingvorgänge in Wellenfiltern. ENT Bd. 1,

S. 141, 1924. — Lertes, P.: Der Creedsche Schnelltelegraph. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 22, S. 34, 80, 1923. — Ludentia, W.: Zur Theorie der extremen Schnelltelegraphie. ENT Bd. 4, S. 93, 1927. — Lüschen u. Kupfmüller: Tonfrequenztelegraphie. Ebenda Bd. 4, S. 167, 1927. — Lüschen: Technik der Telegraphie u. Telephonie im Weltverkehr. ETZ 1924, S. 793, 824. — Möller: Einfluß der Aufschaukelzeit beim drahtlosen Schnellverkehr. Z. techn. Phys. Bd. 3, S. 128, 1922. — Rottgardt, K.: Johnson-Rahbek Effekt. Ebenda 1921, S. 315. — Quack, E.: Betriebszentrale Transradio. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 28, S. 162, 1926. — Turner: Damping and Speed in Wireless Reception. J. Inst. El. Eng. Bd. 62, S. 192, 1924. — Wratzke: Entwicklung der drahtlosen Schnelltelegraphie beim HTA, Berlin. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Teleph. Bd. 27, S. 13, 1926.

Funktelephonie und Rundfunk.

(2239) **Grundlagen.** Brauchbare Schaltungen für die Funktelephonie konnten erst entwickelt werden, nachdem die Röhrentechnik genügend weit fortgeschritten war. Damit entfiel die Notwendigkeit, Starkstrommikrophone (1728) zu bauen, an der früher die Konstruktion brauchbarer Telephoniesender gescheitert war. Die für den Sender notwendige niederfrequente Energie wird jetzt allgemein durch Einschaltung eines geeignet dimensionierten Verstärkers zwischen Mikrophon und Sender gewonnen.

Alle Telephonieschaltungen beruhen auf der Modulation einer hochfrequenten Schwingung, wie in Abb. 1492 dargestellt. Die Amplituden dieser hochfrequenten Schwingung werden im Rhythmus der zu übertragenden Sprache, Musik usw., also in niederfrequentem Tempo verändert oder moduliert.

Erfolgt die Modulation mit nur einem einzigen Ton von der Frequenz f , und bezeichnen wir die Frequenz der Trägerwelle mit F , dann bewirkt sie, daß der Sender nicht mehr eine einzige Welle, die „Trägerwelle“, ausstrahlt, sondern gleichzeitig drei Wellen, die den Frequenzen $F - f$, F , $F + f$ entsprechen. Sprache und Musik bestehen nun bekanntlich aus einem Gemisch sehr vieler, gleichzeitig vorhandener Töne. Liegen alle diese Töne zwischen den Frequenzen 0 und f Hertz, dann wird ein Sender, der auf diese Weise moduliert ist, ein ganzes Wellenband aussenden, nämlich alle Wellen, die den Frequenzen zwischen $F - f_{\max}$ und $F + f_{\max}$ entsprechen. Der Sender wird also ein um so breiteres Frequenzband belegen, je höhere Frequenzen in den zu übertragenden Klängen vorkommen; bei Sprache kann man etwa $f_{\max} = 3000$ Hertz, bei Musik etwa $f_{\max} = 10000$ Hertz ansetzen.

Sollen sich also zwei Musik bringende Telephoniesender nicht stören, so müssen sie sich in der Frequenz der Trägerwelle um 20000 Schwingungen unterscheiden. Ein Unterschied von etwa 10000 Schwingungen muß außerdem aus dem Grunde gefordert werden, weil die Trägerwellen sich überlagern und in dem Wiedergabeapparat den Schwebeston ertönen lassen.

Aus diesem Grunde sind lange Wellen für die Telephonie ungeeignet. In dem Wellenbereich von 1000 bis 7500 m könnten beispielsweise nur 14 Telephoniesender gleichzeitig störungsfrei nebeneinander arbeiten. Die Verhältnisse werden in dieser Hinsicht offenbar um so günstiger, je höher die Frequenz der Trägerwelle ist. So können z. B. zwischen 300 m und 250 m bereits 10 Sender eingesetzt

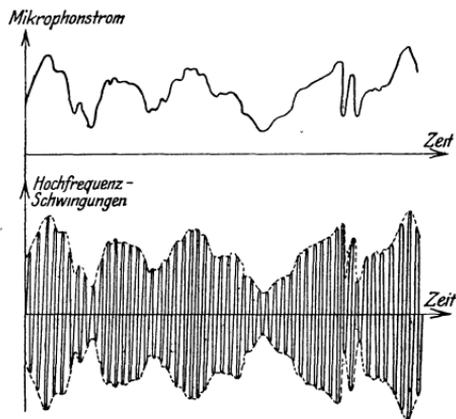


Abb. 1492. Modulierte Schwingungen.

werden, zwischen 30 m und 25 m würden sich schon 100, zwischen 3 m und 2,5 m sogar 1000 derartiger Sender unterbringen lassen.

Es hat sich herausgestellt, daß bei der großen Zahl von Telephoniesendern, die heute schon in Europa vorhanden sind, ein Abstand von $f = 20000$ Hertz nicht mehr durchführbar ist. Durch internationale Vereinbarung ist daher ein Abstand von $f = 10000$ Hertz zwischen je zwei Telephoniesendern als normal festgesetzt worden.

Durch geeignete Drosselketten läßt sich übrigens das eine „Seitenband“ und auch die Trägerwelle eines Telephoniesenders unterdrücken und damit die Anzahl der einsetzbaren Stationen verdoppeln. Zumal beim Rundfunk dürfte dies aber praktisch keine Bedeutung haben, da durch eine Verdopplung einerseits zu wenig gewonnen, andererseits aber die Empfangsapparatur erheblich kompliziert wird.

Beim Empfang wird der in der Antenne induzierte Schwingungsstrom zunächst gleichgerichtet. Dazu kann ein Kristalldetektor oder eine Röhre (Audion) verwendet werden (1182). Der gleichgerichtete Strom durchfließt dann einen Fernhörer oder einen ähnlichen Wiedergabeapparat, der die durch die Begrenzungslinie dargestellte Kurvenform akustisch wiedergibt.

Zur funktelephonischen Übertragung kommen in Frage sowohl gesprochene Nachrichten als auch musikalische Darbietungen. Die Anforderungen in technischer Hinsicht sind höher als bei der Leitungstelephonie. Während bei der Übermittlung von Sprache nur Verständlichkeit gefordert wird und eine Veränderung der Klangfarbe häufig belanglos ist, muß bei der Übermittlung von Musik unbedingte Natürlichkeit, d. h. Verzerrungsfreiheit, verlangt werden. Auch wenn es sich nur um Sprache handelt, muß die Verständlichkeit größer sein als bei der Leitungstelephonie. Insbesondere trifft das beim Rundfunk zu, bei dem die Rundwirkung der drahtlosen Ausbreitung ausgenutzt wird und Gegensprechen nicht in Frage kommt.

(2240) Aufnahmeapparate (Mikrophone)¹⁾. a) Kontaktmikrophone. Zur Aufnahme von Sprache läßt sich jedes beliebige Kohlemikrophon verwenden; als besonders geeignet haben sich die sogenannten Tisch-Diktiermikrophone der Firma Telephon A.-G. erwiesen. Mittlerer Mikrofonstrom hierbei 10 bis 40 mA. Neuerdings ist eine besondere Ausführung des Kontaktkohlemikrophons (von E. Reisz) sehr stark in Gebrauch gekommen, die keine stromführende Membran besitzt; mittlerer Mikrofonstrom ebenfalls 10 bis 40 mA. Ein solches Reisz-Mikrophon ist auch zur Aufnahme von Musik vorzüglich geeignet. — Im Auslande werden vielfach doppelseitig wirkende (push-and-pull-)Mikrophone mit stark gespannter Duraluminiummembran benutzt (1728, Abs. 4).

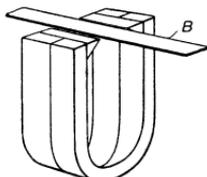


Abb. 1493.
Bändchen-Mikrophon.

b) Magnetische Mikrophone. Jedes gewöhnliche Telephon läßt sich als Mikrophon verwenden. Da die Membran aber stets eine oder mehrere sehr stark ausgeprägte Eigenschwingungen hat, so sind Verzerrungen unvermeidlich. Beim Bändchenmikrophon ist ein äußerst dünnes (etwa 5μ starkes), geriefeltes Aluminiumbändchen ganz locker und leicht beweglich (Abb. 1493) in einem starken Magnetfeld angeordnet. Beim Auftreffen von Schallwellen wird es in Bewegung versetzt und schneidet dabei magnetische Kraftlinien, so daß in dem Bändchen eine EMK entsteht. Dasselbe Prinzip wird von Sykes, Round und Marconi angewendet. Der Magnet ist hier als Topfmagnet ausgebildet. Zwischen den Polschuhen befindet sich eine kreisringförmige Flachspule aus dünnstem Aluminiumdraht, die an ganz dünnen Seidenfäden aufgehängt ist und als eigenschwingungsfreie Membran dient. Infolge der großen Windungszahl ist die induzierte EMK vielmal größer als beim Bändchenmikrophon.

¹⁾ Mönch, W.: Mikrophon und Telephon. Berlin 1925. — Weichart, F.: Aufnahme-mikrophone für den Rundfunk. Jahrb. drahtl. Electr. Bd. 28, S. 120. 1926.

c) Kapazitive Mikrophone. Als Mikrophon wird ein Kondensator verwendet, der aus einer festen (P) und einer beweglichen (M) Belegung (Membran, Folie) besteht. Diese befindet sich entweder zwischen der festen Belegung und der Schallquelle (Abb. 1494 a) oder zwischen zwei festen Belegungen, von denen die eine als Rost ausgebildet ist (Abb. 1494 b). Im

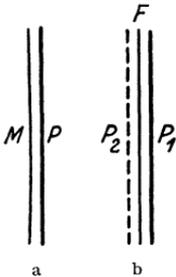


Abb. 1494. Kapazitive Mikrophone.

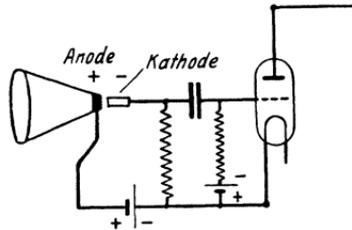


Abb. 1495. Kathodophon.

ersten Falle ist die bewegliche Belegung gewöhnlich eine aufs äußerste gespannte Membran (Eigenschwingung über 6000 Hertz), im zweiten Fall wird eine Folie (Riegger) benutzt. Die in dem Zwischenraum eingeschlossene Luft dient gleichzeitig zur Dämpfung. In Serie mit dem Mikrophon wird eine Gleichstromquelle und ein Widerstand geschaltet. Ändert sich die Kapazität des Mikrophones beim Auftreffen von Schallquellen, so ändert sich dementsprechend seine Ladung. Dieser veränderliche Ladestrom erzeugt am Widerstand eine Spannung, die dann dem Gitter der ersten Röhre eines Verstärkers zugeführt wird.

Eine andere Schaltmöglichkeit besteht darin, das Mikrophon irgendwie einem hochfrequenten Schwingungskreis einzuordnen, wo es eine Verstimmung hervorruft, sobald sich seine Kapazität beim Auftreffen von Schallwellen ändert.

d) Kathodophon. In freier Luft steht eine auf hohes positives Potential gebrachte Anode einer Elektronen aussendenden Glühkathode (Kalziumoxyd) gegenüber. Die Schallwellen ändern die Stärke des zwischen diesen Elektroden übergelhenden Ionenstromes, der im Mittel etwa $2 \cdot 10^{-4}$ A beträgt. Diesen Stromschwankungen entsprechen bildgetreue Spannungsschwankungen an einem Widerstande, der in dem Ionenstromkreis liegt, und diese werden dem Gitter der ersten Röhre eines Verstärkers zugeführt (Abb. 1495).

(2241) Mikrophonverstärker. Soweit es sich nur um die Übertragung von Sprache handelt, können gewöhnliche Fernsprechverstärker benutzt werden. Falls dagegen auch Musik ausgesendet werden soll, müssen besondere Mikrophonverstärker zur Anwendung gelangen, die bis zu $f = 10000$ Hertz verzerrungsfrei arbeiten. Gewöhnlich werden 4 Rohren in Kaskade (Abb. 1496) benutzt.

Bei diesen wird im allgemeinen die Widerstands-Kapazitäts-(W-C)-Kopplung zur Übertragung von Rohr zu Rohr verwendet (Abb. 1496). Um Verzerrungen zu vermeiden, muß auch für die tiefsten vorkommenden Frequenzen $1/\omega C_g$ klein sein gegen W_g ; außerdem muß durch entsprechende negative Gittervorspannung dafür gesorgt werden, daß der Arbeitspunkt auf dem geradlinigen Teil der Charakteristik und im Bereiche negativer Gitterspannung bleibt; ferner muß darauf geachtet werden, daß auch bei dem letzten Rohr der Kaskade die Amplituden der Gitterwechselspannung nicht zu groß werden. Schließlich muß das letzte Rohr der Kaskade eine genügend große unverzerrte Energie hergeben, die zur Modulation des Senders ausreicht. Die Amplituden der Gitterwechselspannung $E_{g\max}$ dürfen daher nicht größer sein als die negative Gittervorspannung $E_g =$ (also $E_{g\max} < E_g =$). Ein „Übersteuern“ erkennt man daran, daß der Zeiger des Anodenstrommessers keinen konstanten Wert mehr

anzeigt, sondern unruhig wird und bei lauten Stellen um den Ruhestromwert pendelt.

Der Vorgang beim Widerstandsverstärker ist folgender: Die an den Eingang des Verstärkers gelegte niederfrequente Wechselspannung $E_g \sim$ bewirkt ein Schwanken des Anodenstroms I_a des ersten Rohres im gleichen Rhythmus. Da dieser aber den Widerstand W_a (zwischen A' und A) durchfließt, so entsteht zwischen A' und A die Wechselspannung $E_a \sim = I_a \sim \cdot W_a$. Da aber zwischen A' und K keine Wechselspannung bestehen kann, so muß zwischen A und K dieselbe Wechselspannung $E_a \sim$, nur um 180° gegen die erstere phasenverschoben, auftreten. Diese wird nun über C_g auf das Gitter des zweiten Rohres übertragen. Die Kondensatoren C_g haben lediglich die Aufgabe, die Anodengleichspannung von dem Gitter der einzelnen Rohre fernzuhalten; ihre Zwi-

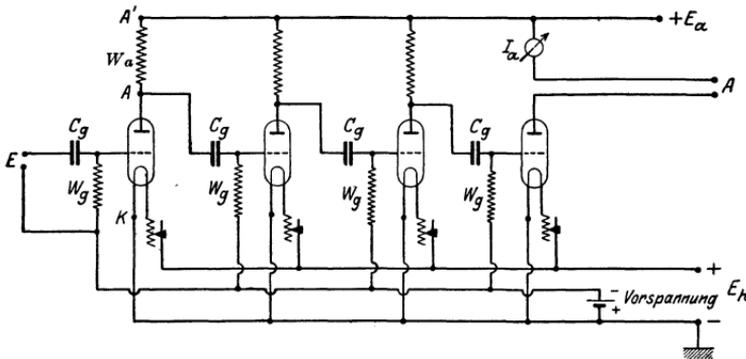


Abb. 1496. Mikrophon-Verstärker.

schenschaltung bedingt andererseits die Einschaltung eines „Gitterableitwiderstandes“ W_g , damit die auf das Gitter gelangenden Elektronen zur Kathode abfließen können.

Der Wert

$$\frac{E_a \sim}{E_g \sim} = \frac{I_a \sim \cdot W_a}{E_g \sim}$$

gibt die „Spannungsverstärkung“ an, die ein Rohr liefert. Gewöhnlich kann man mit einer 6- bis 10fachen Spannungsverstärkung je Rohr rechnen, so daß am Gitter des vierten Rohres im Durchschnitt der 500fache Wert der Eingangsspannung liegt. Beträgt bei einem 4-Röhrenverstärker die mittlere Spannung am Gitter des letzten Rohres etwa 5 V, so würde demnach eine Eingangsspannung von 10 mV erforderlich sein. Eine solche Spannung vermag sowohl das Reisz-Mikrophon als auch das Kathodophon und das Bändchenmikrophon zu liefern. Die kapazitiven Mikrophone mit hochgespannter Membran benötigen dagegen meist ein bis zwei Stufen mehr.

Die größten Schwierigkeiten einer einwandfreien Verstärkung liegen darin, daß die bei Musik vorkommenden Lautstärkeunterschiede außerordentlich groß sind (etwa 1:100 000). Wählt man die Verstärkungsmittel so, daß auch die größten Lautstärken verzerrungsfrei übertragen werden, dann wird die mittlere Stärke der Sendermodulation gering. Stellt man dagegen auf eine größere mittlere Modulationsstärke ein, dann gehen bei großen Amplituden die Spitzen über die geradlinigen Teile der Charakteristiken hinaus, so daß Verzerrungen bei großen Lautstärken auftreten. Einen Ausweg aus diesem Dilemma sucht man gewöhnlich darin, daß man künstlich den Verstärkungsgrad reguliert, indem man bei mittleren Lautstärken eine gewisse Dämpfung anwendet und diese bei kleineren Lautstärken verringert, bei größeren Lautstärken erhöht.

Diese Regulierung erfolgt gewöhnlich von Hand, vermag aber naturgemäß nur dann wirksam zu sein, wenn sie unter gleichzeitiger Beobachtung der Partitur vorgenommen wird, da sie sonst gewöhnlich zu spät kommt. Aus diesem Grunde hat E. Reisz eine automatisch wirkende Regulierung konstruiert, die folgendermaßen aufgebaut ist: Mit dem Verstärker wird ein als Röhrenvoltmeter geschaltetes Rohr verbunden, in dessen Anodenkreis ein kleines Drehspulenamperemeter liegt. Bei Amplituden von einer bestimmten Größe, die beliebig eingestellt werden kann, ergibt dieses Instrument einen Ausschlag. Mit der Drehspule ist nun ein Platindrähtchen verbunden, das in einen Elektrolyten eintaucht. Das Platindrähtchen ist mit dem einen, der Elektrolyt mit dem andern Ende eines Anodenwiderstandes verbunden. Im Anodenkreis dieses Rohres liegt also ein veränderlicher Widerstand, der um so geringer ist, je tiefer das Platindrähtchen eintaucht. Auf diese Weise läßt sich bei geeigneter Dimensionierung jede Übersteuerung verhindern.

(2242) Der Aufnahmeraum. Soll Musik übertragen werden, so wird diese zweckmäßig in einem besonderen Aufnahmeraum ausgeführt, der unmittelbar neben dem Raum liegt, in dem die Mikrophonverstärker untergebracht sind. Da der Aufnahmeraum meistens im Verhältnis zu der aufgewendeten Klangfülle nur klein ist, so muß das Nachhallen zum Teil unterdrückt werden. Zu diesem Zweck hat man früher derartige Räume dick gepolstert, ist aber darin zu weit gegangen, so daß die Musik ihre natürliche Frische verlor. Neuerdings begnügt man sich daher mit lockeren Behängen aus teilweise ganz dünnem Stoff. Orchester und Schauspieler können nach den technischen Erfordernissen günstig gruppiert werden. Bei der Übertragung aus Konzertsälen, Theatern, Opernhäusern usw. ist das nicht möglich. Trotzdem bieten derartige unmittelbare Übertragungen keine unüberwindlichen Schwierigkeiten mehr. Bei der Übertragung von Konzerten wird man in den meisten Fällen mit einem Mikrophon auskommen; bei Opernübertragungen hat es sich jedoch als zweckmäßig erwiesen, mindestens je ein Mikrophon für das Orchester und für die Bühne vorzusehen. Da die von einem für Musikübertragungen geeigneten Mikrophon gelieferte Energie durchweg sehr gering ist, hat es sich im allgemeinen als nötig erwiesen, unmittelbar hinter dem Mikrophon einen Mikrophonvorverstärker zu benutzen.

(2243) Der Sender. Die von dem Mikrophonverstärker gelieferte Energie muß nun auf den Sender übertragen werden. Wenn möglich, wird man unmittelbar vor dem Sender eine nochmalige Verstärkung zu vermeiden suchen. Das bedingt aber, daß man eine ziemlich erhebliche Energie über die Leitung geben muß, die vom Verstärker zum Sender führt. Handelt es sich hierbei um eine größere Entfernung, dann muß man am Eingang der Leitung etwa 0,1 bis 1 W unverzerrte niederfrequente Energie aufwenden, damit die am Sender zur Verfügung stehende Energie zur Modulation ausreicht. Aus diesem Grunde können nur besondere Leitungen (nicht etwa beliebige Leitungen des Fernsprechnetzes) verwendet werden, damit nicht andere parallel geführte Leitungen durch Übersprechen gestört werden. Aus Gründen der Verzerrungsfreiheit wären Freileitungen günstiger als Kabel; aus Gründen der Störungsfreiheit ist man jetzt jedoch geneigt, letzteren den Vorzug zu geben.

In vielen Fällen, besonders bei Sendern großer Leistung, wird es allerdings nicht möglich sein, einen besonderen Endverstärker unmittelbar am Sender zu umgehen. Hierbei müssen besondere Vorkehrungen getroffen werden, daß dieser Verstärker nicht von dem elektromagnetischen Feld des Senders beeinflusst wird. Als besonders geeignet hierfür haben sich Gegentaktverstärker erwiesen.

Als Sender lassen sich alle Hochfrequenzgeneratoren verwenden, die ungedämpfte Schwingungen liefern. Für sehr große Leistungen kommen daher Maschinensender in Frage; Lichtbogensender (Poulsensender) werden kaum noch verwendet.

Für Rundfunkzwecke beherrschen heute fast ausschließlich die Röhrensender das Feld. Solche werden heute in den verschiedensten Größen, von weniger als 1 Watt bis zu mehr als 100 kW Leistung, gebaut; für Leistungen von 10 kW an aufwärts werden jetzt meist wassergekühlte Senderöhren verwendet. Weil bei der bereits außerordentlich dichten Besetzung der brauchbaren Wellenbereiche eine sehr große Konstanz der ausgesandten Trägerwelle gewährleistet sein muß, und Oberwellen nicht mit ausgestrahlt werden dürfen, werden jetzt an den meisten Stellen fremderregte Röhrensender benutzt. Um die bei Telephonieschaltungen sehr störend wirkende Selbsterregung des Hauptsenders zu vermeiden, verwendet man dabei meistens geeignete Neutrodynschaltungen. Der für die Senderöhren benötigte Heizstrom wird in den meisten Fällen einer Sammlerbatterie entnommen, die Anodenspannung wird von geeigneten Gleichstrom-Hochspannungsmaschinen geliefert.

(2244) Modulationsmethoden¹⁾. Die vom Mikrophonverstärker gelieferte Energie dient dazu, die im Sender erzeugten ungedämpften Schwingungen (die Trägerwelle) zu modulieren.

Zu diesem Zwecke sind eine große Anzahl von Schaltmöglichkeiten angegeben worden, von denen nur die wichtigsten und gebräuchlichsten hier besprochen werden sollen.

a) Mikrophon im Antennenkreis. Die einfachste Methode des Modulierens ist die Einschaltung eines Kontaktmikrophons unmittelbar in den Antennenkreis. Beim Auftreffen von Schallwellen ändert sich der Widerstand des Mikrophons und damit die Antennenstromstärke. Es versteht sich von selbst, daß diese Schaltung nur bei Sendern kleinster Leistung möglich ist. Das Mikrophon kann auch induktiv mit dem Antennenkreis gekoppelt werden, wie Abb. 1497 zeigt.

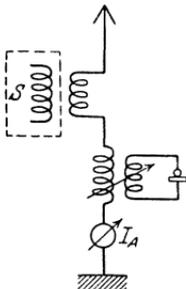


Abb. 1497. Das Mikrophon im Antennenkreis.

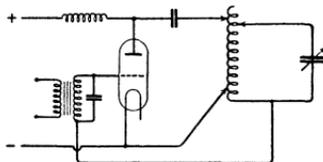


Abb. 1498. Gittermodulation.

b) Gittermodulation einfachster Art. Beim Röhrensender kann in einfachster Weise die niederfrequente Modulationsspannung in Reihe mit der Rückkopplungsspannung geschaltet werden, wie Abb. 1498 zeigt. Eine Modulation ist auf diese Weise aber nur möglich, wenn man nicht, wie üblich, zwecks Erzielung eines günstigen Wirkungsgrades die Rückkopplungsspannung so groß macht, daß sie weit über den geradlinigen Teil der Charakteristik nach oben und unten hinausläuft. Der Sender muß also mit einem sehr schlechten Wirkungsgrad arbeiten. Da außerdem immer nur die positiven Hälften der Sprachspannung wirksam werden, ist eine verzerrungsfreie Modulation auf diese Weise unmöglich. Aus diesem Grunde wird diese Schaltung kaum noch angewendet.

c) Gittergleichstrom-Modulation (Telefunken). Beim Röhrensender läßt sich eine sehr wirksame Modulation auf folgende Weise erreichen: Die leitende Verbindung zwischen Gitter und Kathode wird durch einen Konden-

¹⁾ Weichart, F.: Die Modulation hochfrequenter Schwingungen. Funk 1925, Hefte 35, 38, 40. — Schäffer, W.: Radiotelephonie vermittelt Röhrensender. Tijdschr. van het Nederlandsche Radiogenootschap. Amsterdam 1921.

sator C_g blockiert (Abb. 1499). Die negative Aufladung des Gitters kann daher nicht abfließen; die Schwingungserzeugung wird dadurch gehemmt oder ganz unterdrückt. Nun wird zwischen Gitter und Kathode der Senderöhre eine kleine Modulationsröhre in der Weise geschaltet, daß die negative Gitterladung über

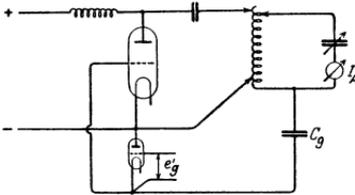


Abb. 1499. Gittergleichstrom-Modulation.

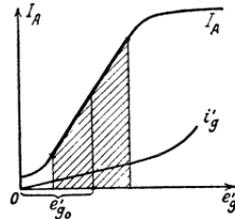
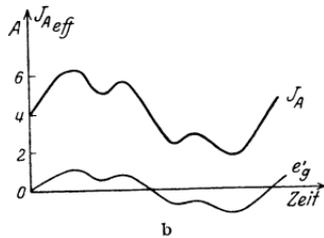
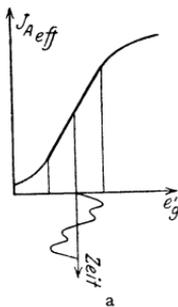


Abb. 1500. Modulations-Kennlinie.

diese Röhre hinweg abfließen kann. Indem man die Gitterspannung e'_g dieser Modulationsröhre auf verschiedene Werte bringt, hat man es in der Hand, dem Schwingungsstrom I_A jede beliebige Stärke zu geben. Trägt man I_A als Funktion von e'_g graphisch auf, dann erhält man die in Abb. 1500 dargestellte Modulations-Kennlinie.

Diese läßt sich durch geeignete Wahl der Kopplungen auf einem großen Stück nahezu vollkommen geradlinig machen. Man hat nun nur nötig, eine Vorspannung e'_{g0} so zu wählen, daß der Arbeitspunkt auf die Mitte des geradlinigen Stückes zu liegen kommt. Hält sich die Modulation in dem durch Schraffierung gekennzeichneten Gebiet, dann ist eine absolute Verzerrungsfreiheit gewährleistet, um so mehr, als der Gitterstrom des Modulationsrohres i'_g in dem schraffierten Gebiet ebenfalls geradlinig verläuft.



Um eine genaue Vorstellung davon zu geben, was die Abb. 1500 bedeutet, soll sie noch etwas eingehender erläutert werden. I_A ist ein Effektivwert, der den zeitlichen Verlauf des modulierten Schwingungsstromes nicht ohne weiteres erkennen läßt. In dem ersten Diagramm der Abb. 1501 ist nochmals I_A als Funktion von e'_g dargestellt; außerdem ist hier der zeitliche Verlauf der modulierenden Spannung auf der senkrecht nach unten verlaufenden Achse eingetragen. In dem zweiten Diagramm ist dann nochmals e'_g als Funktion der Zeit und ebenso der jeweils zugehörige Effektivwert von I_A eingetragen.

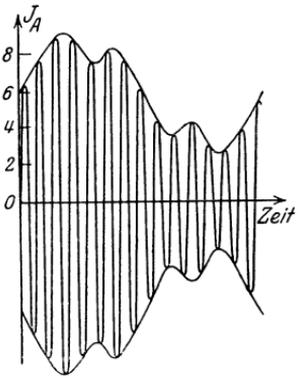


Abb. 1501 a—c. Der Vorgang der Modulation.

Einem Effektivwert I_e entspricht aber eine Schwingung vom Scheitelwert $\sqrt{2} \cdot I_A$. Das dritte Diagramm der Abb. 1501 zeigt in dieser Weise den zeitlichen Verlauf der Schwingung. Die obere und untere Begrenzungskurve der Schwin-

gung stimmt mit der Kurve der Effektivwerte und der Gitterspannung genau überein, solange die Modulation auf dem geradlinigen Teil der Effektivwertkurve bleibt, d. h. die formgetreue Abbildung ist gewährleistet.

Bei der Modulation bleibt die Angabe des Strommessers im Schwingungskreis nahezu konstant; der Mittelwert, um den herum die Modulation pendelt, ist in praktischen Fällen ungefähr $\frac{6}{10}$ des Maximalwertes.

Läuft die Modulation einerseits hinauf bis auf den Maximalwert, andererseits hinab bis zu Null, so nennen wir den Sender „ausgesteuert“. Bewegt sie sich jedoch nur auf dem geradlinigen Teil der Charakteristik, nutzt diese aber in voller Länge aus, so nennen wir den Sender „unverzerrt ausgesteuert“.

Die zur Modulation erforderliche Energie ist bei dieser Schaltung außerordentlich gering; sie beträgt bei einer Senderöhre von 1,5 kW etwa 10 mW für unverzerrte Aussteuerung; hierzu genügt eine Modulationsröhre von 10 W.

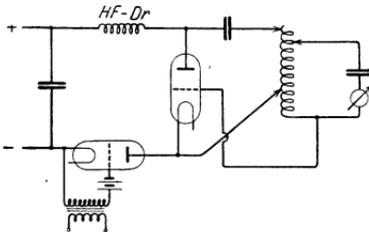


Abb. 1502. Modulation durch Vorröhre.

Die zur Modulation erforderliche Energie ist bei dieser Schaltung außerordentlich gering; sie beträgt bei einer Senderöhre von 1,5 kW etwa 10 mW für unverzerrte Aussteuerung; hierzu genügt eine Modulationsröhre von 10 W.

d) Modulation durch Vorröhre.

Beim Röhrensender besteht eine weitere Steuerungsmöglichkeit darin, daß man in den Anodenstromkreis der Senderöhre eine andere Röhre (Vorröhre) einschaltet, so daß beide Röhren in Serie liegen (Abb. 1502). Die Gitterspannung der Vorröhre muß so gewählt werden, daß die Röhre einen Anodenstrom von gerade der Stärke durchläßt, wie ihn die Senderöhre als Arbeitsstrom benötigt. Ändert man nun die Gitterspannung der Vorröhre, so kann man die Stärke des Anodenstroms und damit auch die Stärke des Schwingungsstroms zwischen Null und dem Maximalwert ändern.

Als Nachteile dieser Steuerung ist zu erwähnen: An der Vorröhre findet ein erheblicher Spannungsabfall statt. Die Anodenstrommaschine muß daher eine viel höhere Anodenspannung liefern als die Senderöhre benötigt. Zweitens führt entweder die Heizbatterie der Senderöhre oder die der Vorröhre Hochspannung gegen Erde, je nachdem, ob man die Kathode der Vorröhre oder die der Senderöhre erdet. Drittens tritt bei der Vorröhre ein starker Gitterstrom auf (wenn man nicht über eine Spezialröhre verfügt, deren Charakteristik ganz im Negativen liegt), so daß die zur Modulation erforderliche Energie sehr beträchtlich ist.

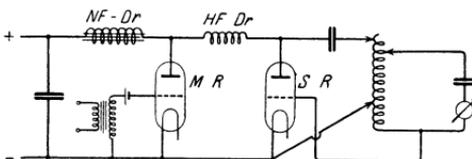


Abb. 1503. Modulation durch Parallelröhre.

e) Modulation durch Parallelröhre¹⁾ (Abb. 1503).

Bei Röhrensendern ist eine vierte Schaltmöglichkeit gegeben durch Anwendung einer Parallelröhre mit Niederfrequenzdrossel im Anodenkreis. Diese soll den Anodenstrom und damit die den beiden Röhren zugeführte Energie konstant halten. Wird daher die Gitterspannung des Modulationsrohres positiver als der Normalwert, so nimmt es mehr Energie weg; dem Senderohr wird also weniger Energie zugeführt, und dementsprechend verringert sich die Stärke des Schwingungsstroms. Geht die Gitterspannung des Modulationsrohres dagegen unter den Normalwert herunter, so entnimmt dieses weniger Energie, und dementsprechend vergrößert sich die Stärke des Schwingungsstromes.

Die Aufnahme einer „statischen Modulations-Kennlinie“ ist hier nicht möglich, da die Drossel (NF-Dr.) nur bei Wechselstrom zur Wirkung kommt.

¹⁾ Kühn, L.: Über eine neue Methode der drahtlosen Telephonie. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 18, Heft 6. — Ders.: Über drahtlose Telephonie. Z. techn. Phys. 1922, Nr. 4.

Der Schwingungsstrommesser zeigt dauernd einen fast konstanten Wert an, gleichgültig, ob moduliert wird oder nicht.

Wenn als Modulationsröhre nicht eine Spezialtype zur Verfügung steht, deren Charakteristik ganz im Negativen liegt, tritt an jener ein ziemlich starker Gitterstrom auf, so daß eine verhältnismäßig große Modulationsenergie notwendig ist. Außerdem ist dann eine verzerrungsfreie Modulation nicht möglich.

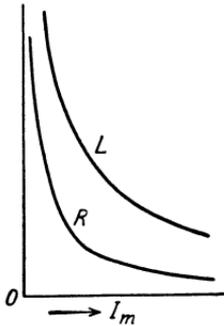


Abb. 1504. Kennlinie einer Telephonie-Drossel.

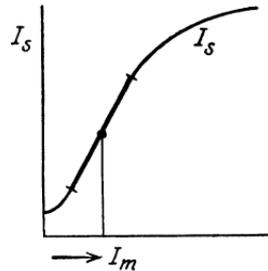


Abb. 1505. Modulations-Kennlinie einer Telephonie-Drossel.

Diese Schaltung ist im Auslande am weitesten verbreitet; sie ist dort als Heising- oder Latour-Schaltung bekannt; in Deutschland wird sie von der Firma Huth angewendet.

f) Steuerung durch Telephoniedrossel¹⁾ (C. Lorenz A.-G.). Eine für Sender aller Art brauchbare Steuerungsmethode besteht darin, daß man in den Schwingungskreis eine Eisendrossel einschaltet, deren Eisen (für Hochfrequenz besonders geeignetes ganz dünnes Blech oder Drahtbündel) durch Gleichstrom vormagnetisiert wird. Mit der Stärke dieses Magnetisierungsstromes ändert sich der Wirkwiderstand (allerdings auch die Induktivität) der Drossel, wie in Abb. 1504 dargestellt. Trägt man die Stärke des Schwingungsstromes I_s als Funktion des Magnetisierungsstromes I_m auf, so erhält man eine Kurve wie in Abb. 1505 dargestellt. Auch diese Modulations-Kennlinie enthält ein geradliniges Stück; durch geeignete Wahl des Vormagnetisierungs-gleichstroms kann man den Arbeitspunkt auf die Mitte dieses geradlinigen Stückes legen.

Die Verbindung mit dem Mikrophonverstärker gestaltet sich hier besonders einfach; sie ist in Abb. 1506 angedeutet. Man braucht nur die Größe der Ausgangsröhre des Verstärkers und ihre Vorspannung so zu wählen, daß der mittlere Anodenstrom dieses Rohres gleich dem notwendigen Vormagnetisierungsstrom ist. Die Schwankungen des Anodenstroms bewirken dann unmittelbar die Steuerung des Senders. Bei räumlicher Trennung von Verstärker und Sender muß an letzterem noch ein besonderes Verstärkerrohr benutzt werden.

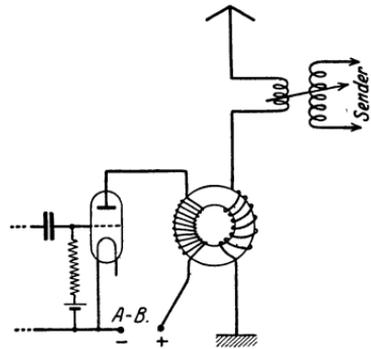


Abb. 1506. Modulation durch Telephonie-Drossel.

¹⁾ Pungs, L.: Die Steuerung von Hochfrequenzströmen durch Eisendrosseln. ETZ 1923, Heft 4.

Durch eine geeignete Anordnung der Wicklungen muß die Induktion einer hochfrequenten Spannung in der Magnetisierungswicklung verhindert werden.

(2245) Der Empfang drahtloser Telephonie. Grundsätzlich unterscheiden sich die Empfänger für drahtlose Telephonie nicht von den Empfängern für Telegraphie mit gedämpften Sendern. Ein Unterschied besteht nur insofern, als eine zu hoch getriebene Selektivität für Telephonieempfang ungünstig ist, weil ja hier nicht nur die Trägerwelle, sondern das ganze von dem Sender ausgestrahlte Wellenband aufgenommen werden muß. Die höheren Frequenzen der Modulation werden also um so mehr benachteiligt, je größer die Abstimmsschärfe des Empfängers ist.

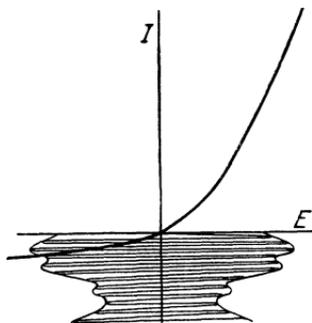


Abb. 1507. Charakteristik eines Kristalldetektors.

a) Mit Kristalldetektor. Beim Rundfunk benutzt die Mehrzahl der Teilnehmer ganz einfache Empfänger mit Kristalldetektor. Die Charakteristik eines solchen ist in einem größeren Bereich nahezu geradlinig, wie Abb. 1507 zeigt. Außerdem erkennt man aus diesem Bilde, daß die Proportionalität offenbar um so besser gewahrt bleiben wird, je geringer die Modulation ist. Geht die Modulation dagegen von dem Ruhestromwert des Schwingungsstroms bis auf Null herunter, dann ist eine Verzerrung unvermeidlich. Aus diesem Grunde muß eine möglichst geringe Modulation bei den Sendern angestrebt werden, soweit die dadurch bedingte Verringerung der Reichweite das zuläßt.

b) Mit Röhrenempfänger. An Stelle des Detektors kann auch eine Audionröhre gewählt werden. Die Rückkopplung darf dabei nur soweit benutzt werden, als sie zur Verringerung der Dämpfung, nicht zur Schwingungserzeugung dient.

Verstärkung. Zur Vergrößerung der Lautstärke kann sowohl hinter einem Kristalldetektor als auch hinter einer Audionröhre eine ein- oder zweistufige Niederfrequenzverstärkung angewendet werden. Soll ein Lautsprecher betrieben werden, so muß als Endröhre eine solche gewählt werden, die die vom Lautsprecher benötigte Energie unverzerrt herzugeben vermag; die Charakteristik muß zu diesem Zwecke etwa so verlaufen, daß bei einer Gitterspannung $E_g = 0$ Volt der Anodenstrom I_a mindestens 10 mA beträgt. Für sogenannte Saallautsprecher, die große Räume mit Schall erfüllen sollen, sind noch wesentlich größere Endverstärkerrohre nötig.

Um Fernempfang zu ermöglichen, benutzt man vor dem Audion eine oder zwei Röhren zur Hochfrequenzverstärkung. Eine solche bietet aber für Wellenlängen unter 1000 m schon sehr erhebliche Schwierigkeiten; im allgemeinen bleibt nur übrig, abgestimmte Anodenkreise zu verwenden. Die Bedienung eines solchen Verstärkers ist aber sehr umständlich; außerdem ist seine Schwingneigung im allgemeinen so groß, daß besondere Kunstschaltungen (Neutrodyn-Schaltungen) angewendet werden müssen, um die Selbsterregung zu unterdrücken. Mehr als zwei Hochfrequenzverstärkerstufen zu verwenden, ist auf diese Weise gewöhnlich nicht möglich. Bei Vielhöhren-Empfängern (6 bis 10 Röhren) verwendet man daher gewöhnlich den Kunstgriff, durch Überlagerung im Empfänger zunächst eine (verhältnismäßig langsame) Zwischenfrequenz zu erzeugen, deren hochfrequente Verstärkung keine Schwierigkeiten bereitet. Solche Zwischenfrequenz-, Transponierungs-Empfänger oder „Superhets“ sind verhältnismäßig einfach zu bedienen, da die überlagernde Schwingung stets so eingestellt wird, daß sich immer die gleiche Zwischenfrequenz (z. B. $f = 50000$ Hertz) ergibt. Der Hochfrequenzverstärker bleibt dabei stets für diese Frequenz günstig eingestellt.

Die Zahl der überhaupt möglichen Empfangsschaltungen ist ungeheuer groß; besonders erwähnt seien hier noch die Reflexschaltungen, die sogenannte Über-

rückkopplung, die Reinartzschaltung, das Negadyn sowie der Ultradyn- und der Tropadyn-Empfänger.

c) Die Antennenanlage. Bei der drahtlosen Telephonie werden an die Antennenanlage dieselben Anforderungen gestellt wie sonst in der Funktechnik. Mit der Einführung des Rundfunks nahm aber die Zahl der Behelfsantennen ungeheuer zu. Sehr häufig werden Zimmerantennen benutzt, die am Sendort im allgemeinen ausreichen und mit den modernen Hilfsmitteln selbst Fernempfang ermöglichen.

(2246) Die Wiedergabeapparate. Zur Rückverwandlung der elektrischen in Schallschwingungen wird in den meisten Fällen ein gewöhnliches Hörtelefon verwendet. Um Musik einwandfrei wiederzugeben, soll das Telefon nach Möglichkeit keine Eigenschwingungen im Bereich der hörbaren Frequenzen besitzen. Dieses Problem ist aber bisher noch nicht gelöst. Am günstigsten wäre in dieser Hinsicht das Thermotelephon, das aber ungleich unempfindlicher ist als das magnetische Telefon. Neuerdings hat E. Reisz ein Telefon herausgebracht, das keine Eigenschwingung besitzen soll und in der Tat Sprache und Musik ausgezeichnet wiedergibt. Es gehört zu der Klasse der kapazitiven Telephone, ist daher nur hinter einer Röhre zu gebrauchen. Auf demselben Prinzip beruht der trichterlose Lautsprecher von E. Reisz.

Um große Schallenergien zu erhalten, die geeignet sind, kleinere oder größere Räume mit Schall zu erfüllen, bedient man sich der Lautsprecher. Die meisten der bisher im Handel befindlichen Apparate sind Membranlautsprecher. Die Bewegung der Membran (die aus Metall, Glimmer, präpariertem Stoff usw. hergestellt wird) geschieht heute bei den meisten Konstruktionen nicht unmittelbar, sondern durch eine Hebelübersetzung.

Der Bändchenlautsprecher ist die Umkehrung des Bändchenmikrophons (2240, b). Die Umkehrung des kapazitiven Mikrophons (2240, c) ist das kapazitive Telefon bzw. der kapazitive Lautsprecher. Für besonders große Schallenergien hat die Firma Siemens & Halske einen auf magnetischer Wirkung beruhenden Flächen-Großlautsprecher herausgebracht.

(2247) Funktelephonie mit Schiffen. Beim Runkfunkdienst handelt es sich stets nur um einseitiges Senden. Anders dagegen, wenn z. B. von einem fahrenden Schiff mit einer beliebigen Stelle auf dem Festlande gesprochen werden soll. Hierbei muß der eine Teilnehmer in der Lage sein, den andern während des Gesprächs zu unterbrechen und Zwischenfragen zu stellen, wenn sich der Sprechverkehr nicht sehr schleppend abwickeln soll. Ursprünglich konnte man nur abwechselnd immer entweder sprechen oder hören (Wechselsprechen); durch besondere Kunstgriffe ist es aber möglich geworden, auch gleichzeitig zu hören und zu sprechen (Gegensprechen). Obwohl es bereits praktisch durchgeführt worden ist, mit einer und derselben Antenne gleichzeitig zu senden und zu empfangen, zieht man doch gewöhnlich getrennte Antennen für den Sender und den Empfänger vor. Da der Sender unmoduliert weiterlaufen muß, solange nicht gesprochen wird, pflegt man im allgemeinen nicht auf der Mitte der Modulationscharakteristik zu arbeiten, sondern vom unteren Knick aus nur nach oben. Auf diese Weise kann man den Trägerstrom beliebig klein machen; man muß nur darauf achten, daß ein „Reißen“ des Senders vermieden wird. Die unmittelbare Beeinflussung des Empfängers durch den daneben liegenden eigenen Sender muß durch Anwendung von Sperr- bzw. Kurzschlußkreisen oder Differentialschaltungen auf ein unschädliches Maß verringert werden.

Funktelegraphische Bildübertragung.

(2248) Übertragung nach Karolus-Telefunken-Siemens. (1531, 2122). Sender (Abb. 1508). Ein Lichtkegel durchläuft eine Öffnung in der Photozelle *PZ* und fällt als Lichtpunkt auf das zu übertragende Bild, welches mit der Sendetrommel *ST* rotiert und schraubenförmig vorgeschoben wird, so daß allmählich alle Punkte

des Bildes abgetastet werden. Das Licht wird diffus zurückgeworfen und die wirk-same Schicht der Photozelle wird, je nachdem ob der Lichtstrahl eine helle oder dunkle Stelle trifft, mehr oder weniger erleuchtet. Die Photozelle selbst wurde zuerst angegeben von Elster und Geitel. Die Telefunken-Photozelle ist ring-förmig ausgebildet, in der Mitte bleibt eine Öffnung, welche den erregenden Licht-strahl (siehe Abbildung) durchläßt. Als Saugelektrode wird ein doppelter Draht-ring mit dazwischen ausgespanntem feinen Metallfaden verwendet. Die je nach der Beleuchtung mehr oder weniger Elektronen aussendende Kathode besteht aus hydriertem, metallischem Kalium mit Zusätzen von Rubidium und Cäsium. Die maximale Stromstärke beträgt etwa 1 mA. Der Strom der Photozelle wird verstärkt und kann entweder durch eine Leitung oder eine Funkanlage über-tragen werden.

Empfänger. Am Empfänger werden die Bildzeichen zunächst verstärkt und dann den Platten eines kleinen, mit Nitrobenzol gefüllten Kondensators zu-geführt, welcher die Kerrzelle bildet (1875 von Kerr angegeben). Die Kerrzelle

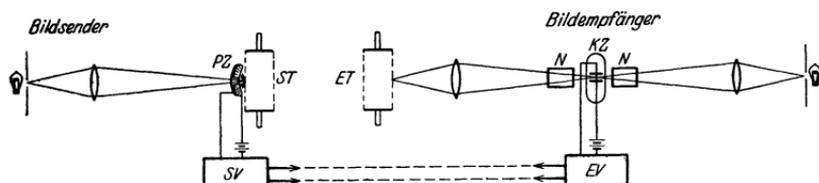


Abb. 1508. Bildtelegraphie nach Karolus-Telefunken-Siemens.

befindet sich zwischen zwei gekreuzten Nikols. Im spannungslosen Zustand läßt die Anordnung kein Licht durch. In einem gewissen Spannungsbereich ändert sich die Lichtdurchlässigkeit der Anordnung proportional der Spannung, und zwar praktisch trägheitslos. Betrieben wird die Zelle mit einer Vorspannung von 300 bis 400 Volt, welcher die Bildzeichen mit einer Spannung von 100 bis 200 Volt überlagert sind. Der in seiner Helligkeit schwankende Lichtstrahl wird dann auf dem mit der Empfangstrommel *ET* synchron zur Sendetrommel rotierenden photographischen Film konzentriert und dieser belichtet.

Zur Synchronisierung wird ein von einem Gleichstrommotor annähernd mit richtiger Geschwindigkeit angetriebenes Eisenzahnrad durch einen Elektromagnet von dem Synchronisierwechselstrom (etwa 1500 Hertz) gebremst oder beschleunigt [siehe auch phonisches Rad (1451, 5)].

Es ist gelungen, Stimmgabeln genau so abzustimmen und vor Schwankungen zu bewahren, daß die Synchronisierfrequenz nicht mehr zu übertragen werden braucht, sondern örtlich unabhängig voneinander erzeugt wird.

Im Fernverkehr sind Bilder von 1 dm² Fläche und 0,2 mm Elementbreite in 1 Minute übertragen worden, im Laboratorium in 5 sec.

Literatur: Schröter: ENT 1926, S. 41. — Zeitschr. f. techn. Phys. 1926. S. 417. — ETZ 1926, S. 719. — Ihlberg: Telefunkenztg. 1927, Nr. 45/46, S. 43.

Zugtelephonie.

(2249) Die Zugtelephonie, wie sie von der Firma Dr. Erich F. Huth, G. m. b. H., Berlin entwickelt wurde und von der Zugtelephonie A.G., Berlin betrieben wird, ist eine Vereinigung der drahtlosen Raumtelephonie und der Drahtwellentelephonie.

Die längs der Eisenbahnstrecke verlaufende Leitung (Abb. 1509) ist mit einer Zugvermittlungsstelle und über diese mit dem Fernamt verbunden unter Zwischenschaltung eines Transformators mit 3 Wicklungen, von denen die eine zu

einem Sender, die andere zu einem Empfänger führt. Der Empfänger ist durch einen Sperrkreis gegen das Eindringen der nicht für ihn bestimmten Wellen geschützt. Von den Leitungen wird das Gespräch durch die Antenne des Wagens abgenommen. Das übrige ist aus der Abb. 1509 ohne weiteres verständlich.

Abb. 1510 zeigt die Einrichtung im Zuge. An dem einen Ende eines D-Wagens 2. Klasse ist das Zugfernsprechamt eingebaut, das einen Geräteraum für die drahtlose Gegensprechapparatur und eine Sprechzelle für den Reisenden enthält.

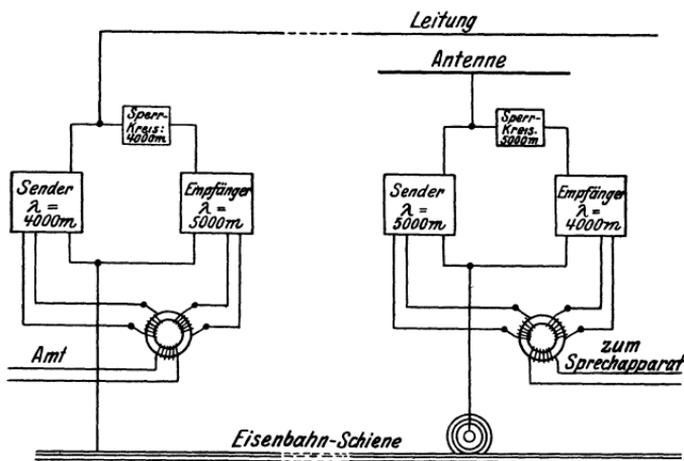


Abb. 1509. Schema der Zugtelephonie.

Auf dem Dache des Stationswagens ist in etwa 40 cm Höhe die aus vier parallelen Drähten bestehende Sendeantenne ausgespannt, während sich auf dem Dache des nächsten Wagens die gleiche Antenne für den Empfang befindet, deren Zuführung auch durch das Dach des Stationswagens geht (Abb. 1512 und 1513). Die beiden Antennen führen einerseits über den Sender, andererseits über den Sperrkreis und Empfänger zur gemeinsamen Erdung, die durch die unter dem Stationsraum befindlichen Räderachsen hergestellt wird.

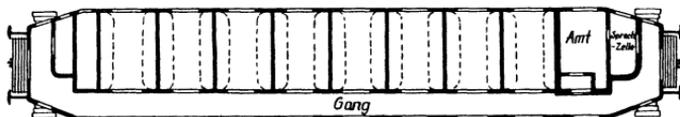


Abb. 1510. D-Wagen mit Zugtelephonie.

Am Anfang und am Ende der Bahnstrecke, wo die Kabelleitungen aus der Stadt in die Freileitungen übergehen, und auch an der Strecke selbst liegen die Zugvermittlungsstellen. So sind an der Bahnlinie Berlin-Hamburg Zugvermittlungsstellen auf dem Hauptbahnhof Spandau und in der Nähe der Bahnhöfe Wittenberge und Bergedorf bei Hamburg untergebracht. Hier sind Drahtwellenstationen für Gegensprechen und mit Teilnehmeranschluß aufgestellt, so daß jeder Fernsprechteilnehmer über sein Orts- und Fernamt mit der Zugvermittlungsstelle und direkt mit dem fahrenden Zuge verbunden werden kann. Jede Drahtwellenstation ist durch Kondensator mit einer neben der Bahnstrecke laufenden Telegraphenleitung gekoppelt. Auf diese Weise wird die Hochfrequenz längs des Telegraphendrahtes entlang geschickt, der gleichzeitig als Antenne

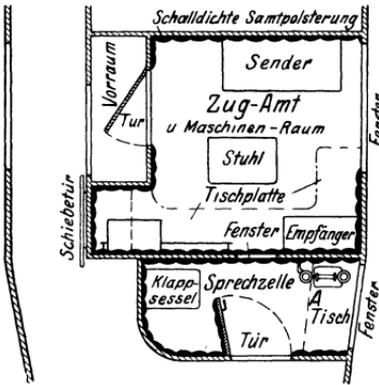
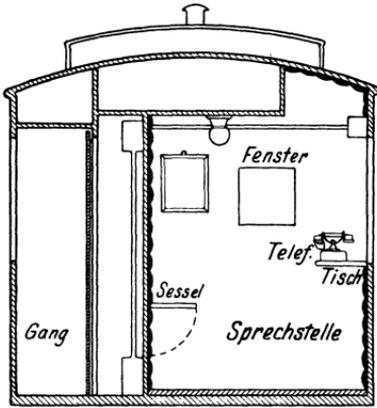


Abb. 1511. Zugamt im D-Wagen.

wirkt, um den Raum bis zur Antenne des fahrenden Zuges drahtlos zu überbrücken.

Ein einwandfreier ununterbrochener Telephonieverkehr ist jedoch erst dann möglich, wenn die Hochfrequenzträgerleitung längs der Strecke für diesen Zweck hergerichtet ist. Die Freileitung wird öfter durch Kabelstellen unterbrochen, der seitliche Abstand der Leitung von dem Schienenwege ist verschieden, und schließlich verläuft die Kopplungsleitung nicht als einziger Draht, sondern in einem Bündel von Drähten. All diese Punkte müssen genau beachtet und entsprechende Schutzeinrichtungen getroffen werden. Abb. 1514 zeigt schematisch dargestellt die einzelnen Fälle der Leitungsverbesserung. Die Kabelstellen müssen durch geeignete Drosseln für die Hochfrequenz abgesperrt werden, damit keine kapazitive Ableitung zur Erde stattfinden kann. Zur Überbrückung der Kabelstellen wird eine Hilfsleitung gezogen und an beiden Enden über Kondensatoren angeschlossen. Dies geschieht auch dann, wenn die Leitung über eine gewisse seitliche Entfernung vom Bahnkörper abweicht, wenn also die von der Leitung ausgestrahlte Hochfrequenzenergie zum Empfang auf dem Zuge nicht mehr ausreicht. Dadurch, daß viele Leitungen an demselben Gestänge liegen, nehmen auch sie durch Kapazität und In-

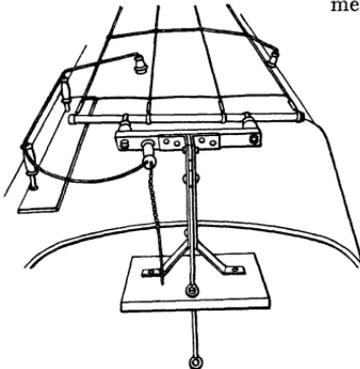


Abb. 1512. Antenne.

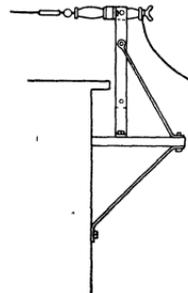


Abb. 1513. Abspannung.

duktivität einen Teil der Energie auf. Es ist daher zweckmäßig, auch diese Nebenleitungen vor den Kabelstellen abzudrosseln, ebenso die abzweigenden Leitungen.

Dieses modernste Nachrichtenmittel, die Zugtelefonie, ist bereits auf der Strecke Berlin-Hamburg der Allgemeinheit zur Benutzung übergeben. Es ist damit die Möglichkeit gegeben, vom fahrenden Zuge aus mit jedem Ort des Festlandes sowie auch mit jedem anderen fahrenden D-Zuge sprechen zu können.

Literaturnachweis: Rosenbaum, Bruno: Eisenbahnzug-Telephonie. — Pahl, Franz: Die Eisenbahntelephonie. Die Antenne, 1925.

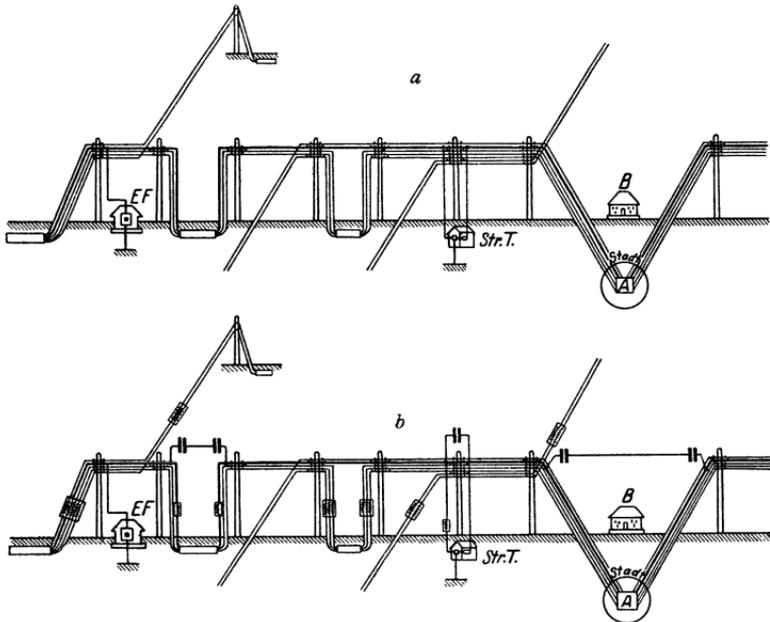


Abb. 1514. Einrichtung der Leitung für die Zugtelefonie.

Luftstörungen.

(2250) Arten der Störungen. Unter atmosphärischen oder Luftstörungen, auch Irrgänger genannt, versteht man die zahlreichen Geräusche, die im Fernhörer neben dem erzeugten Ton der Sprache oder der Musik auftreten, den drahtlosen Verkehr oft stark beeinträchtigen und deren Beseitigung aus den Empfangsanordnungen der Technik bis heute noch nicht gelungen ist. Nach der Art der Geräusche im Fernhörer hat man eine Einteilung der Störungen vorgenommen und dabei versucht, aus diesen Geräuschen Schlüsse auf ihre Herkunft zu ziehen. Man unterscheidet gewöhnlich starke Krachgeräusche, scharfes Knacken, Zischen und Rasseln, Brodeln. Das Brodeln ist dabei als die Summenwirkung sehr vieler am Empfangsorte fast gleich stark ankommender Störungsimpulse aufzufassen, über die die anderen Störungen durch ihre größere Stärke hinausgehen. Die Feststellung der einzelnen Arten unterliegt dem subjektiven Empfinden des Beobachters und es ist daher erklärlich, daß auch feinere Unterteilungen vorgenommen worden sind, wobei jedem Geräusch eine andere Entstehungsursache zugeschrieben wird.

(2251) Stärke und Charakter der Störungen. Die Störungen sind am stärksten in den Sommermonaten und besonders heftig in den Tropen; ihre Stärke wechselt von Jahr zu Jahr. Die täglichen Schwankungen ergeben im Sommer und Winter Höchstwerte der Störungshäufigkeit zur Zeit des Sonnenunterganges; mit weiter herabsinkender Sonne nimmt die Zahl der Störungen ab, erreicht ein Minimum

in den Morgenstunden und nimmt mit aufsteigender Sonne wieder zu. An der Küste und auf See ist die Störungshäufigkeit geringer als auf dem Festland. Zahl und Stärke der Störungen sind bei den kurzen Wellen gering, sie wachsen aber mit steigender Wellenlänge, auf die die Empfangsapparatur abgestimmt ist, rasch an.

Ihrem Charakter nach hat man die Luftstörungen als plötzliche Zustandsänderungen des elektrischen Feldes der Atmosphäre oder des magnetischen Feldes der Erde aufzufassen, Änderungen, die sich im Fernhörer durch die oben genannten Geräusche kenntlich machen. Solche Zustandsänderungen sind die Blitzentladungen, die im Fernhörer, soweit sie von nahen Gewittern herrühren, starke Krachgeräusche hervorrufen. Sie sind übrigens eine der wenigen Störungsursachen, die man bisher mit Sicherheit festgestellt hat. Als Ursache der scharfen Knackgeräusche werden die Blitzentladungen entfernter Gewitter, besonders der Tropengewitter, angenommen; ein experimenteller Nachweis über die Reichweite der Störwirkung einer Blitzentladung ist bisher jedoch noch nicht erbracht worden.

(2252) Zusammenhang mit dem Wetter. Langzeitige Beobachtungen der luftelektrischen und meteorologischen Vorgänge in naher Umgebung von Antennen haben keinen Parallelismus des Ganges eines dieser Elemente mit der Störungshäufigkeit ergeben, dagegen scheint ein Zusammenhang der Störungshäufigkeit mit der allgemeinen Wetterlage für größere Gebiete zu bestehen, nämlich wenn polare kalte Luftströmungen mit warmen Luftströmungen zusammentreffen, die eine Temperaturumkehrung, Windsprünge und luftelektrische Ausgleichsvorgänge zur Folge haben. Die Rasselgeräusche werden mit diesen Vorgängen in Verbindung gebracht. Es wird angenommen, daß diese Art der Störungen aus stark gedämpften Wellenzügen oder einzelnen aperiodischen Störimpulsen besteht. Der Wellencharakter eines Teils dieser Störungen geht daraus hervor, daß sie nicht auf mehreren Wellen gleichzeitig hörbar sind. Die Tatsache, daß jedoch auch Störungen gleichzeitig auf mehreren Wellenlängen feststellbar sind, führt zu der Annahme, daß die Störimpulse sehr zahlreich sind, in verschiedenen Frequenzen auftreten, so ein Störungsspektrum bilden und in den Empfangsanordnungen auf verschiedenen Wellenlängen erscheinen.

(2253) Richtung der Störungen. Aus Versuchen zur Bestimmung der Richtung, aus der die Störungen herkommen, hat man Störungszentren in Gebirgsgegenden zu erkennen geglaubt, z. B. in Amerika im Felsengebirge, in der Gegend von San Francisco und San Diego, im südlichen Mexiko und in dem Alleghenygebirge, in Europa in den Alpen und Pyrenäen. Auch liegen Beobachtungen vor, die einen Gang der Störungshäufigkeit, der Störungsstärke und eine Richtungsverschiebung mit dem Laufe der Sonne erkennen lassen.

(2254) Fernwirkung der Störungen. Die Beobachtung der Fernwirkung der Luftstörungen durch eine objektive Methode hat zu der Feststellung geführt, daß gleiche Störungen auf sehr großen Entfernungen (zwischen Deutschland und Hawaii 14600 km) nachweisbar waren. Die große Fernwirkung dieser Störungen berechtigt zu dem Schlusse, daß sie aus besonders starken Störungsquellen und aus großen Entfernungen kommen. Ob der Ursprung in der Atmosphäre, im Kosmos oder im Erdinnern zu suchen ist, bedarf noch der Aufklärung.

(2255) Störungen mit bekannter Ursache. Unter Luftstörungen werden auch die Geräusche verstanden, die entstehen, wenn elektrische geladene Regentropfen, Hagelkörner oder Schneeflocken auf die Antennen auftreffen und ihre Ladungen an sie abgeben.

Neben den Luftstörungsgeräuschen treten in den Empfangsanordnungen noch zahlreiche Geräusche anderer Herkunft auf. Sie werden durch elektrische Anlagen verursacht, z. B. elektrische Bahnen, Umformerstationen, elektrische Aufzüge, Überlandzentralen. Der experimentelle Nachweis konnte bei vergleichenden Beobachtungen der atmosphärischen Störungen zwischen Berlin und Strelitz gelegentlich des Streiks der Eisenbahnbeamten und der städtischen Ar-

beiter Berlins während der Stilllegung der elektrischen Zentralen in Berlin im Februar 1922 erbracht werden.

Literatur: Eccles, W. H.: Über die täglichen Veränderungen der in der Natur auftretenden Wellen und über die Fortpflanzung elektromagnetischer Wellen um die Krümmung der Erde. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 8, Heft 3. 1914. — De Groot: Über das Wesen und die Ausschaltung von Störungen. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 12, Heft 6. 1918. — Esau, A.: Über den Einfluß der Atmosphäre auf die Dämpfung funktentelegraphischer Sender und Empfänger. Physik. Zeitschr. Bd. 12, S. 798. 1911. — Mosler, H.: Atmosphärische Störungen in der drahtlosen Telegraphie. ETZ 1912. Nr. 44. — Ludewig, P.: Der Einfluß geophysikalischer und meteorologischer Faktoren auf die drahtlose Telegraphie. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 12, Heft 2. 1917. — Malgou, C. und Brun, J.: Die Luftstörungen, ihr Ursprung und ihre Ausschaltung. Radio-Électricité, 1922, Heft 7.9. — Stoye, K.: Luftpotelektrische Empfangsstörungen. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 20, Heft 4. 1922. — Wolf, F.: Atmosphärische Störungen nach Beobachtungen auf dem Königsstuhl bei Heidelberg. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 19, Heft 4. 1922. — Erksin-Murray: Ursprung der atmosphärischen Störungen in der Radiotelegraphie. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 5, Heft 1. 1911. — Dieckmann, M.: Gewitter und atmosphärische Störungen. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 24, Heft 3. 1924. — Peperkorn: Die Erdantenne und ihre Anwendung bei den Funkstellen in Deutschostafrika während des Weltkrieges. (Beobachtungen über Tropenstörungen.) Telegr.- u. Fernsprechtechnik Bd. 10, Heft 4 u. 5. 1921. — Austin, L. W.: Die Verringerung der atmosphärischen Störungen beim drahtlosen Empfang. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 17, Heft 6. 1921. — Derselbe: Das Verhältnis zwischen den atmosphärischen Störungen und der Wellenlänge beim drahtlosen Empfang. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 17, Heft 6. 1921. — Wiedenhoff, S.: Über die Beziehungen zwischen der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen und den Vorgängen in der Atmosphäre. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 18, Heft 4. 1921. — Herath, F.: Meteorologie und Wellentelegraphie. Zeitschr. f. techn. Phys. Bd. 2, Heft 3. 1923. — Bureau, R.: Zusammenhänge zwischen Luftstörungen und meteorologischen Erscheinungen. L'onde électrique Bd. 3, Heft 32. 1924. — Watt, W. und Appleton, E. V.: Über die Natur der atmosphärischen Störungen. Proc. Roy. Soc. A Bd. 103, S. 84/103. — Austin, L. W.: Unsere gegenwärtige Kenntnis über die atmosphärischen Störungen in der drahtlosen Telegraphie. Bull. National Research Council 1924, Nr. 41. — Derselbe: Bestimmung der Richtung atmosphärischer oder statischer Störungen in der drahtlosen Telegraphie. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 19, Heft 2. 1922. — Schindelbauer, F.: Die Richtung der atmosphärischen Störungen. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 22, Heft 4. 1923. — Gherzi, E.: Goniometrische Untersuchungen über den Verlauf der Taifune. L'onde électrique Bd. 3, Heft 34. 1924. — Bäumlér, M.: Das gleichzeitige Auftreten atmosphärischer Störungen. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 19, Heft 2. 1922; Bd. 20, Heft 6. 1922; Bd. 23, Heft 1. 1923; Bd. 29, Heft 2, 1927. — Kiebitz, F.: Über die Ausbreitungsvorgänge und Empfangsstörungen in der Funkentelegraphie. Jahrb. drahtl. Telegr. Bd. 22, Heft 5. 1923.

Anhang.

Einheitszeichen, Formelzeichen, mathematische Zeichen und Sätze des Ausschusses für Einheiten und Formelgrößen (AEF).

(2256) Zeichen für Maßeinheiten (Din 1301).

(Nur in Verbindung mit Zahlen; gerade lateinische Buchstaben.)

Meter m Kilometer. km Dezimeter. dm Zentimeter cm Millimeter mm Mikron μ	Zentiliter cl Milliliter ml Kubikmeter m ³ Kubikdezimeter . . . dm ³ Kubikzentimeter. . . cm ³ Kubikmillimeter. . . mm ³	Kalorie cal Kilokalorie kcal <hr style="border: 0.5px dashed black;"/> Ampere. A Volt V Ohm Ω Siemens S Coulomb C Joule. J Watt W Farad F Henry H Milliampere mA Kilowatt kW Megawatt. MW Mikrofarad μ F Megohm M Ω Kilovoltampere . . . kVA Amperestunde. . . Ah Kilowattstunde . . kWh
<hr style="border: 0.5px solid black;"/> Ar a Hektar ha Quadratmeter . . . m ² Quadratkilometer . km ² Quadratdezimeter . dm ² Quadratzentimeter. cm ² Quadratmillimeter. mm ²	Tonne t Gramm g Kilogramm kg Dezigramm dg Zentigramm. cg Milligramm mg Stunde h Minute m Minute alleinsteh. . min Sekunde s Uhrzeit: Zeichen erhöht Celsiusgrad °	
<hr style="border: 0.5px solid black;"/> Liter l Hektoliter. hl Deziliter dl		

Die Vielfachen und Teile der Grundeinheiten werden durch Vorsätze gebildet; es bedeuten:

G (Giga-) = 10 ⁹ ,	h (Hekto-) = 10 ²	m (Milli-) = 10 ⁻³
M (Mega-) = 10 ⁶	d (Dezi-) = 10 ⁻¹	μ (Mikro-) = 10 ⁻⁶
k (Kilo-) = 10 ³	c (Zenti-) = 10 ⁻²	n (Nano-) = 10 ⁻⁹

(2257) Formelzeichen (Din 1304).

(Lateinische Kursiv-, griechische und Frakturbuchstaben.)

Die aufgeführten Benennungen der Größen sind keine Vorschrift, sondern dienen im wesentlichen der Erläuterung der Formelzeichen. Die bei einigen Größen in Klammern zugefügten Beziehungen dienen ebenfalls nur zur Erläuterung. Die Angaben der Liste sind grundsätzlich frei von Bestimmungen über die gewählten Einheiten. (Kurzzeichen für Einheiten siehe Din 1301.)

Länge, Fläche, Raum, Winkel.

Länge	<i>l</i>
Halbmesser	<i>r</i>
Durchmesser	<i>d</i>
Wellenlänge	λ
Höhe	<i>h</i>
Weglänge	<i>s</i>
Relative Dehnung ($\Delta l/l$)	ϵ
Verhältnis der Querkürzung zur Längsdehnung (Poissonsche Zahl)	μ
Fläche (Querschnitt, Oberfläche)	<i>F</i>
Winkel	$\left\{ \begin{array}{l} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{array} \right.$
Voreilwinkel, Phasenverschiebung φ	φ
Schiebung (Gleitung)	γ
Raumwinkel	ω
Rauminhalt, Volumen	<i>V</i>

Masse.

Masse	<i>m</i>
Räumigkeit (spezifisches Volumen) (<i>V/m</i>)	<i>v</i>
Trägheitsmoment ($\int r^2 ds, \int r^2 dF$ oder $\int r^2 dm$)	<i>J</i>
Zentrifugalmoment ($\int xy dm$)	<i>C</i>
Atomgewicht	<i>A</i>
Molekulargewicht	<i>M</i>
Wertigkeit	<i>n</i>
Allgemeine Loschmidtsche Konstante (Avogadrosche Konstante)	<i>N</i>
Konzentration	<i>c</i>
Verdünnung	<i>v</i>

Zeit.

Zeit (Zeitpunkt oder Zeitdauer) <i>t</i>	<i>t</i>
Periodendauer	<i>T</i>
Umlaufzahl, Drehzahl (Zahl der Umdrehungen in der Zeiteinheit)	<i>n</i>
Schwingungszahl (in der Zeiteinheit)	<i>n</i>
Frequenz (bei Wechselgrößen)	<i>f</i>
Kreisfrequenz ($2\pi f$)	ω
Geschwindigkeit	<i>v</i>
Fallbeschleunigung	g
Winkelgeschwindigkeit	ω

Kraft und Druck.

Kraft	<i>P</i>
Moment einer Kraft (Kraft \times Hebelarm)	<i>M</i>
Richtvermögen (<i>P/s</i> oder <i>M/\alpha</i>)	<i>D</i>
Druck (Kraft durch Fläche)	p
Barometerstand	<i>b</i>

Zug- oder Druckspannung (Normalspannung)	σ
Schubspannung, Scherspannung τ	τ
Elastizitätsmodul	<i>E</i>
Schubmodul	<i>G</i>
Reibungszahl	μ
Zähigkeit (gewöhnliche)	η

Temperatur.

Temperatur, vom Eispunkt aus <i>t</i>	<i>t</i>
„ beim Zusammentreffen mit Zeit . θ	θ
„ absolute	<i>T</i>
Längsausdehnungszahl $[(dl/dt):l_0]$ α	α
Raumausdehnungszahl $[(dV/dt):V_0]$ γ	γ

Wärmemenge, Arbeit, Energie.

Wärmemenge	<i>Q</i>
Arbeit	<i>A</i>
Energie	<i>W</i>
Latente Wärme	<i>l</i>
Reaktionswärme	<i>q</i>
Verdampfungswärme	<i>r</i>
Heizwert (<i>W/m</i> oder <i>W/V</i>)	<i>H</i>
Spezifische Wärme	<i>c</i>
Spezifische Wärme bei konstantem Druck	c_p
Spezifische Wärme bei konstantem Volumen	c_v
Verhältnis der spezifischen Wärmen (c_p/c_v)	κ
Entropie	<i>S</i>
Leistung (<i>A/t</i>)	<i>N</i>
Gaskonstante	<i>R</i>
Wirkungsgrad	η
Arbeitswert der Kalorie	<i>J</i>

Elektrizität und Magnetismus.

Elektrizitätsmenge	<i>Q</i>
Elementarladung	<i>e</i>
Äquivalentladung	<i>F</i>
Elektrische Feldstärke	\mathcal{E}
Elektrische Spannung	<i>U</i>
Elektromotorische Kraft	<i>E</i>
Elektrische Stromstärke	<i>I</i>
Elektrischer Widerstand	<i>R</i>
Spezifischer Widerstand	ρ
Elektrischer Leitwert ($1/R$)	<i>G</i>
Elektrische Leitfähigkeit ($1/\rho$)	κ
Dissoziationsgrad	α
Verschiebung	\mathcal{D}
Elektrisierungszahl	ϵ
Elektrische Kapazität	<i>C</i>
Magnetische Feldstärke	\mathcal{H}
Magnetische Spannung	<i>V</i>
Leiterzahl	z

Windungszahl	w		Licht.
Magnetische Induktion	\mathfrak{B}	Lichtgeschwindigkeit	c
Permeabilität ($\mathfrak{B}/\mathfrak{H}$)	μ	Brechungszahl eines Stoffes gegen Luft	n
Magnetischer Induktionsfluß	Φ	Brennweite	f
Magnetisierungsstärke ($\mathfrak{B}-\mu_0 \mathfrak{H}$)	\mathfrak{J}	Lichtstrom ($J\omega$)	Φ
Magnetische Aufnahmefähigkeit (Suszeptibilität) ($\mathfrak{J}/\mathfrak{H}$)	κ	Beleuchtungsstärke (einer beleuchteten Fläche) (Φ/F)	E
Induktivität (Koeffizient der Selbstinduktion)	L	Leuchtdichte (einer leuchtenden Fläche) (J/F)	ϵ
Gegeninduktivität (gegenseitiger Induktionskoeffizient)	M	Lichtmenge (Φt)	Q
Poyntingscher Vektor (Strahlungsdichte)	\mathfrak{S}	Lichtstärke	J

Deutsche (\mathfrak{G} traffur-)Buchstaben werden als Formelzeichen nur für Größen verwendet, die Vektoreigenschaft besitzen können. Soll die Vektoreigenschaft einer Größe hervorgehoben werden, so wählt man den Frakturbuchstaben oder überstreicht das Formelzeichen, z. B. $\bar{\omega}$. Der Betrag eines Vektors kann durch das Formelzeichen in Kursivschrift oder griechischer Schrift oder das von senkrechten Strichen eingeschlossene Vektorzeichen dargestellt werden. Vgl. Din 1303 Vektorzeichen.

Mathematische Zeichen s. (5). Din 1302.

(2258) Satz I. Mechanisches Wärmeäquivalent. Din 1309.

Einheiten.

§ 2 des Gesetzes vom 7. August 1924 über die Temperaturskala und die Wärmeinheit.

Veröffentlicht in Nr. 52 des Reichsgesetzblattes vom 12. August 1924.

„Die gesetzlichen Einheiten für die Messung von Wärmemengen sind die Kilokalorie (kcal) und die Kilowattstunde (kWh).“

Die Kilokalorie ist diejenige Wärmemenge, durch welche ein Kilogramm Wasser bei atmosphärischem Druck von 14,5 auf 15,5° erwärmt wird.

Die Kilowattstunde ist gleichwertig dem Tausendfachen der Wärmemenge, die ein Gleichstrom von 1 gesetzlichen Ampere in einem Widerstand von 1 gesetzlichen Ohm während einer Stunde entwickelt, und ist 860 Kilokalorien gleich zu erachten.“

$$1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal (Grammkalorien)}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ gesetzliche Joule (Wattsekunden).}$$

Arbeitswert der Wärmeinheit.

$$1 \text{ kcal} = 4184 \text{ gesetzliche Joule}$$

$$= 4186 \times 10^7 \text{ erg} = 4186 \text{ absolute Joule.}$$

Der Arbeitswert der gesetzlichen Kilokalorie ist 426,9 kgm, wenn die normale Fallbeschleunigung 980,665 cm/s² zugrunde gelegt wird.

Der Arbeitswert der mittleren (0° bis 100°-)Kilokalorie ist dem Arbeitswert der gesetzlichen Kilokalorie gleich zu erachten.

Wärmewert der Arbeitseinheit

(der Wattsekunde oder des gesetzlichen Joule und der Kilowattstunde).

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws} = 0,0002390 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal.}$$

Allgemeine Gaskonstante R.

Bei Arbeitseinheit	Zahlenwert der allgemeinen Gaskonstante R
Erg	$8,313 \times 10^7$
Kilogrammometer	0,8477
gesetzliches Joule	8,309
Kilokalorie	0,001986
Literatmosphäre	0,08204

Das gesetzliche Joule ist gleich dem internationalen Joule; das absolute Joule ist zur Zeit gleich 0,9995 gesetzlichen Joule.

(2259) Satz II. Leitfähigkeit und Leitwert. Din 1321.

Das Reziproke des Widerstandes heißt **Leitwert**, seine Einheit im praktischen elektromagnetischen Maßsystem **S i e m e n s**; das Zeichen für diese Einheit ist **S**.

Das Reziproke des spezifischen Widerstandes heißt **Leitfähigkeit** oder **spezifischer Leitwert**.

(2260) Satz III. Temperaturbezeichnungen

1. Wo immer zugänglich, namentlich in Formeln, soll die absolute Temperatur, die mit T zu bezeichnen ist, benutzt werden.

2. Für alle praktischen und viele wissenschaftlichen Zwecke, bei denen an der gewöhnlichen Celsiusskala festgehalten wird, soll empfohlen werden, lateinisch t zu verwenden, sofern eine Verwechslung mit dem Zeitzeichen t ausgeschlossen ist.

Wenn gleichzeitig Celsiustemperaturen und Zeiten vorkommen, so soll für das Temperaturzeichen das griechische ϑ verwendet werden.

Beispiel.

So soll man bei der Verwendung des **C a r n o t - C l a u s i u s** schen Prinzips statt $Q \frac{dt}{t + 273} \dots Q \frac{dT}{T}$ schreiben, andererseits soll die Längenänderung eines Stabes ausgedrückt werden durch die Formel: $l = l_0(1 + \alpha t + \beta t^2)$.

(2261) Satz IV. Einheit der Leistung. Din 1316.

Die technische Einheit der Leistung heißt **Kilowatt**. Sie ist praktisch gleich **102 Kilogrammometer** in der Sekunde und entspricht der absoluten Leistung 10^{10} **Erg** in der Sekunde. Einheitsbezeichnung **kW**.

Für die Umrechnung von Leistungsangaben aus **Pferdestärken** in **Kilowatt** und umgekehrt werden folgende Zahlen festgesetzt:

$$1 \text{ kW} = 1,360 \text{ PS}$$

$$1 \text{ PS} = 0,735 \text{ kW.}$$

Für diese Umrechnung dient die Tafel (4).

(2262) Satz V. Spannung, Potential und elektromotorische Kraft, Potentialdifferenz und Spannungsdifferenz. Din 1323.**Allgemeiner Begriff der Spannung.**

1. Ein mit der Elektrizitätsmenge Q geladener kleiner Körper lege im elektrischen Felde einen Weg s zurück. Dabei leisten die Feldkräfte an dem Körper eine mechanische Arbeit A . Dann schreibt man dem Weg s eine elektrische Spannung $U = A/Q$ zu.

Die elektrische Spannung hat den gleichen Zahlenwert und das gleiche Vorzeichen wie die Arbeit am Träger der Einheit der positiven Elektrizitätsmenge.

Bemerkung: Die Spannung bezieht sich auf ein Liniestück.

Unter einer Spannungsdifferenz ist die Differenz zweier Spannungen zu verstehen. Sie bezieht sich auf zwei Liniestücke.

2. Fällt der Endpunkt des Weges mit seinem Anfangspunkte zusammen, so heißt der Weg ein geschlossener. Die zugehörige Spannung bezeichnet man als Umlaufspannung U_o .

Wirbelfreies elektrisches Feld.

3. Verschwindet in einem Raumteil die elektrische Umlaufspannung für alle möglichen geschlossenen Wege, die man auf stetige Weise in einen Punkt zusammenziehen kann,

$$U_o = 0$$

so nennt man das elektrische Feld in diesem Raumteile wirbelfrei.

4. In einem wirbelfreien Felde erhält man gleiche Spannungen für alle zwischen zwei Punkten gezogenen Wege, die man auf stetige Weise ineinander überführen kann, ohne das wirbelfreie Gebiet zu verlassen. Diese gemeinsame Spannung kann man somit als Differenz zweier den Endpunkten zuzuschreibenden Zahlenwerte auffassen. Sie werden die elektrischen Potentiale der Endpunkte genannt. Und zwar gilt das Potential P_o des Ausgangspunktes als Minuend, das Potential P_e des Ankunftspunktes als Subtrahend:

$$U = P_o - P_e.$$

Im wirbelfreien Felde kann also die elektrische Spannung als Potentialdifferenz aufgefaßt werden.

Für einen Feldpunkt kann man das Potential beliebig festsetzen; dann ist es für die übrigen Punkte bestimmt. Das Potential bezieht sich auf einen Punkt, die Potentialdifferenz auf zwei Punkte.

5. Herrscht in einem wirbelfreien Felde zwischen verschiedenen Punkten A und B eines stromlosen ruhenden Leiters eine Spannung, so schreibt man dem Leiter eine eingeprägte elektromotorische Kraft E_e zu. Sie stimmt nach Dimension und Zahlenwert mit jener Spannung überein, hat aber das entgegengesetzte Vorzeichen

$$E_e = -U_{AB}.$$

6. Die algebraische Summe der Spannung zwischen den Enden A und B eines linearen Leiters und der dem Leiter eingeprägten elektromotorischen Kraft ergibt den Ohmschen Spannungsabfall in dem Leiter (Ohmsches Gesetz):

$$RI = E_e AB + U_{AB}.$$

I ist die Stromstärke im Leiter, R sein Widerstand; I soll als positiv gerechnet werden, wenn der Strom von A nach B fließt.

Für eine geschlossene Leiterschleife ist die algebraische Summe aller Ohmschen Spannungsabfälle gleich der algebraischen Summe aller eingeprägten elektromotorischen Kräfte (Gesetz von Kirchhoff):

$$\Sigma RI = \Sigma E_e.$$

Elektrisches Wirbelfeld.

7. Ist in einem elektrischen Felde die Spannung für benachbarte Wege zwischen den gleichen Endpunkten verschieden, so nennt man das Feld ein Wirbelfeld. In einem derartigen Felde lassen sich also die Spannungen nicht mehr als die Differenzen von Potentialen der Feldpunkte auffassen.

8. In jedem elektrischen Felde ist die Umlaufspannung für einen beliebigen geschlossenen Weg gleich der Abnahme, die der umschlungene magnetische Induktionsfluß Φ in der Zeiteinheit erfährt:

$$U_o = -\frac{d\Phi}{dt}.$$

Dieses ist die umfassendste Form des Induktionsgesetzes.

9. Für eine geschlossene Schleife aus linearen Leitern ist die algebraische Summe der Ohmschen Spannungsabfälle gleich der Umlaufspannung, vermehrte um die algebraische Summe der eingepägten elektromotorischen Kräfte:

$$\Sigma RI = U_o + \Sigma E_e$$

oder

$$\Sigma RI = -\frac{d\Phi}{dt} + \Sigma E_e.$$

Die Größe $-\frac{d\Phi}{dt}$ spielt hiernach bei der Berechnung des Stromes die gleiche Rolle wie die eingepägten elektromotorischen Kräfte. Sie wird in diesem Zusammenhang auch als induzierte elektromotorische Kraft E_i bezeichnet:

$$E_i = -\frac{d\Phi}{dt}.$$

(2263) Satz VI. Durchflutung und Strombelag. Din 1321.

1. Die algebraische Summe aller durch eine beliebige Fläche fließenden Ströme heißt elektrische Durchflutung. Dimension: Stromstärke.

2. Bei einer elektrischen Strömung, die man als zweidimensional (flächenhaft) ansehen kann und will, heißt der Strom oder die Durchflutung durch eine zu den Stromlinien senkrechte Längeneinheit Strombelag. Dimension: Stromstärke durch Länge.

(2264) Satz VII. Normaltemperatur. Din 527.

Die Eigenschaften von Stoffen und Systemen sind tunlichst bei einer bestimmten einheitlichen Temperatur zu messen oder für eine solche zu berechnen und anzugeben. Als Normaltemperatur ist $+20^\circ\text{C}$ zu wählen, sofern nicht besondere Gründe für die Wahl einer anderen Temperatur vorliegen.

Unberührt bleiben

die Temperatur 0° in der Festlegung der Maßeinheiten „Meter“ und „Ohm“, der Druckeinheit „Atmosphäre“ sowie bei Barometerangaben

die Temperatur $+4^\circ$ in der Festlegung der Maßeinheit „Liter“ und für Wasser als Vergleichskörper bei Dichtebestimmungen.

(2265) Satz VIII. Feld und Fluß. Din 1321.

1. Den Raum, in welchem sich elektrische und mechanische Erscheinungen abspielen, bezeichnet man allgemein als elektromagnetisches Feld. Beschränkt sich die Betrachtung im besonderen auf die elektrischen oder auf die magnetischen Erscheinungen, so spricht man von einem elektrischen oder magnetischen Felde.

2. Das Integral der Normalkomponente eines Feldvektors über eine Fläche bezeichnet man als Fluß des Vektors durch die Fläche.

Im besonderen bezeichnet man das Integral der Normalkomponente der magnetischen Induktion über eine Fläche als Induktionsfluß und das Integral der Normalkomponente der dielektrischen Verschiebung als Verschiebungsfuß.

3. Den Induktionsfluß durch eine von allen Windungen einer Spule umrandete Fläche bezeichnet man als Spulenfluß. Der Fluß durch die Fläche einer einzelnen Windung heißt Windungsfluß.

(2266) Satz IX. Masse und Gewicht¹⁾. Din 1305.

Die Masse m eines Körpers als Maß seiner Trägheit oder seines Widerstandes gegen Beschleunigung ist gleich dem Quotienten der auf den Körper wirkenden Kraft P durch die von ihm erzeugte Beschleunigung b , also z. B.

¹⁾ Der Satz IX wird demnächst vom AEF umgearbeitet werden.

gleich dem Gewicht des Körpers geteilt durch die Fallbeschleunigung bezogen auf den gleichen Ort.

$$m = \frac{P}{b}$$

Die **Schwerkraft** eines Körpers an einem Ort ist die an diesem Ort auf ihn ausgeübte gesamte Massenanziehungskraft. Sie ist gleich dem Produkt der Masse m des Körpers und der Schwerbeschleunigung an dem Ort.

$$\text{Schwerkraft} = \text{Masse} \cdot \text{Schwerbeschleunigung}$$

Das **Gewicht** eines Körpers an einem Ort der Erde ist die an diesem Ort auf den ruhenden Körper im luftleeren Raum wirkende Mittelkraft aus der Schwerkraft und der gesamten durch die Drehung und Wanderung der Erde bedingten Scheinkraft. Das Gewicht ist gleich dem Produkt aus der Masse m des Körpers und der Fallbeschleunigung an dem Ort und ändert sich somit im gleichen Verhältnis wie die Fallbeschleunigung.

$$\text{Gewicht} = \text{Masse} \cdot \text{Fallbeschleunigung}$$

Die **Last** eines Körpers ist die Kraft, die der ruhende Körper im luft-erfüllten Raum auf die Wage ausübt. Die Last ist gleich dem Gewicht vermindert um den Betrag des Luftauftriebs.

$$\text{Last} = \text{Gewicht} - \text{Luftauftrieb}$$

Das **Sichtgewicht** eines Körpers ist das auf einer Wage im luft-erfüllten Raum unmittelbar abgelesene Gewicht. Die Abweichung des Sichtgewichts von dem Gewicht des Körpers beruht auf dem Unterschiede des Auftriebs des Körpers und der Gewichtsstücke. Das Sichtgewicht ist mit der Dichte der Luft veränderlich.

Die **Schwerbeschleunigung** eines Körpers ist die ihm, durch seine Schwerkraft erteilte Beschleunigung. Sie ändert sich daher mit dem Ort und mit der Zeit im gleichen Verhältnis wie die Schwerkraft.

$$\text{Schwerbeschleunigung} = \frac{\text{Schwerkraft}}{\text{Masse}}$$

Die **Fallbeschleunigung** g eines Körpers ist die ihm durch sein Gewicht — also durch das Zusammenwirken von Schwerkraft und gesamter Scheinkraft — im luftleeren Raum erteilte Beschleunigung. Die Fallbeschleunigung ist gleich der geometrischen Summe aus der Schwerbeschleunigung und der Scheinkraftbeschleunigung und ändert sich mit dem Ort und mit der Zeit im gleichen Verhältnis wie das Gewicht des Körpers.

$$\text{Fallbeschleunigung} = \frac{\text{Gewicht}}{\text{Masse}}$$

Als Normalwert der Fallbeschleunigung gilt $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$. Häufig genügt, für g die gerundeten Werte 9,81 oder 9,8 oder 10 m/s^2 je nach der verlangten Genauigkeit zu setzen.

Die verschiedenen Benennungen für Gewicht sind nur anzuwenden, wo es die Genauigkeit erfordert; der bisherige Gebrauch des Wortes Gewicht bleibt unverändert.

(2267) Satz X. Vektorzeichen. Din 1303.

1. Vektoren werden mit (kleinen oder großen) Frakturbuchstaben bezeichnet: $\alpha, \beta, \dots \mathfrak{A}, \mathfrak{B}, \dots$

Zusatz 1: In besonderen Fällen können Vektoren auch durch Überstreichen gekennzeichnet werden, z. B.: \bar{r}, \bar{w} .

Zusatz 2: Soll ein Vektor durch seinen Anfangspunkt A und seinen Endpunkt B dargestellt werden, so schreibt man \overrightarrow{AB} .

2. Der Betrag des Vektors \mathfrak{A} wird mit $|\mathfrak{A}|$ bezeichnet; wo kein Mißverständnis zu befürchten ist, auch mit A .

3. Der zum Vektor \mathfrak{A} gehörige Einheitsvektor wird mit \mathfrak{A}^0 bezeichnet: $\mathfrak{A} = |\mathfrak{A}|\mathfrak{A}^0$. In besonderen Fällen kann der Einheitsvektor auch mit dem entsprechenden kleinen deutschen Buchstaben bezeichnet werden: $\mathfrak{A} = |\mathfrak{A}|\mathfrak{a}$.

4. Zur Darstellung der Vektorsummen und Vektordifferenzen dienen die gewöhnlichen Plus- und Minuszeichen: $\mathfrak{A} + \mathfrak{B}$, $\mathfrak{A} - \mathfrak{B}$.

5. Das skalare Produkt zweier Vektoren wird dadurch bezeichnet, daß man die beiden Vektoren nebeneinander schreibt: $\mathfrak{A}\mathfrak{B}$. Nötigenfalls sind Vektorsummen, Vektordifferenzen und skalare Produkte in runde Klammern einzuschließen: $\mathfrak{A}(\mathfrak{B} + \mathfrak{C})$, $(\mathfrak{A}\mathfrak{B})\mathfrak{C}$. Skalare Faktoren können auch durch einen Punkt abgetrennt werden: $\mathfrak{A}\mathfrak{B} \cdot \mathfrak{C} = (\mathfrak{A}\mathfrak{B})\mathfrak{C}$.

Zusatz: \mathfrak{A}^2 bedeutet das skalare Produkt des Vektors \mathfrak{A} mit sich selbst.

6. Das Vektorprodukt zweier Vektoren wird dadurch bezeichnet, daß man die beiden Vektoren nebeneinander schreibt und in eckige Klammern einschließt: $[\mathfrak{A}\mathfrak{B}]$, $[\mathfrak{A}(\mathfrak{B} + \mathfrak{C})]$.

Zusatz: Das Produkt $\mathfrak{A}[\mathfrak{B}\mathfrak{C}]$ kann durch $\mathfrak{A}\mathfrak{B}\mathfrak{C}$ bezeichnet werden.

7. Für den Gradienten des Skalars φ , für die Divergenz und den Rotor des Vektors \mathfrak{A} werden die Bezeichnungen $\text{grad } \varphi$, $\text{div } \mathfrak{A}$, $\text{rot } \mathfrak{A}$ benutzt.

Zusatz 1: Der Rotor des Rotors von \mathfrak{A} wird mit $\text{rot rot } \mathfrak{A}$ bezeichnet.

Zusatz 2: Soll von dem skalaren Produkt $\mathfrak{A}\mathfrak{B}$ der Gradient gebildet, dabei aber nur \mathfrak{A} als veränderlich, \mathfrak{B} als konstant betrachtet werden, so wird dies durch $\text{grad}\mathfrak{A}(\mathfrak{A}\mathfrak{B})$ ausgedrückt.

8. Der Hamiltonsche Operator wird mit ∇ (sprich Nabla) bezeichnet. Wenn seine Anwendung auf Gradienten, Divergenzen, Rotoren führt, sind in den Rechnungsergebnissen die in 7. vorgeschlagenen Bezeichnungen zu bevorzugen, ∇^2 kann durch Δ ersetzt werden.

Zusatz: Wenn in $\nabla(\mathfrak{A}\mathfrak{B})$ nur der Vektor \mathfrak{A} als veränderlich, \mathfrak{B} als konstant betrachtet werden soll, so wird dies durch $\nabla\mathfrak{A}(\mathfrak{A}\mathfrak{B})$ ausgedrückt; das gleiche gilt in entsprechenden Fällen bei anderen Produktbildungen mit ∇ .

9. Die an Unstetigkeitsflächen (Sprungflächen) den Begriffen $\text{grad } \varphi$, $\text{div } \mathfrak{A}$ und $\text{rot } \mathfrak{A}$ entsprechenden Differenzbildungen werden mit $\text{Grad } \varphi$, $\text{Div } \mathfrak{A}$, $\text{Rot } \mathfrak{A}$ (große Anfangsbuchstaben) bezeichnet.

10. Die Grundvektoren (drei zueinander senkrechte Einheitsvektoren) werden mit \mathfrak{i} , \mathfrak{j} , \mathfrak{k} bezeichnet.

11. Die vektorische Projektion eines Vektors \mathfrak{A} auf einen anderen \mathfrak{B} wird mit $\mathfrak{A}\mathfrak{B}$, die vektorische Projektion auf eine Gerade x mit \mathfrak{A}_x bezeichnet, dagegen die skalaren Komponenten in bezug auf ein rechtwinkliges Achsenkreuz mit

$$A_x, A_y, A_z.$$

Wenn die Richtungen von \mathfrak{i} , \mathfrak{j} , \mathfrak{k} mit denen der Achsen x , y , z übereinstimmen, so ist

$$\begin{aligned} \mathfrak{A} &= A_x \mathfrak{i} & \mathfrak{A}_y &= A_y \mathfrak{j} & \mathfrak{A}_z &= A_z \mathfrak{k} \\ \mathfrak{A} &= \mathfrak{A}_x + \mathfrak{A}_y + \mathfrak{A}_z = A_x \mathfrak{i} + A_y \mathfrak{j} + A_z \mathfrak{k}. \end{aligned}$$

Zusatz: In besonderen Fällen können die skalaren Komponenten auch mit anderen passend gewählten lateinischen oder griechischen Buchstaben bezeichnet werden:

$$\mathfrak{r} = x\mathfrak{i} + y\mathfrak{j} + z\mathfrak{k} \quad \bar{\omega} = p\mathfrak{i} + q\mathfrak{j} + r\mathfrak{k}.$$

(2268) Satz XI. Drehung, Schraubung, Winkel, rechts- und linkswendiges Koordinatensystem. Din 1312.

I. Drehungssinn, Winkel, rechts- und linkswendiges Koordinatensystem in der Ebene.

Unter „Ebene“ soll in diesem Abschnitt I die eine Seite einer Ebene, z. B. die Vorderseite einer Tafelenebene oder Bildseite einer Zeichenebene oder das Zifferblatt einer Uhr verstanden werden.

1. Drehungssinn in der Ebene.

Der dem Lauf des Uhrzeigers entgegengesetzte Drehungssinn in einer Ebene soll als der positive Drehungssinn in dieser Ebene bezeichnet werden.

2. Winkel zweier gerichteter Geraden in der Ebene.

Unter dem Winkel $\sphericalangle xy$ zweier nicht paralleler, nicht zusammenfallender gerichteter Geraden (Achsen, Speere) derselben Ebene, von denen die eine als erste (x -)Achse, die andere als zweite (y -)Achse bezeichnet werde, soll der Winkel verstanden werden, durch den die positive Richtung der x -Achse im positiven Drehungssinn um den Schnittpunkt beider Achsen in die positive Richtung der y -Achse übergeführt wird. Dieser Winkel ist nur bis auf das Vielfache eines vollen Umlaufes bestimmt.

3. Rechtswendiges und linkswendiges Koordinatensystem in der Ebene.

Eine x -Achse und eine y -Achse mit den in I, 2 bezeichneten Eigenschaften bilden ein rechtswendiges (positives) bzw. linkswendiges (negatives) Koordinatensystem (Rechtssystem bzw. Linkssystem) in der Ebene, wenn der innerhalb eines Umlaufes gemessene Winkel $\sphericalangle xy$ kleiner bzw. größer als ein gestreckter Winkel ist.

Durch bloße Bewegung in der Ebene ist es nicht möglich, ein Rechtssystem mit einem Linkssystem gleichsinnig zur Deckung zu bringen.

II. Schraubungssinn, Winkel, rechts- und linkswendiges Koordinatensystem im Raume.

Unter einer Ebene soll in diesem Abschnitt eine zweiseitige Ebene des Raumes (Blatt, Scheibe) verstanden werden. Von einer mit irgendeinem Drehungssinn behafteten Ebene (gerichteten Ebene) soll die eine Seite als die positive, die andere als die negative bezeichnet werden, je nachdem auf dieser Seite der Drehungssinn der Ebene als der positive oder als der negative Drehungssinn im Sinne von I, 2 erscheint.

4. Schraubung.

Durch gleichzeitige Drehung einer Ebene und Verschiebung längs einer, die Ebene schneidenden, ihr nicht parallelen und ihr nicht angehörenden Geraden entsteht eine Schraubung.

a) Schraubungssinn.

Der Drehungssinn einer gerichteten Ebene und der Richtungssinn einer sie schneidenden gerichteten Geraden bestimmen einen positiven (rechtswendigen) Schraubungssinn, wenn die positive Richtung der Geraden auf der positiven Seite der Ebene (und daher die negative Richtung der Geraden auf der negativen Seite der Ebene) gelegen ist. Sie bestimmen einen negativen (linkswendigen) Schraubungssinn, wenn die positive Richtung der Geraden auf der negativen Seite der Ebene (und daher die negative Richtung der Geraden auf der positiven Seite der Ebene) gelegen ist.

Der Schraubungssinn ändert sich nicht, wenn sowohl der Drehungssinn der Ebene als auch der Richtungssinn der Geraden umgekehrt werden. Dagegen wechselt der Schraubungssinn, wenn entweder der Drehungssinn der Ebene oder der Richtungssinn der Geraden umgekehrt wird.

b) Fortschreitungsrichtung der Schraubung.

Durch gleichzeitige Drehung einer gerichteten Ebene in ihrem Drehungssinn und Verschiebung längs einer sie schneidenden gerichteten Geraden in deren Richtungssinn entsteht eine Vorwärtsschraubung; wenn sowohl die Drehung der Ebene als auch die Verschiebung längs der Geraden im entgegengesetzten Sinn erfolgen, entsteht eine Rückwärtsschraubung. Diese Festsetzungen beziehen sich sowohl auf eine rechtswendige als auch auf eine linkswendige Schraubung: Rechtsschraubung vorwärts und rückwärts, Linksschraubung vorwärts und rückwärts.

Der Korkenzieher und die gewöhnlichen käuflichen Schrauben haben einen positiven Schraubungssinn sowohl beim Vorwärtsschrauben, worunter etwa das Hineinschrauben in den Korken oder das Material oder in die festgehaltene Mutter zu verstehen ist, als auch beim Rückwärtsschrauben.

5. Winkel zweier gerichteter Geraden.

Unter dem Winkel $\sphericalangle xy$ zweier nicht paralleler, nicht zusammenfallender sich schneidender gerichteter Geraden im Raume, von denen die eine als die x -Achse, die andere als die y -Achse in dieser Reihenfolge festgelegt ist, soll der kleinste Winkel verstanden werden, durch den die positive Richtung der x -Achse in die positive Richtung der y -Achse übergeführt wird.

6. Rechtswendiges und linkswendiges Koordinatensystem im Raume.

Drei gerichtete Geraden, die durch denselben Punkt gehen, aber nicht in derselben Ebene gelegen sind, und deren Reihenfolge durch die Bezeichnung als x -Achse, y -Achse, z -Achse bestimmt ist, bilden ein rechtswendiges (positives) Koordinatensystem (Rechtssystem), oder ein linkswendiges (negatives) Koordinatensystem (Linkssystem), je nachdem die durch den Drehungssinn des Winkels $\sphericalangle xy$ gerichtete xy -Ebene zusammen mit der gerichteten z -Achse einen positiven oder einen negativen Schraubungssinn ergibt.

In einem Rechtssystem entsteht durch Drehung der xy -Ebene in dem Sinne, daß dabei die positive x -Achse durch den kleinsten Winkel in die positive y -Achse übergeführt wird, und gleichzeitige Verschiebung im Richtungssinn der positiven z -Achse eine Rechtsschraubung vorwärts.

Bei Vertauschung der Reihenfolge zweier Achsen ändert sich der Schraubungssinn eines Koordinatensystems.

Durch bloße Bewegung ist es nicht möglich, ein Rechtssystem mit einem Linkssystem gleichsinnig zur Deckung zu bringen.

Daumen, Zeigefinger und Mittelfinger der rechten Hand bilden, in die Richtung der x -, y - und z -Achse eingestellt, ein rechtswendiges Koordinatensystem.

Wenn bei Gebrauch eines zwei- oder dreiachsigen Koordinatensystems nicht das Gegenteil ausdrücklich hervorgehoben wird, soll stets ein rechtswendiges System gemeint sein.

(2269) Satz XII. Wert der Valenzladung. Din 1322.

Die elektrochemische Einheit der Elektrizitätsmenge, d. h. die Ladung, welche ein Grammaquivalent eines Ions an positiver bzw. negativer Elektrizität trägt und die mit dem Buchstaben F bezeichnet wird, beträgt 96 500 Coulomb.

(2270) Satz XIII. Gehalt von Lösungen. Din 1310.

Die Menge eines Bestandteils in einer bestimmten Menge einer Lösung wird mit folgenden drei gleichbedeutenden Ausdrücken bezeichnet:

Gehalt einer Lösung (oder Mischung oder Verbindung) an einem Bestandteil,

Konzentration einer Lösung an einem Bestandteil,

Konzentration eines Bestandteils in einer Lösung.

Für besondere Zwecke (namentlich Gefrierpunktmessungen) wird die Konzentration einer Lösung auch als Menge des Bestandteils auf eine bestimmte Menge des Lösungsmittels ausgedrückt.

Sowohl die Menge des Bestandteils wie die Menge der Lösung (oder des Lösungsmittels) können in Masseneinheiten oder in Raumeinheiten angegeben werden.

Werden beide in Masseneinheiten oder beide in Raumeinheiten angegeben, so hat die Konzentration die Dimension einer reinen Zahl. Wird aber die Menge des Bestandteils in Masseneinheiten, die der Lösung in Raumeinheiten angegeben, so hat die Konzentration die Dimension $(l^{-3} m)$.

Im letzten Falle kann statt der Konzentration auch deren Kehrwert, die Verdünnung angegeben werden, d. h. die Raummenge der Lösung, die eine bestimmte Masse des Bestandteils enthält. Dimension ($l^3 m^{-1}$).

Konzentrationsangaben, die nur in Masseneinheiten ausgedrückt sind, haben den Vorzug, von der Temperatur unabhängig zu sein.

Als Masseneinheiten dienen	Einheitzeichen	
das Gramm oder das Kilogramm	g	kg
das Mol, d. h. soviel Gramm des Stoffes, wie sein Molekulargewicht angibt		mol
das Millimol, der tausendste Teil des Mols . . .		mmol
das Val, d. h. soviel Gramm des Stoffes, wie sein Äquivalentgewicht angibt		val
das Millival, der tausendste Teil des Vals		mval
das Gramm-Atomgewicht, d. h. soviel Gramm eines Elementes, wie sein Atomgewicht angibt		g-atom
Als Raumeinheiten dienen		
das Kubikzentimeter oder das Liter	cm ³	l

Von den zahlreichen durch Verknüpfung dieser Einheiten möglichen Arten der Konzentrationsangabe sind, falls nicht besondere Gegengründe vorliegen, nur die folgenden zu benutzen:

	Benennung	Einheitzeichen
1. Gramm Bestandteil in 100 g Lösung	Prozent Massenprozent	% oder g/100 g
2. Kubikzentimeter Bestandteil in 100 cm ³ Lösung	Volumprozent	cm ³ /100 cm ³
3. Gramm Bestandteil in 1 l Lösung	—	g/l
4. Mol Bestandteil in 1 l Lösung oder Liter Lösung auf 1 mol Bestandteil	—	mol/l
5. Val Bestandteil in 1 l Lösung oder Liter Lösung auf 1 val Bestandteil	Verdünnung	1/mol
6. Mol Bestandteil auf 1 kg Lösungsmittel	—	val/l
7. Mol Bestandteil in 100 Gesamt-Mol Lösung oder der hundertste Teil der Zahl der Molprozent	Verdünnung	1/val
8. Gramm-Atomgewicht Bestandteil in 100 Gesamt-Gramm-Atomgewicht der Lösung oder der hundertste Teil der Zahl der Atomprozent	—	mol/kg Lösungsmittel
bei Mineralwässern auch	Molprozent	mol/100 Gesamtmol
9. Millimol Bestandteil in 1 kg Lösung	Molenbruch	mol/Gesamtmol
10. Millival Bestandteil in 1 kg Lösung	Atomprozent	{ g-atom/100 Gesamt-g-atom
	—	g-atom/Gesamt-g-atom
	—	mmol/kg
	—	mval/kg

Festsetzung des Comité Consultatif International des Communications téléphoniques à grande distance (CCI).

(2271) Einheit für Fernsprechübertragung. Der beratende zwischenstaatliche Ausschuß für den Fernsprechweitverkehr hat festgesetzt: Die auf dem natürlichen Logarithmus des Verhältnisses zweier Leistungen, Spannungen oder Ströme beruhende Übertragungseinheit soll Neper genannt werden, während die auf dem briggischen Logarithmus beruhende Einheit Bel genannt werden soll. In der Praxis wird der dezimale Bruchteil dieser Einheit Decibel gebraucht werden, der mit der früher transmission unit. (TU) genannten Einheit übereinstimmt (ENT 1927, S. 487).

Es ist 1 Neper = 8,7 Decibel = 8,7 TU.

1 Decibel = 0,115 Neper = 1 TU.

Alphabetisches Sachverzeichnis

Die wichtigeren Formeln, Gleichungen, Gesetze udgl. werden unter dem Stichwort „Formeln“, Zahlentafeln und -Zusammenstellungen, auch in graphischer Form unter dem Stichwort „Tabellen“ besonders aufgeführt.

(Die Zahlen bedeuten Seiten.)

- Abfragen des Teilnehmers** 658.
 Abfragestöpsel 675.
 Abfragevorrichtung 638.
 Abschlußkabel f. Ämter 403.
 — wetterbeständige 403.
 Abschlußkondensator 514.
 Abstandsbestimmung, funktelegr. 1087.
 Abstimmung e. Schwingungskreises 1007.
 Abzweigkasten 411.
 Abzweigspulen 907.
 AEF, Zeichen und Sätze 1108.
 Akkumulatoren s. Sammler.
 Alarmsirene, el. 962.
 Alarmweckeranlage 962.
 Alexanderson-Maschine 1040.
 Allan-Brownrelais 493.
 A-Mast 389, 392.
 Ampere, Definition 140.
 Analysator, Karmon. 181.
 Anemoklinograph 974.
 Anemometer 974.
 Anfangspermeabilität 40.
 — Messung 187.
 Anker e. Gestanges 388, 392.
 Anodenspannung 1047.
 Anruf, Auflaufen 761.
 — durch Gleichstrom 655.
 — durch Wechselstrom 657.
 Anrufrelais 655.
 Anrufschaltungen 655.
 Anrufschranke 534.
 Anrufzeichen 637.
 Anschlußlosen 894.
 Anschlußleitungen 863.
 Antenne 1009, 1022.
 — von Alexanderson 1025.
 — Benennungen 1022.
 — von Beverage 1073.
 — Durchhang 1028.
 — Eigenschaften 1023.
 — Eigenschwingung 1026.
 — Erdwiderstand, Erdung 1023.
 — Formfaktor 1025.
 — Gegengewicht 1024.
 — Höhe, effektive 1025.
 — Kapazität 1024, 1025.
 — Leistung 1009, 1025.
 — mehrere in gerader Linie 1067.
 — Richtfläche 1076.
 Antenne Selbstinduktivität 1027.
 — Strahlungshöhe 1025.
 — Strahlungswiderstand 1010, 1023, 1024, 1025.
 — Verkürzung 1027.
 — Verlängerung 1027.
 — Widerstand 1023.
 Antennenbau 1027.
 Antennenberechnung, nomographische 1026.
 Antennenformen 1022.
 Antennenhöhe, wirksame 1010.
 Antennenisolator 1028.
 Antennenmast 1027.
 Antennenstern 1079.
 Antennensträger 1027.
 Antrieb der Telegraphenapparate 488.
 Äquivalente, elektrochem. 68.
 Äquivalentgewichte 68.
 Äquivalentleitvermögen 67.
 Arbeitsstrom 480.
 — Omnibusschaltung 507.
 Arbeitsstromschaltung 507.
 Argometer 973.
 Argongleichrichter 297.
 Arldtscher Hulsenbund 395.
 A-Schränke s. Teilnehmer-schränke.
 Astasie 128.
 Atomgewichte 68.
 Audion 324, 1054.
 — mit Ruckkopplung 1055.
 Audiogleichrichter 259, 260.
 Audionschaltung 1055, 1058.
 Audionvoltmeter, Eichkurve 258.
 Audionwellenmesser 260, 262.
 Auflagedruck 24.
 Aufnahmeapparate, funktelephon. 1092.
 Aufteilungsmuffen 413.
 Ausdehnungskoeffizienten 32.
 Ausgleichsvorgänge 114, 119.
 Ausschlag d. Galvanometers 125.
 — —, ballistischer 127.
 Azimutgleichen 1087.
Bahnen, el., Fahrstrom 428.
 — Schienenstrom, Schutzwirkung 429.
 Bändchen-Mikrophon 1092.
 Barretter 137.
 Batteriesicherungen 682.
 Baudotalphabet 481.
 Baudotapparat 485.
 Baudotbremse 485.
 Baudotrelais 492.
 Baudotsystem 502.
 Baumreihen als Schutz für FM-Ltgn. 424.
 Baumwollisolierter Draht 419.
 Baumwollwachsdraht 418.
 Befehlsgeber 966.
 Bell 1119.
 Berechnung der Eigenschaften von homogenen Leitungen 232.
 Besetzprüfung 658, 668.
 Betriebskapazität 52.
 — Messung 167.
 Betriebsstörungen, Beseitigung 216.
 — Verhütung 217.
 Beverage-Antenne 1072, 1073.
 — Richtcharakteristik 1074.
 — Richtkurven 1075.
 — Storkompensation 1075.
 Bezeichnungen 13.
 Bezirksnetz 553.
 Biegebeanspruchung 27.
 Biegefestigkeit 26.
 Biegeprobe 379.
 Bildtelegraphie, -übertragung 518, 1017, 1018.
 — funkttelegraphische 1101.
 Bleimantel 400.
 Bleimuffen 412.
 Blindfaktor 109.
 Blindgrößen 108.
 Blindleistung 109.
 Blindleitwert 109.
 Blindspannung 109.
 Blindstrom 109.
 Blindwiderstand 108, 161.
 Blitz 81.
 Blitzableiter 506, 681, 1000.
 — Auffangvorrichtungen 1001.
 — Baustoffe 1002.
 — Erdleitung 1003.
 — Gebäudeleitungen 1002.
 — Prüfung 1004.
 — Verlegung 1003.
 Blitzbildung 81.

- Blitzgefahr 1000.
 Blitzschaden 1001.
 Blitzschläge, Arten 1000.
 — Zerstörungen 1001.
 Blitzschutz 1001.
 — Leitsätze des VDE 1004.
 Blitzschutzdraht 398.
 Blitzspannung 81.
 Braunsche Röhre 179.
 Brieftelegramme 551.
 Bronzedraht 379, 380.
 Bruchsicherheit 26, 436.
 Brücke, Wheatstonesche 145.
 Bruckenschaltung zum Gegensprechen 512.
B-Schränke s. Verbindungs-schränke.
 Buckingham u. Murray, Schnelltelegraph 504.
CCI 1119.
 Chiffriermaschine 504.
 Coulombsches Gesetz 47.
 Creedempfangslocher 485.
 Creedrelais 492.
 Creedsystem 496.
 Curbsender 515.
Dachständer 375.
 Dampfung 1015.
Dämpfungsexponent 114.
 Dämpfungskonstante 126.
 Dämpfungsmaß 358, 362.
 Dämpfungsverhältnis 126.
 Dauerzeichen 371.
 Dehnung 26.
 Deklination 47.
 Dekrement, logarithmisches 114, 126, 1023, 1050.
 Delany-Mehrfachtelegraph 504.
 Depolarisator 69.
 Detektoren 1051.
 Detektor, elektrolytischer 1053.
Dezibel 1119.
 Diagrammvektoren 107.
 Dichte 29.
 Dielektrizitätskonstante 48.
 — Messung 167.
 — e. unvollkommenen Isolators 168.
 Dienstleitungsbetrieb 659.
 Dienststellen, Verkehr 765.
 Dienstwähler 755.
 Differential- u. Bruckenschaltung, Vergleich 513.
 Differentialgalvanometer 133, 206, 207, 505.
 — Prüfung 134.
 Differentialrelais 511.
 Differentialschaltung 511.
 — für Gegensprechen 512.
 Dplex 510.
 Dissoziation, elektrolytische 67.
 Divergenz 9.
 Doppelschlußklinke 675.
 Doppel-Beverageantenne 1076.
 Doppelbrücke 513.
 — von Thomson 147.
 Doppelbrückenverstärker 572.
 Doppelgegensprechen 510, 513.
 Doppelgestange 389, 391, 393.
 Doppelglocke 377.
 Doppelgoniometer 1068.
 — Energiediagramm 1071.
 — Richtcharakteristik 1070, 1071.
 Doppelgoniometeranlage 1070.
 Doppelleitung für Telegraphie 507.
 Doppelleitungskabel, Abnahmemessungen 196.
 Doppelmetalldraht 380.
 Doppelsieb 122.
 Doppelsprechen 510, 513.
 Doppeltaste 494.
 Dosentelephon 628.
 Draht, isolierter, für Zimmerleitungen 417.
 — Kalibrierung 146.
 — seidenisolierter 418.
Drahtlehren 12.
 Drahtleitung, Herstellen 394.
 Drahttafel 2.
 Drängelampe 764.
 Dreheisen galvanometer 132.
 Drehfeldfernzeiger 969.
 Drehfeldmeßgeräte für Wechselstrom 174.
 Drehfestigkeit 27.
 Drehrelais 498.
 Drehschauzeichen 673.
 Drehschrauben in Telegraphenapparaten 490.
 Drehschrauben-Differentialgalvanometer 131.
 Drehschraubengalvanometer 130.
 — ballistisches 131.
 — mit Spiegelablesung 130.
 Drehschraubenrelais 493.
 Drehschraubenschnellschreiber 498.
 Drehschrauben-Zeiger galvanometer 133.
 Drehstromanlagen, Induktion 92.
 Drehstromformer im Telegraphenbetrieb 293.
 Drehung (AEF) 1115.
 Drehwähler 692.
 Dreiecksanlage, Braunsche 1076.
 Dreieralphabet 482.
Dreileiteranordnung v. Wechselstrombahnen 433.
 Drosselkette 122, 517.
 Drosselröhren 298.
 Drosselschauzeichen 672.
 Drosselwiderstände im Telegraphenbetrieb 292.
 Druckfestigkeit 26.
 Druckmesser, el. 974.
 Drucktasten 677.
 Drucktelegraphen, amerikanische 503.
 Dubilierkondensator 1033.
 Duplex 510.
 Duplexbetrieb 521.
 Duplexübertragung 509.
 Durchbruchfeldstärke in Gasen 55.
Durchflutung (AEF) 1113.
Durchgriff 322.
 Durchgangswiderstand fester Isolierstoffe 73.
 — von Isolierstoffen, Messung 151.
 Durchhang von isolierten Drähten 385.
 — der Leitung 382.
 — von Tragseilen 385.
 Durchhangstafeln 384.
 Durchschlagsfestigkeit, Flüssigkeiten 57.
 Durchschlagsspannung, feste Körper 58.
 — in Gasen 55.
 Dynamoblech, magn. Untersuchung mit Wechselstrom 188.
 Dynamomaschinen, Erregung 294.
 Dynamometer 135.
 — für Wechselstrommessung 171.
 — mech., z. Kabelauslegung 408.
Echo 583.
 Echoerscheinungen 365.
 Echosperrre 584.
 Edelgasgleichrichter 1047.
 Edelgasröhren 297.
 Eicheinrichtung f. Fernsprechvermittlungsstellen 213.
 Eichleitung 369.
Eigenfrequenz 114.
 Eigenpeilung 1086.
 Einankerumformer 296.
 Einbruchalarm 966.
 Einfach-Übertragung 508.
 Einfachbetrieb, telegr., Schaltungen 507.
 Einfachgoniometer 1066.
 Einheitsapparat, telegr. 478.
 Einheitszeichen 13, 1108.
 — des AEF 1108.
 Einkreisschaltung 313.
 Einmannapparat, telegr. 478.
 Einröhrenzwischenverstärker 568.
 Einschwingvorgänge 529, 581.
 Einspulen-Relais 678.
 Einzelanrufer 506.
 Eisenbahn-Signalwesen 927.
 Eisenbahntelegographie 927.
 — Batterien 929.
 — Blockapparate 940.
 — Blockeinrichtungen 937.
 — Blockfeld 943.
 — Blockschieber 942.
 — Drahtleitungen 928.
 — Fahrgeschwindigkeit, Überwachung 933 u. f.
 — Fahrsperrren, selbsttätige 954.
 — Gleistafeln 955.
 — Grundlagen für die Ausrüstung 927.
 — Impedanzverbinder 953.
 — Kraftstellwerk, el. 947.
 — Kreisschlüsse 929.
 — Läuteleitungen 930.
 — Läutewerke mit Kraftbetrieb 932.

- Eisenbahntelegraphie, Lauterwerke, selbsttätige 931.
 — Lichtsignale 955.
 — Morseleitungen 928.
 — Schienendurchbiegungs-Kontakt 935.
 — Schienenstromschließer 935.
 — Signalanlagen, selbsttätige 951.
 — Signalantrieb 950.
 — Signal-Fahrstraßenschalter 949.
 — Signalfeld 943.
 — Spiegelfeld 946.
 — Stationsblockung 940.
 — Stellwerk, el. 947.
 — Streckenblock 944.
 — Streckenfernsprecher 933.
 — Stromstärke 929.
 — Überwachung der Fahrgeschwindigkeit 933 u. f.
 — Uhren, el. 945.
 — Umfang der Einrichtungen 927.
 — Wechselstromblocksystem 942.
 — Wechselstromrelais 954.
 — Weichenantrieb 949.
 — Weichenschalter 948.
 — Zählwecker 947.
 — Zeitsignalgeber 944.
 — Zugmeldedienst 930.
 Eisenbetonmasten 375.
 Eisendraht, verzinkter 379.
 Eisendrähte, Querschnitt u. Gewicht 1.
 Eisengittermasten 375.
 Eisenhaltige Apparate und Leitungen, Eigenschaften 231.
 Eisenmast 438.
 Eisenstangen 374.
 Eisenuntersuchung 184.
 Elastizitätsgrenze 26.
 Elastizitätsmaß 26.
 Elektrizitätsmenge, Einheit 47.
 — Messung 160, 161.
 Elektrizitätswerk - Nachrichtendienst 926.
 Elektrizitätswerk - Telephonie 922.
 — Ankopplung 923.
 — Anruf 924.
 — Betriebsaufgaben 922.
 — Dämpfung 923.
 — Schaltschema 924; Abb. 1281.
 — Sicherheit 925.
 — technische Ausführung 925.
 — Überbrückung 924.
 Elektroden, umkehrbare 70.
 Elektrodenpotentiale 72.
 Elektrodynamometer 135.
 Elektrokalorimeter 136.
 Elektrolyte 66.
 — Leitfähigkeit 66.
 — Vergleichsflüssigkeiten 148.
 — Widerstandsmessung 147.
 Elektromagnete, Empfindlichkeit 488.
 Elektrometer 137.
 — direkt zeigende 138.
 — für sehr hohe Spannungen 139.
 — zu Spannungs- u. Leistungsmessungen 173.
 Elektromotorische Kraft 60.
 — — (AEF) 1111.
 — — Berechnung 71.
 — — Messung 264, 265.
 Elektronenausbeute 321.
 Elektronenrohre 76, 251, 320, 337; s. a. Röhren.
 — Audiogleichrichterkurve 348.
 — Aufnahme der Kennlinien 251.
 — — der Potentialverteilung 254.
 — Aufschaukelgeschwindigkeit 342.
 — Colpitts-Schaltung 326.
 — Dreipunkt-Schaltung 326.
 — Durchgriff 322.
 — — Messung 257.
 — Einstellung des Heizstromes 252.
 — mit 3 Elektroden 78.
 — Empfänger 326.
 — Fadentemperatur 253.
 — Folgen 341.
 — Frequenzbereich 324.
 — Gasfreiheit der Elektroden 254.
 — Gasgehalt 254.
 — als Generator, Schwingungsamplituden 339.
 — mit Gitter 334.
 — ohne Gitter, Kennlinien 327.
 — Gitterschwinglinien, Diagramm 345.
 — Gitterstrom 322, 344.
 — als Gleichrichter 77, 323.
 — Gleichrichterschaltungen 347.
 — Gleichrichtung 347.
 — Gleichstromrückkopplung 259.
 — Glühkathoden 320.
 — Heizspannung 322, 331.
 — Heizstrommagnetfeld 334.
 — Huth-Köhnsche Schaltung 326.
 — Isolationsprüfung 255.
 — Kapazität 256.
 — Kennlinien 327.
 — — Stellheit 322.
 — Konstanten 321.
 — Leistungslinien 344.
 — Leuchterscheinungen 255.
 — Mehrgitterröhren 323.
 — Phasenverschiebung durch Gitterströme 345.
 — Potentialminimum 321, 333.
 — Raumladecharakteristik 321.
 — mit Raumladungsgitter 337.
 — Reißdiagramm 342.
 — Reißen 341.
 — Röhrengenerator 325.
 — Röhrengleichung 323.
 Elektronenrohre, Rohrgute 323.
 — Sättigungsstrom 321.
 — Schwinglinie 338.
 — — Konstruktion aus der Charakteristik 340.
 — Schwinglinienschar, Konstruktion 341.
 — Schwingungseinsatz 341.
 — Schwingungsgenerator 338.
 — Sekundärelektronen 253, 322, 336.
 — — v. Gitter ausgehend 337.
 — Selbstregung u. deren Verhinderung 325.
 — mit Spinalgitter, el. Feld 254.
 — Springen 341.
 — Stufenschaltung 325.
 — Thoreffektabnahme 255.
 — Überlagerung 327.
 — ungleichmäßige Temperatur 328, 330.
 — Verlauf des Potentials 333.
 — Verstärker 324.
 — Verteilung des Elektronenstromes 335.
 — — des Emissionsstromes 334.
 — Verteilungskurven 253.
 — Wirkungsgrad 344.
 — Wirkungsweise 320.
 Elemente, galv. s. Primärelemente u. Sammler.
 Empfangen, funktlegr., gerichtetes 1064.
 Empfänger, funktlegr. 1018, 1050.
 — — Antennenkreis 1050.
 — — Fritterschaltung 1051.
 — — Hörempfang 1056.
 — — Schaltrelais 1057.
 — — Schreibempfang 1056.
 — — Schwingungsschaltung 1058.
 — — Stromstärke 1050.
 — — Verkürzungskondensator 1050.
 — — Verlängerungskondensator 1050.
 — — Zwischenkreise 1051.
 — telegraphische 482.
 Empfängeranlagen, funktlegr. 1059.
 — — Anrufeinrichtungen 1060.
 — — Gegensprechen mit e. Antenne 1062.
 — — gemeinsame Antenne 1063.
 — — getrennte Antennen 1061.
 — — Umschaltverfahren 1061.
 Empfangsspannung, funktlegr. 245.
 — — Messung 245.
 Empfangsstrom, funktlegr. 245, 1011.
 — — Messung 245.
 Energieumsatz des el. Stromes 60.
 Energieverlust, dielektrischer 49.

- Englisches Gewicht u. Maß 17.
 Entladungspulen 424.
 Entladungspunkte 1000.
 Entmagnetisieren von Eisenproben 190.
 Entmagnetisierungsfaktor 42.
 Entstaubungsanlagen 834.
 Entwicklungsmöglichkeiten der Telegraphie 479.
 Entzerrung 581.
 Erdantenne 1076.
 Erdelektroden, Übergangswiderstand 61.
 Erdfehler in Kabeln 200.
 Erdkabel, Legen 405.
 — Rückleitungswiderstand 97.
 Erdleitungen, Messung 204.
 Erdmagnetismus 47.
 Erdpotentiale, Erzeugung 421.
 Erdschluß in der Hochspannungsltg. 426.
 Erdschlußspulen 427.
 Erdseile als Schutz für F. M.-Ltg. 424.
 Erdstrom, Einfluß bei Widerstandsmessungen 193.
 Erdstromschaltungen 509.
 Erdtelegraphie 510.
 Erdung 1023.
 Erdungsbügel 443.
 Erdungspulen 424.
 Erdwiderstand 1023.
 Erweichungsgebilde 533.
 Eulersche Formeln 27.
- Fahrdraht, Gefährzone 421.**
 — positiv 421.
 Fallklappe 657, 671, 985.
 Faradaysches Gesetz 67.
 Farbschreiber, polarisierter 494.
 Faserstoffisolierung 399.
 Fehler in Leitungen, Ortsbestimmung 197.
 Fehlersuchgerät 217.
 Feinkondensator, Eichung 256.
- Feld, elektrisches 47.**
 — — Gesamtenergie 54.
 — elektromagnetisches, Energiebeziehungen 100.
 — — (AEF) 1113.
 — — elektromagnetische Wellen 101.
 — — Energiestrom 101.
 — — lineare Ströme 100.
 — — magn. Energie 84.
 — — mechanische Kräfte 100.
 — elektrostatisches 48.
 — magnetisches 36, 83.
 — — Kreisstrom 83.
 — — langer, gerader Draht 83.
 — — d. linearen Leiters 82.
 — — Ringsolenoid, geschlossenes 83.
 — — Solenoid, geradliniges 83.
 — — Stärke 37.
 — — des el. Stromes 82.
- Felder, rasch veränderliche 88.
 Feldstärke, elektrische 47.
 — — eingeprägte 59.
 — — magn., hohe, Messung 187.
 — — Messung 183.
 — — eines Senders 244.
 Feldstärkemessungen 244.
 Fernamt 565, 767, 858.
 — Fordereinrichtungen 565.
 — Wähler 796.
 Fernamtstrennung (SA) 784.
 Fernamtsverbindung (SA) 782.
 Fernamtsverkehr 788.
 — mit SA-Amtern 787.
 — nach SA-Teilnehmern 767, 788.
 — des Schnellverkehrsamtes 789.
 — über Tastenplätze 788.
 — SA zur Nachtzeit 788.
 — zwischen benachbarten FNG 793.
 Ferndrucker 504.
 Ferndruckeralphabet 481.
 Ferngespräch SA 775
 Ferngespräche, Aufzeichnung 870.
 Fernhörer, Eigenschaften 629.
 Fernkabel, Querschnitt 450.
 — für Sprechverkehr 449.
 Fernleitungen 866.
 Fernleitungskabel, pupinierte 448.
 Fernmeldeapparate, el. 965.
 Fernmeldeleitung, Beeinflussung durch Drehstromanlagen 425, 434.
 — — durch Gleichrichterbahnen 435.
 — — durch Starkstromanlagen 419.
 — — durch Wechselstrombahnen 422, 426.
 — Gefährdung 92, 420.
 — Kreuzung mit Fahrdraht 441, 444.
 — — u. Näherung in Gebäuden 442, 444.
 — — mit oberirdischen Hochspannungsleitungen 436.
 — mittelbare Gefährdung 442.
 — Neubau, Schutzmaßnahmen 443.
 — oberirdische Kreuzung mit oberirdischen Leitungen 441.
 — — mit oberirdischen Hochspannungsltg. 443.
 — — mit oberirdischen Niederspannungsltg. 443.
 — — Näherungen mit oberirdischen Starkstromleitungen 441.
 — Schutz gegen Berührung m. Starkstromanlagen 435.
 — — durch geerdete Langsdrahte 444.
 — — beim Neubau von Starkstromanlagen 436.
 — — gegen Starkstromanlagen 435.
- Fernmeldeleitung, Schutzschaltungen 430.**
 — — Induktionsschutz für Fernsprechtgn. 445.
 — — für Telegraphenleitungen 446.
 — Störung durch andere Fernmeldetgn. 445.
 — — Starke der Störungen 445.
 — — Maßnahmen dagegen 426.
 — Verkabeln 92, 440, 443.
 Fernmeldeleinie, Ausbau 443.
 Fernmelder für Werften 968.
 — für Schiffe 968.
 Fernmeßapparate, el. 965.
 Fernschrank 647, 651, 652.
 — Arbeitsplatz 648.
 — Durchgangsverkehr 647.
 — Fernverbindung 647.
 — Klinkenfeld 648.
 — Meldeverfahren 647.
 — 25: 768, 769.
 Fernsprechamt 833.
 — bauliche Anforderungen 836.
 — Betrieb 871.
 — Betriebsüberwachung 874.
 — Einrichtung 832.
 — Fernamt 857.
 — Gebäude 833.
 — Meldeamt 857.
 — Nebenräume 840.
 — Platzbesetzung 874.
 — Zahl u. Größe d. Räume 835 u. Abb. 1197.
 Fernsprechanlagen, private 900.
 Fernsprechapparate 627.
 Fernsprechbetrieb, Verfahren 875.
 — — im Fernbetrieb 876.
 — — im Ortsamt 875.
 Fernsprechbetriebsweisen
 Handämter 560, 655.
 Selbstanschluß 556, 561, 682.
 halb selbsttätig 565.
 Sprechstellen 559, 889.
 Fernsprecher 627, 900.
 — direkte Schaltung 900.
 — Dreieckschaltung 903.
 — Hausanlagen 902.
 — Korrespondenzanlage 902.
 — Linienwähler 900.
 — Übertragungschaltung 900.
 Fernsprechgebühren 869.
 Fernsprechgehäuse 889.
 — Bauart 889.
 — Kassiovorrichtung 897, 898.
 — Münzfernsprecher 896, 898.
 — Nummerschalter 890.
 — mit Rückfrageeinrichtung 893.
 — Schaltung 891.
 — Streckenfernsprecher 899.
 — Wählscheibe 890.
 Fernsprech-induktionsspulen 635.
 Fernsprechkabel für Anschlußleitungen 402.
 — für Fernleitungen 402.

- Fernsprechkabel** mit Luftisolation, Eigenschaften 367.
Fernsprechleitungen, Ausnutzung 907.
 — — für Telegraphie 477.
 — Mitbenutzung durch d. Telegraphie 477.
 — Störungen 92.
Fernsprechnebenstellen 559, 878.
 — Amtsverkehr 879, 887, 889.
 — Anschlußdosenanlagen 894.
 — Auswahl e. Amtsltg. 888.
 — Bauart 889.
 — Fernsprechgehäuse 889.
 — Glühlampenschrank ZB 20 882.
 — Kassivorrichtung 898.
 — Nummernschalter 890.
 — Reihenanlagen 884, 886.
 — Reihen-Tischgehäuse 885.
 — SA 887.
 — Schrankanlage 881.
 — Stromversorgung 879, 880, 882.
 — Vermittlungsarten 887.
 — Wahlscheibe 890.
Fernsprechnet 553.
 — mit gemischtem Betrieb 751.
 — mit mehreren SA-Ämtern 746.
Fernsprechnetgruppen 790.
Fernsprechschaltschränke 637 s. Teilnehmerschränke und Verbindungsschränke.
Fernsprechnellverkehr 807; s. a. Schnellverkehr.
 — Gründe für die Einführung 808.
 — Grundzüge 807.
 — Schnellverkehrsamter 810 — Betrieb 810.
Fernsprechtechnik, Einstell- u. Sprechwege getrennt 564.
 — Grundfragen 553.
Fernsprechübertragung, Einheit (CCI) 1149.
Fernsprechumschalter, Aufstellung 841, 845, 846, 849.
Fernsprechverkehr, Bewertung 873.
 — Ermittlung 872.
 — Verlauf u. Umfang 871.
Fernsprechverstärker, Fernsprechverstärkeramt usw. Verstärker, Verstärkeramt usw.
Fernsprechwesen 553.
 — Apparatbau 554.
 — Betriebssicherheit 557.
 — Betriebstechnik 555.
 — Entwicklung, neuzeitliche 556.
 — Fernverkehr 556.
 — Handamter 560.
 — Kabelanlagen 557.
 — Knotenämter 558.
 — Leitungsbau 554.
 — Nebenstellen 559.
 — Netze 557.
 — — Planung 558.
- Fernsprechwesen**, Schaltungstechnik 555.
 — Selbstanschluß 556.
 — Sprechstellen 559.
 — Wirtschaftlichkeit 554.
Fernverbindung 877.
Fernverkehr 554.
 — Gebühren 870.
 — über Wähler 776.
Fernvermittlungsplatz für SA-Ämter 770.
Fernvermittlungsschrank 645.
Fernverkehr 793.
Fernwirkung, magnetische 35.
Fernzeiger für Umdrehungsgeschwindigkeiten 971.
Festigkeit 26.
 — zusammengesetzte 29.
Festigkeitsgrenze 26.
Festigkeitszahlen 28.
Feuermelder 963.
Feuertelegraphie 956.
 — Alarmeinrichtungen 961.
 — Blitzschutz 958.
 — Empfangseinrichtungen 958.
 — Feuermelder 956.
 — Kontrollvorrichtungen 957.
 — Leitungsnetz 957.
 — Schmelzsicherung 958.
 — Sicherheitseinrichtungen 957.
 — Sicherheitsschaltung 959.
 — Stromquellen 957.
Filter 122.
Flügelankerrelais 492.
Flugzeugpeilung 1086.
Fluß e. Vektors (AEF) 1113.
Flußkabel, Auslegen 406.
Flußkabelmuffen 407.
Formeln:
 Anker einer Telegraphenstange 388.
 Antenne, Eigenschwingung 1027.
 — Empfangsstrom 1011.
 — Feldstärke 244, 250
 — Kapazität 1025.
 — Leistung 1009.
 — Richtcharakteristik 1065, 1065.
 — Selbstinduktivität 1027.
 — Strahlungswiderstand 1010, 1023, 1024, 1025.
Apparate u. Leitungen, Eigenschaften 231.
Äquivalent-Leitvermögen 67.
Ausgleichsvorgänge 114, 115, 116, 117, 119.
Belastung des Doppelgestänges 389.
 — einer Telegraphenstange 386.
 — eines Spitzbocks 389.
 — zusammengesetzte einer Telegraphenstange 387.
Biegebeanspruchung 27.
Braunsteinelement, chem. Vorgang 272, 273.
Brechung der magnetischen Linie 45.
- Formeln:**
 Charakteristik des Lichtbogens 80.
Dampfung auf Leitungen 229.
 — der Wellen 1015, 1016, 1023.
Dampfungskonstante eines Galvanometers 126.
Dampfungsmaß e. Leitung 358.
 — e. belasteten Leitung 364.
Dämpfungsverhältnis 126.
Dekrement, logar. 114, 126.
Doppelleitungen, Induktivität 82.
Draht, gerader, magn. Feld 83.
Drahtkreis, Induktivität 84.
Drahtzug in Winkelpunkten einer Freileitung 388.
Drehfestigkeit 27.
Durchhang einer Freileitung 382, 383, 384.
Durchschlagsfestigkeit von Öl 57.
Einstellzeit eines Galvanometers 126.
Eisenverluste 45, 188.
Elektronenrohre, Leistung 344.
Elektronenstrom 77, 321, 328.
EMK (elektrochem.), Berechnung 71.
 — u. Klemmenspannung 265.
 — des Dynamoankers 90.
 — im linearen Leiter 90, 91.
 — d. Normalelemente 141.
Energie im elektromagn. Feld 100.
Energiestrom im elektromagn. Feld 101.
Energieumsatz des Stromes 60.
Energieverlust, elektrischer 49.
Erdelektroden, Übergangswiderstand 61.
Fahrstrom 428.
Fehlerort in Leitungen 197.
Feldgrößen, elektrost. 48.
Feldstärke e. Senders 244.
Fortpflanzungskonstante einer Leitung 232.
Fouriersche Reihen 106.
Funkenwiderstand einfacher Entladungen 81.
Gegeninduktivität 88, 426.
Gegeninduktivität zwischen Starkstrom-u. Fernmeldeleitungen 91.
Gegenkapazität 422.
Gesamtenergie d. el. Feldes 54.
Geschwindigkeit eines elekt. Stoßes auf e. Leitung 358.
Gesetz von Biot-Savart 82.
 — — Coulomb 47.
 — — Faraday 67.
 — — Faraday-Maxwell 89.
 — — Hooke 26.
 — — Joule 65.

Formeln

Gesetz von Kohlrausch 67.
 — — Lenz 92.
 — — Ohm 59, 60.
 — — b. Wechselstr. 108.
 — — — für den magn. Kreis 84.
 Glimmentladung 78.
 Glimmverluste 79.
 Hartegrad 149.
 Heavisidesche Regel 117.
 Hystereseverlust 44, 45.
 — nach Steinmetz 44.
 Induktivitäts-Selbstinduktivität.
 — eines Fernsprechkabels 367.
 Ionenwanderung 67.
 Isolationswiderstand eines Telegraphenkabels 366.
 Isolierwiderstand bei Wechselstrom 76.
 Kapazität 51.
 — einer Fernsprechdoppelleitung 367.
 — eines Sammlers, abhängig von der Zeit 268.
 — eines Telegraphenkabels 366.
 — einer Telegraphenleitung 365, 366.
 Kettenleiter 121, 122, 123, 368, 369.
 Kirchhoffsche Sätze 60.
 Knickfestigkeit 27.
 Komplexe Rechnung 109.
 Kopplungsfaktor 1008.
 Korona 78.
 Kräfte, mechan., elektr Ursprungs 54.
 Kräfteparallelogramm 24.
 Kraftlinienfluß 46.
 Krüppwicklung 99.
 Kreisstrom, magn. Feld 83.
 Kurven, dargestellt durch Fouriersche Reihen 106.
 Ladenspannung einer Leitung 423.
 Ladestrom einer Leitung 423.
 Langenmaß einer Leitung 358.
 Leistungsmessung b. Wechselstrom, Berichtigung 162, 169.
 Leitfähigkeit d. Kupfers 191.
 Leitungen, homogene Eigenschaften 232.
 — Strom- und Spannungsverteilung 118.
 Leitungseigenschaften 361, 362, 363.
 Leitvermögen, elektrolyt., Vergleichsflüssigktn. 148.
 Magnet. Tragkraft 34.
 Magnet. Energie 84.
 — Grundgrößen 37.
 — Kreis 46, 82.
 — Spannung 83.
 — Umlaufspannung 82.
 Mechan. Kräfte im elektromagn. Feld 100.
 Nebenschlüsse für ein Galvanometer 156.

Formeln:

Nomograph. Formeln 19.
 Potentialverlauf in Elektronenröhren 333.
 Quadrantenelektrometer, Ablenkung 138
 Richardsonsche Gleichung 77.
 Ruckkopplungsfaktor 340, 342, 343, 347.
 Sammler (Blei-), chem. Vorgang 274.
 — (alkal.), chem. Vorgang 283.
 Schaltung von Kondensatoren 51.
 — — Widerständen 61.
 Schwingungsdauer 47.
 — e. Galvanometers 126.
 Schwingungsgalvanometer 183.
 Schwingungskreis, Vorgänge 1006, 1008.
 Selbstinduktivität 84, 85, 86, 87.
 Solenoid, magn. Feld 83.
 Spule, Induktivität 85, 86, 87.
 Stangenabstand in Krümmungen 388.
 Streben einer Telegraphenstange 388.
 Streuziffer, magn. 84.
 Strom, wahrer, u. Verschiebungsstrom 88.
 Stromstoß, Verlauf 358, 359.
 Telegraphen-Doppelleitgn., Eigenschaften 366.
 Telegraphengleichung 357.
 Telegraphiergeschwindigkeit 371, 469, 473.
 Telegraphierstrom, Form 370.
 Telephone, Gutekonstante u. Wirkungsgrad 617.
 Temperaturverteilung in d. Elektronenröhre 328, 330.
 Überführungszahlen 67.
 Überschlagnspannung bei Kugelfunkenstrecken 56.
 Vektorrechnung 9, 10, 11, 12, 13.
 Verschiebung, dielekt. 48.
 Verstärkungszahl e. Elektronenröhre 323.
 Vierpol, allgemeiner 360.
 Wanderwellen 119.
 Wechselstrom, allgemeiner, Gleichungen 110.
 — Beharrungszustand 118.
 — Gleichungen f. Einzelfälle 111, 112, 113, 114.
 — beliebiger Form 104.
 — harmonische Komponenten 105.
 — sinusförmiger 104.
 Wechselstromkurven, Zerlegung 180.
 Wechselstromleitung, Eigenschaften 233.
 — Wellenwiderstand einer Leitung 232.
 Widerstand ausgedehnter Leiter 61.

Formeln.

Widerstand der Erdrückleitung 97.
 — — Seerrückleitung 97.
 — eines Kabelleiters 402.
 Winddruck auf Freileitungen 387.
 Wirbelströme in Ankerstaben 93.
 — in Blechen 93.
 — in geradem Draht 95.
 — in Spulen 95.
 Wirkwiderstand 98.
 Formelzeichen 13.
 — des AEF 1109.
 Formsignal 955.
 Frankeche Maschine 176.
 Freileitungen, isolierte 380.
 — umhüllte 380.
 Freileitungsbau 371.
 — Benennungen 371.
 Freileitungsdraht, umhüllter 419.
 Fremdpeilung 1086.
 Frequenz 104.
 — Konstanthaltung 1032.
 — Verdopplung 1043.
 — Verdreifachung 1043.
 — Vervielfachung 1043.
 — Vielfachung 351, 352.
 Frequenzband 531.
 Frequenzbereich, Telegraphie, Beschränkung 468.
 Frequenzbrücke 225.
 Frequenzfilter 917.
 Frequenzmesser 177.
 Frequenzmessung 224.
 Frequenzschwankungen infolge Ziehens 263.
 Frequenzspektrum 529.
 Frequenzsteigerung 1041.
 Frequenzwandler 351.
 — Konstruktion 353.
 Fritter 1051.
 Funkalphabet 481.
 Funkbriefe 552.
 Funkempfänger 1012.
 Funken 80.
 — Widerstand 82.
 Funkenloschung 709, 727.
 Funkenschutz 509.
 Funkenstrecke 312.
 — rotierende 314, 315.
 Funkenwiderstand 81.
 Funkortung 1086.
 Funkpeilen 1078.
 Funksender 1012.
 — gekoppelter 309.
 Funktelephonie, Aufnahme-raum 1095.
 — Empfang 1100.
 — — Antennenanlage 1101.
 — — mit Kristalldetektor 1100.
 — — mit Rohrempfänger 1100.
 — — Verstärkung 1100.
 — — Wiedergabeapparate 1101.
 — Grundlagen 1091.
 — mit Schiffen 1101.
 Funkwesens 1005.
 — Grundlagen, physikalische 1005.

- Gabelumschalter** 636.
Galvanometer 126.
 — Arten 126.
 — ballistisches, Eichung 160.
 — von du Bois u. Rubens 128.
 — Dämpfung 126.
 — Einstellungszeit 126.
 — Empfindlichkeit 127.
 — Schwingungsdauer 126.
 — Spannungsempfindlichkeit 127.
 — Stromempfindlichkeit 127.
 — von Thomson 128.
 — Wahl 134.
Galvanometerkonstante, dynamische 127.
Galvanoskop 505.
Gasthoftelegraphen 979, 983, 984; s. a. **Haustelegraphen**.
Gebaude-Blitzableiter 1000.
Gebühren, Einziehung 870.
Gefährdung 54, 92, 419.
 — mittelbare der Fernmeldeleitungen 444.
Gefahrzonen 421.
Gegeninduktivität 84, 426.
 — Formeln 88, 426,
 — zwischen Leitungen 91.
 — Messung 164.
 — Vergleich mit Kapazität 165.
Gegeninduktivitäten, Vergleich 164.
Gegenkapazität 53, 422.
 — von Wechselstrombahnen 423.
Gegenebensprechen 454.
Gegenspannungsdraht 424.
Gegensprechen 510.
 — funktelgr. 1061.
 — telegraphisch 467.
Gegentaktschaltung 1059.
Geh-Steh-Apparate, s. **Springapparate**.
Gehörgangtelefon 628.
Generator, rückgekoppelter 260.
Geräuschdämpfung 303, 304.
Gerichtete Funktelegraphie 1064.
Gesetz von Biot-Savart 82.
 — von Coulomb 47.
 — von Faraday 67.
 — von Faraday-Maxwell 89.
 — von Kohlrausch 67.
 — von Lenz 92.
 — Ohmsches 59.
Gesetze von Kirchhoff 60.
Gesprächszählerschaltg. 869.
Gesprächszählung 670, 724.
 — selbsttätige 870.
Gesprächszeitmesser 811.
Gestänge, erhöhte Standfestigkeit 393.
 — Herstellen 394.
 — Verstärken 391.
Gestelle in Verteilerräumen, Anordnung 859.
Gewicht von Eisen- und Kupferdrähten 1.
Gittermodulation 1096.
Gitterschauzeichen 672.
Glasplattenkondensator 1033.
Gleichlauf der Telegraphenapparate 485.
Gleichrichter für Anodenspannung 1047.
 — Schaltung, funktelgr. 1058.
Gleichrichtung durch Elektronenröhren 259.
Gleichstrom, Anruf 655.
 — überlagert dem Sprechstrom 692, 727.
Gleichstromlichtbogen, Charakteristik 80.
Gleichstrommaschinen im Telegraphenbetrieb 293.
Gleichstromrückkopplung 259.
Gleistrennung 432.
Glimmentladung 78.
 — in verdünnten Gasen 79.
Glimmlichtoszillograph 179.
Glimmverluste 79.
Glühlampen als Schauzeichen 673.
Glühlampendetektor 1054.
Goldblatt-Elektroskop 139.
Golddrahtrelais 497.
Goldschmidt-Maschine 1041.
Goniometer 1066.
 — ideales 1082.
Gradient 9.
Grenzfrequenz 364.
Großen, kleine, Näherungsformeln 7.
 — komplexe, Umwandlung 4.
Großstation, funktelgr., Wirtschaftlichkeit 1032.
 — — Empfangsanlage 1060.
Gruppenverbindungen SA 743.
Gulstadrelais 492.
Gulstadschaltung 516.
Gummidraht 418.
Gummiisolierter Freileitungsdraht 419.
Gummikabel 419.
Gutegrad der Nachbildung 573.
Guttapercha 399.
Haardraht 64.
Hackethal-Draht 380.
Haken-Umschalter 636.
Handapparat 628, 632.
Handsender 493.
Handvermittlungssämer, Schaltungen 655.
Hartkupferdraht 379.
Hauptlagen, magn. 35.
Hauptverteiler 859, 862.
Hausleiterkabel 419.
Hausignalschaltungen 984.
Haustelegraph 979.
 — Gebeapparate 979.
 — Glühlampenruftafel 982.
 — Herstellung der Leitungen 986.
 — Hupen 981.
 — Kontaktknopf 979.
 — Ruftafeln 982.
 — Signalapparate 980.
 — Türkontakte 980.
Hautwirkung, doppelseitige 93.
Hautwirkung, einseitige 94, 96.
Heavisidesche Regel 117.
Heb-Drehwähler 694.
Heberschreiber 497.
Heurtleyverstärker 497.
Hilfsapparate, telegraphische 505.
Hilfsbrücke 167.
Hilfsmittel, allgemeine 1.
Hilfstromschaltung 516.
Hilfszündung (bei Löschfunken) 313.
Hitzdrahtapparate für Wechselstrommessungen 174.
Hitzdrahtinstrumente 136.
Hitzdrahtrelais 595.
Hochfrequenter Wechselstrom 309.
Hochfrequenzmaschinen 349.
 — von Alexanderson 350.
 — ausgeführte 350.
 — nach Gleichpoltyp 350.
 — von Goldschmidt 350.
 — der Soc. Franç. Radio-El. 351.
Hochfrequenzmaschinen-sender 1040.
Hochfrequenzumformer, Umlaufreglung 353.
Hochspannungskreis, Meßschaltung 175.
Hochvakuumröhre als Wechselstromgenerator 162.
Holzstangen 372.
 — Pflege 374.
 — Tragfähigkeit 372.
 — Tränkung 372, 373, 374.
 — Zubereitung 372.
Hookesches Gesetz 26.
Horizontalantenne 1076.
Horizontalstärke, erdmagnetische, Bestimmung 182.
Hughesapparat 485, 508.
Hughesbremse 485.
Hughesmagnet 492.
Hughessystem 498.
Hugheszeichen 481.
Hysterese 38.
 —, Untersuchung 190.
Hystereseschleife 37, 184.
Hystereseverlust 44.
Impedanz 110.
Induktanzrollen 506.
Induktion, magnetische 37.
 — unipolare 90.
Induktionsfluß (AEF) 1113.
Induktionsgesetz 89.
Induktionsröhre 37.
Induktionsschutz für Fernsprechleitungen 445.
 — für Kabel 447.
 — für Telegraphenleitungen 446.
Induktionsspulen 635.
Induktionsstörungen in Fernkabeln, Beseitigung 453.
Induktivität, Messung 162.
 — s. **Selbstinduktivität** 84.
Induktor 634.
Influenz 423.
Inklination 47.
Innenkabel mit Bleimantel 419.

- Innenkabel ohne Bleimantel** 418.
Interferenzempfang 1056.
Ionenbeweglichkeit 67, 68.
Irrströme 421, 422.
Isolationsmessungen, Schutzring 191.
Isolationswiderstand, Temperatureinfluß 75.
Isolatoren 376.
 — Prüfung 377.
 — Widerstand 377.
Isolierfähigkeit von Lack 152.
Isolierrolle 57.
Isolierrohre, Prüfung 152.
Isolierstoffe, Leitfähigkeit 72.
 — Prüfvorschriften des VDE 148.
 — Untersuchung 148.
 — feste, Durchgangswiderstand 151.
Isolierter Draht 441, 444.
Isolierwiderstand für Wechselstrom 76.
- Joubertsche Scheibe** 178.
Joules Gesetz 65.
- Kabel, Abschluß** 414.
 — äußerer Schutz 400.
 — mit doppeltem Bleimantel 422.
 — u. Drähte f. Fernschränke 868.
 — für Einführung 403.
 — Isolation 399.
 — Kreuzungen u. Näherungen 444.
 — Messung des Isolationswiderstandes 193.
 — Messung d. Kapazität 194.
 — des Leitungswiderstandes 192.
 — Prüfung während der Fabrikation u. Verlegung 191.
 — während der Legung 192.
 — Scheinwiderstand 461.
 — Seerückleitung 474.
 — mit Selbstinduktivität 448.
 — Spleißung 413.
 — Verbindung mit oberirdischen Leitungen 416.
 — Verseilung 400.
Kabelalphabet 481.
Kabelarten 399.
Kabelaufteilung 833.
Kabelauslegmaschine 408.
Kabelberechnung 400.
Kabelbewehrung 400.
Kabelbrunnen 410.
Kabelbriefe 552.
Kabeldämpfer 407.
Kabeleigenschaften, Frequenzabhängigkeit 474.
Kabelendverschluß 414.
Kabelendverzweiger 415.
Kabelfabriken 403.
Kabelhalter 407.
Kabelkanal 399, 409.
Kabellage i. Vielfachumschalter 654.
- Kabellegung** 454.
Kabelleiter 399.
Kabellinienbau 404.
Kabelmantel 400.
 — Schutzwirkung bei Induktion 430.
 — Zerstörung 421.
Kabelmuffen 412.
Kabelnetz, Verteilung 404.
Kabelschaltungen, telegr. 514.
Kabelseele 400.
Kabelsuchgeräte 217.
Kabeltemperatur, Messung 195.
Kabelverzweiger 414, 416, 417.
Kabelwinde 411.
Kafob-Apparat 209.
Kaliumröhren 298.
Kanäle für Kabel 409.
Kapazität 50.
 — Ermittlung aus der Ladezeit 167.
 — von Kabeln 52.
 — der Leitungen 51.
 — Messung mit Wechselstrom 167.
 — in der Wheatstoneschen Brücke 166.
 — oberirdischer Doppelleitungen 52.
 — von Spulen, Messung 167.
Kapazitäten, Vergleich 165.
 — Werte 51.
Kapillarelektrometer 139.
Kassierorientierung 897.
Kathodophon 1093.
Kennlinien der Elektronenröhren 327.
Kettenleiter 121.
 — Dämpfung eines Gliedes 123.
 — Eigenschaften 368.
 — für Gleichrichter 1048.
Kirchhoffsche Sätze 60.
Kleinschmidtsystem 504.
Klinken 637, 674.
Klinkenschalter 505.
Klinkenstreifen 674.
Klopfer, neutraler 495.
 — polarisierter 495.
Knallgeräusche 92.
Knickfestigkeit 27.
Kniehebelschalter 677.
Knotenamt 553, 558.
Koerztivkraft 38.
 — Bestimmung 182.
Koharer 1051.
Kohlenkörner-Mikrophon 630.
Kohlenkugel-Mikrophon 630.
Kommandotelephon 631.
Kommutierungskurve, magn. 188.
Kompaßfernübertragung 970.
Kompensationsapparate, zur Strom- u. Spannungsmessung 158.
Kompensationseinrichtungen technische 159.
Kompensationsmethode von Pogendorf (EMK) 265.
 — für Wechselspannungen 175.
- Kompensator, komplexer** 176.
Kompensatorempfang, funktelegr. 1076.
Komplexe Rechnung 109.
Kondensator 51, 637.
Kondensatorabgleich im Kabel 455.
Kondensatoren 506, 1033.
 — f. d. Abstimmkreise 1033.
 — Schaltungsweisen 51.
Kondensatorleitung 122.
Kontaktdruck 489.
Kontrollampen 638.
Koordinaten, rechtsläufige, orthogonale 11.
Koordinatensystem, links- u. rechtswendiges (AEF) 1115.
Kopftelephon 628.
Kopplung 1007.
 — elektrische 419, 422.
 — feste 1007.
 — galvanische 419, 1007.
 — gemischte 1007, 1008.
 — induktive 310, 1007.
 — kapazitive 1008.
 — lose 1007.
 — magnetische 419, 426, 1007.
Kopplungsfaktor 1007.
Kopplungswechsler 573.
Korona 78.
Korrespondenzanlage 902, 985.
Korrosion 421.
Kraft, magnetische, Äußerungen 34.
Kräfte in der Ebene, Zusammensetzung 24.
 — mechanische, elektrischen Ursprungs 54.
Kräftemittelpunkt 25.
Kräfteparallelogramm 24.
Kraftevieleck 24.
Kräftezug 24.
Kraftfluß 37.
Kraftlinien, magnetische 36, 37.
 — Brechung 45.
 — el. 47.
Kraftlinienmenge, magn., Messung 182.
Krarupkabel 515.
Krarup-Landkabel 455.
Krarup-Ozeankabel 456.
Krarup-Seekabel 456.
Krarupleiter 99.
Kreis, magnetischer 45.
 — Berechnung 53.
Kreise, gekoppelte 1007, 1008.
 — schwingungsfähige 1005.
Kreuzen der FM-Ltgn. 425.
Kreuzspulenapparate 145.
Kreuzungen v. FM-Ltgn. mit Starkstromltgn. 441...444.
Kreuzungsschema für Fernsprechleitungen 447.
Kriechweg 75.
Kristalldetektor 1053.
Kugelfunkenstrecke 56.
Kugelpanzergalvanometer 129.
Kupferdraht 379.
 — Querschnitt u. Gewicht¹.

- Kupfermanteldraht 380.
 Kupfervoltmeter 140.
 Kurbelmeßkasten 209.
 Kurbelschalter 505.
 Kurven, periodische, durch
 Fouriersche Reihen 106.
 Kurzschlusse in der Fahr-
 lage 433.
- Lackbaumwollkabel** 419.
Lackpapierkabel 419.
Lackpapierdraht 419.
 Ladeanlagen für Fernspre-
 cher 299.
 Ladespannung von FM-Ltgn.
 422.
 Ladestrom von FM-Ltgn. 422.
 Ladung der Sammler, Lei-
 tungsquerschnitte 308.
 — aus dem Netz 301.
 Lampenhalter 674.
 Lampenstreifen 674.
 Länge eines Drahtes von
 1 Ohm in m 2, 3.
 Längenmaß e. Leitung 358.
 Längenmaßkurven, telegra-
 phische 470.
 Langsamunterbrecher 733.
 Lautsprecher 623, 630.
 — elektromechanischer Teil
 623.
 — Gesamtdämpfung 624.
 — Kopplung 624.
 — mechanisch-akustischer
 Teil 623.
 — mechan.-akustischer Wir-
 kungsgrad 624.
 — Strahlungsdämpfung 624.
 — Trichter 624.
 — trichterloser 624.
 Legierungen, unmagnetische
 42.
 Leistung, Einheit (AEF) 1111.
 — eines Wechselstroms 104.
 —, komplexe 110.
 Leistungsfaktor 104, 109.
 Leistungsmesser, dynamome-
 trischer 172.
 Leistungsmessungen mit dem
 Elektrometer 173.
 — bei Drehstrom 170.
 — bei Wechselstrom 169.
 Leiter, ausgedehnte, Strom-
 verteilung 61.
 — Widerstand 61.
 — gestreckte, Isolation 61.
 — lineare 60, 82.
 — EMK 90.
 Leitfähigkeit der Elektrolyte,
 Temperatureinfluß 67.
 — elektrolytische 66.
 — flüssiger Isolierstoffe 72.
 — der Gase 76.
 — von Gesteinen 74.
 — von Gläsern 74.
 — wässriger Lösungen 66.
 — Messung 191.
 Leitkabel 1083.
 — für Schiffe 975.
 Leitsätze über Blitzschutz
 1004.
 Leitung mit Ableitung,
 Gleichstrommessungen 362.
 — Abpfählen 391.
- Leitung, allgemeine** 358.
 — Aufbringen auf die Iso-
 latoren 395.
 — Auskundung 390.
 — Bauarbeiten 390.
 — belastete, Stromabhängig-
 keit 474.
 — Bestimmungsgrößen 363.
 — mit erhöhter Induktivität
 363.
 — Erwärmung 65.
 — geerdete, als Schutz für
 FM-Ltgn. 424.
 — Gruppierung 393.
 — homogene, Berechnung d.
 Eigenschaften 232.
 — ideale 357.
 — Induktionschutz 393.
 — Kapazität 51.
 — Kreuzungsplan 394.
 — künstliche 510.
 — leichte 380.
 — Linienfestpunkte 397.
 — oberirdische, Eigenschaf-
 ten 365.
 — Platzwechsel 394, 395.
 — Reflexionen 359.
 — Spannung u. Durchgang
 382.
 — Spannungs- und Durch-
 gangsreglung 395.
 — Untersuchungsstellen 397.
 — Verbindungsstellen 394.
 — Verhinderung des Tonens
 396.
 — versenkte 398.
 — Widerstandsmessung 197,
 207.
 — Windverstärkungen 397.
 Leitungsaufhängung, bruch-
 sichere 437.
 Leitungsbau, rechtliche Ver-
 hältnisse 390.
 Leitungsdraht 379.
 — Binden 396.
 Leitungseigenschaften, Mes-
 sung 361.
 Leitungsfehler, Ermittlung
 ohne Messung 204.
 Leitungsmessung, Aufsuchen
 der Fehlerstelle 215.
 — von Verbindungsfeh-
 lern 218.
 — Ausrechnung 210.
 — Berührung 198, 201.
 — chemische Veränderung
 199.
 — Dämpfung 215.
 — Differentialgalvanometer
 206.
 — Eicheinrichtung 213.
 — Erdfehler 200.
 — Gleichgewicht einer Dop-
 pelleitung 214.
 — Gleichgewichtsprüfung
 218.
 — Gleichgewichtsstörungen
 218.
 — Graphische Hilfsmittel 210
 — Isolationswiderstand 193,
 207, 208.
 — Meßgeräte 217.
 — Mitsprechen 214.
 — Nebenschluß 199.
- Leitungsmessung, Ohmmeter**
 210.
 — Strom 203.
 — Übersprechen 214.
 — Universalmeßinstrument
 206.
 — bei Unterbrechung 203.
 — Untersuchungsstellen 216.
 — Widerstand 197.
 Leitungsnachbildungen 575.
 — von Byk 579.
 — Hoytsche 577, 579.
 — Resonanzkreis 579.
Leitungstelegraphie, Zusam-
menarbeit mit der draht-
losen Telegraphie 479.
Leitungswähler für den Fern-
verkehr 776, 778, 779, 780.
Leitwert 60, (AEF) 1111.
Leitwertoperator 110.
Leydener Flasche 1033.
Lichtbogen 79.
 — Vorgang 318.
Lichtbogencharakteristik 80,
 316.
Lichtbogengenerator 316, 320.
 — Aufbau 319.
 — Größenbemessung 319.
 — Schaltung 319.
 — Vorzüge 320.
 — Wellenkonstanz 319.
Lichtbogensender 1037.
 — Ausführungsformen 1040.
 — Flammenkammer 1039.
 — Tasting 1038.
 — Zündung, automatische
 1039.
Lichtsignalanlage 986.
Linearantenne 1065, 1077.
Linien, versenkte, Auskun-
dung 404.
 — Herstellung 404.
 — rechtliche Verhält-
 nisse 404.
Linienwähler 900 u. f.
 — Verlegung 906.
Linienwählertaste 901.
Lochstreifen für Telegraphie
 483.
Löschfunkensender 311, 312,
 313, 1036.
Losungen, Gehalt (AEF) 1117.
Lotstellen, Prüfung 191.
Luftkabel 397.
 — Aufhängen 398.
Luftstörungen 1105.
 — Arten 1105.
 — mit bekannter Ursache
 1106.
 — Charakter 1105.
 — Fernwirkung 1106.
 — Richtung 1106.
 — Stärke 1105.
 — Zusammenhang mit dem
 Wetter 1006.
- Magnet, Abstoßung** 34.
 — Anziehung 34.
 — haltbarer 34.
 — Herstellung 33.
 — neutraler 488.
 — polarisierter 488.
 — Temperaturkoeffizient 34.
 — Tragkraft 34.

- Magnetdetektor 1052.
 Magnetische Eigenschaften von Eisen u. Stahl 41.
 Magnetisierbarkeit d. Eisens 43.
 Magnetisierung, Stärke 36.
 — — Messung 182.
 Magnetisierungskurve 37.
 Magnetisierungsstrom 84.
 Magnetismus 33.
 — spezifischer 35.
 — Verteilung 33.
 Magnetnadel, Schwingungsdauer 47.
 Magnetometer 181.
 Magnetomotorische Kraft 83.
 Magnetophon 978.
 Magnetron 1046.
 Magnetschalter 677.
 Magnetsysteme, teleg. 488.
 Magnetsystem des Drehspulenrelais 490.
 — des Drehplattenschreibers 491.
 — des Heberschreibers 490.
 — des Undulators 493.
 — des Wheatstoneempfängers 491.
 Marconiantenne, geknickte 1076.
 Marconisender 309.
 Maschinen, Umlaufreglung 1013.
 Maschinensender, Frequenzvervielfachung 1042.
 — für kurze Wellen 1044.
 — mit ruhenden Frequenzwandlern 1041.
 Maß, elektrostatisches 16.
 Maßeinheiten 13.
 —, Zeichen des AEF 1108.
 Masse und Gewicht (AEF) 1113.
 Mathematische Zeichen 6.
 Mauerbugel 375.
 Maxwellbrücke 221.
 Maxwellerde 514.
 Maxwellketten 515.
 Mehrfachanschlüsse 712, 736.
 Mehrfachapparate, teleg. 476.
 Mehrfachbetrieb, teleg., Schaltungen 510.
 Mehrfachleitungswahler 737, 740, 741.
 Mehrfachsenden, funktelegr. 1039.
 Mehrfachsprechen 907.
 Mehrfachsprechstromkreise, Schaltung 908.
 Mehrfachstrom 913.
 Mehrfachtelegraphen 484.
 — der Western Union Co. 503.
 Mehrfachtelegraphie, Arten 510.
 Mehrfachtelephonie 913.
 — Anruf 921.
 — Anschluß 921.
 — Energiebedarf 921.
 — Mitthoren 914.
 — Reichweite 914.
 — Schaltung 919; s. a. Abb. 1278.
 — Wirtschaftlichkeit 915.
 — Zahl der Gespräche 916.
 Meldeplatz 876.
 Membransender 976.
 Meridian, magnetischer 47.
 Meßgeräte, Prüfung 177.
 — für Pupinkabel 456.
 — schreibende 139.
 — Beruhigung 125.
 — Dämpfung 125.
 — funktelegr. 1049.
 Meßkreis, Feinabstimmung 263.
 Meßkunde, elektr. 124.
 Messung der Isolation 191.
 — der Leitfähigkeit 191.
 — der Leitungseigenschaften 361.
 Messungen 124, 251; s. a. Messungen mit Hochfrequenz und mit Sprachfrequenz.
 — Berichtigungsgroßen 124.
 — an Elektronenröhren 251.
 — Elementen 264, 265.
 — Elektromotorische Kraft u. Spannung 264.
 — Innerer Widerstand 264.
 — Leistung 265.
 — an Erdleitungen 204, 205, 206.
 — an Fernsprechanlagen 191.
 — Genauigkeit 124.
 — mit Hochfrequenz 234.
 — Analyse der Hochfrequenzströme 240.
 — Antenne 243.
 — Dämpfung 238.
 — Detektorkreis, aperiodischer 235.
 — Eigenschaften von Schwingungskreisen 240.
 — Frequenz 236.
 — Funkenmikrometer 236.
 — Gegeninduktivität 242
 — Kapazität 241.
 — Leistung 236.
 — Phasen 239.
 — Rohrenvoltmeter 236.
 — Scheitelspannung 236.
 — Selbstinduktivität 242.
 — Spannung 235.
 — Strom 234.
 — Thermogalvanometer 235.
 — Voltmeter, statisches 235.
 — Wellenmesser 237.
 — Widerstand 242.
 — magnetische 184.
 — mit Röhrengleichrichtern 257.
 — an Sammlern 266.
 — Arbeitsmessung 267.
 — EMK 267.
 — Klemmenspannung 267.
 — Spannungskurve einer Zelle 268.
 — Spannungsverlauf e Edisonzelle 269.
 — Spannungsverteilung 269.
 — Widerstand 266.
 Messungen mit Sprachfrequenz 219.
 — — Ableitung 228.
 — — Allgemeine Regeln 219.
 — — Betriebskapazität 220, 228.
 — — Dämpfung 225.
 — — Dämpfung aus Strom oder Spannung 229.
 — — Dämpfungsmessungen 228.
 — — Eigenschaften von Fernhorern 226.
 — — Erdkopplungen, kapazitive 222.
 — — Frequenzen 224.
 — — Kopplungen, kapazitive 222.
 — — Scheinwiderstände 225.
 — — Selbstinduktivitäten 220.
 — — Spannungen, komplexe 227.
 — — Streckendämpfung 230.
 — — Teilkapazitäten 219.
 — — Verlustwinkel 219.
 — — Verstärkungsziffer 230.
 — — Wellenwiderstand 225.
 — — Widerstände 220.
 — — komplexe 226.
 — technische 191.
 — an Telegraphenanlagen 191 u. f.
 — an Unterseekabeln 192.
 Meßvorrichtungen, besondere Einrichtungen 125.
 Meßwerke, Symbole 154.
 Metallvoltmeter 140.
 Mikrophon 624, 630, 900, 1092.
 — akustisch-mechanischer Teil 625.
 — im Antennenkreis 1096.
 — Aufbau 624.
 — Frequenzbereich 626.
 — kapazitives 1093.
 — magnetisches 1092.
 — mechanisch-elektrischer Teil 625.
 — Theorie 624.
 — Verstärkerwirkung 625.
 Mikrophonempfangs 977.
 Mikrophonkapseln 630.
 Mikrophonkontakt als Wechselstromerzeuger 626.
 Mikrophonrelais 626.
 — Verstärkungsgrad 627.
 Mikrophonespeiseröhren 298.
 Mikrophonespeisung 663, 879, 891.
 Mikrophonverstärker 1093.
 Mikrotelephon 628, 632.
 Milliampereometer 505.
 Mischwahler 767, 800.
 — im Dienstleitungsverkehr 801.
 Mitsprechen 421.
 Mittelleiter, blanker 421.
 Modulation 1091.
 — durch Parallelröhre 1098.
 — durch Telephone-Drossel 1099.

- Modulation, Vorgang** 1097.
 — durch Vorröhre 1098.
Modulationsmethoden 1096.
Moment, magnetisches 35.
 — — Bestimmung 181.
Momentenfläche 24.
Monotelephon, Resonanzkurven 620, 621.
Morkrumsystem 503.
Morsealphabet 480.
Morseempfänger 494.
Morsetaste 493.
Moscickikondensator 1033.
Motorgeneratoren 295.
 — im Telegraphenbetrieb 293.
Münzfernsprecher 896, 899.
Murrayalphabet 481.
Muschelraum 610.
Nachbarketten 532.
Nachbildungsschaltungen 575.
Nachwirkung, dielektrische 49.
Nadelgalvanometer, empfindliche 128.
 — Empfindlichkeit 127.
Näherung zwischen FM-Ltg. u. Starkstromltn. 441 u. f.
Näherungsformeln für das Rechnen mit kleinen Größen 7.
Nebenschluß, Ayrton'scher 156.
 — fliegender 516.
 — induktiver 514.
 — zeitweiliger 515.
Nebenschlußkette 515.
Nebensprechen 370, 584.
 — Kompensation 454.
Nebenstellen 732.
Nebenstellenanlagen 878.
 — Aufladung der Schrankbatterie 880.
 — Schrankanlagen 879.
Nebenstellenspeisung 709.
Nebenstellenverkehr 880.
Nebenuhren 989.
 — mit Einstellvorrichtung 996.
 — für Gleichstrom 989.
 — mit mechanischem Gangwerk 994.
 — polarisierte 989, 990.
Nebenwellen, Unterdrückung 1014.
Nebenwiderstand zum Strommesser 156.
Neper 1119.
Neutrolyn-Schaltungen 1100.
Nomographie 18.
Normalelektroden 70.
Normalelemente 141.
 — von Clark 141.
 — von Weston 141.
 — verschiedene 142.
Normalfarbschreiber 494.
Normalfernkel, deutsches, Eigenschaften 367.
Normaltemperatur (AEF) 1113.
Nullkurve, magn. 188.
Nullpunkt, falscher 193.
- OB-Mikrophon** 631.
Oberflächenwellen 1011.
Oberflächenwiderstand 75.
Oberschwingungen 105.
 — der Dynamomaschinen, Beseitigung der Störungen 295.
 — des Fahrstroms 433.
 — störende 424.
 — Störungen des Fernsprechbetriebes 425.
Oberwellen 1032.
 — Unterdrückung 1014.
Ohmsches Gesetz 59.
Ohrtelephon 628.
Orling-Jet-Relais 497.
Ortsbestimmung, funktelegr. 1086.
Ortsgespräche, Aufzeichnung 869.
Ortsnetz 553.
 — mit mehreren SA-Ämtern 746.
Oszillator, piezoel. 1020.
 — mit gemischtem Betrieb 751.
Oszillograph 179.
Oxydationspotentiale 70.
- Panzergalvanometer** 129.
Papierbaumwollisolierter Freileitungsdraht 419.
Papierbaumwollkabel 419.
Papiersolierung 400.
Parabolsignal 955.
Parabolspiegel 1069, 1083.
 — Richtcharakteristik 1069.
Parallelklinkenstreifen 674.
Parallelogramm der Kräfte 24.
Pardune 1028.
Pardunenisolator 1029.
Partialfunkensender 316.
Peilen 1078.
 — von Flugzeugen 1086.
Peilfehler 1083.
 — Kompensation 1085.
Peilung mit 2 Antennenpaaren 1083.
 — Anzeigevorrichtungen 1083.
 — eindeutige 1081.
 — Maximummethode 1082.
Peilverfahren 1086.
Peilwellen 1083.
Pendelgleichrichter 296.
Pendelitelegraph von Siemens & Halske 502.
Pendeluhr, el. 995.
Pendeluhren mit el. Antriebe 987.
Permalloy 44.
Permalloyrelais 492.
Permeabilität 37.
 — reversible 40.
Pfeilgrenze 570.
Pferdestarke, Umrechnung in Kilowatt 5.
Phasenmesser 176.
Phasenverschiebung, Messung 176.
Phasenvoreilung, Richtung 107.
Pleijelspule 452.
- Poissonsche Zahl** 26.
Polabstand 33.
Polarisation 69.
Polizeitelegraphie 956, 963.
 — Meldeeinrichtungen 964.
 — Privatpolizeimelder 965.
 — Raumschutzanlagen 965.
 — Signallampe 965.
 — Wecker 965.
Polwechsler 296, 711.
Porzellan, Eigenschaften 378.
Porzellanisolatoren, Prüfung 152.
Potential, el. 60.
 — — (AEF) 1111.
 — magnetisches 36.
Potentialdifferenz, magnetische 46.
Potentialmessung 157, 202.
Poulsengeneratorschaltung 1038.
Poulsensender 1013.
Prellen der Relais 489.
Prellstein 398.
Pressetelegramme 551.
Preßgaskondensatoren 1033.
Primärelemente 270.
 — Braunelement, Vorgänge 272.
 — Brennstoffelement 273.
 — Bunsen-Element 270.
 — Daniell-Element 271.
 — Féry-Element 272.
 — mit festem Depolarisator 271.
 — mit flüssigem Depolarisator 270.
 — Jungner-Element 272.
 — Krüger-Element 271.
 — Kupronelement 271.
 — Leclanché-Element 272.
 — Luftsauerstoff als Depolarisator 271.
 — Polarisation 270.
 — Verbesserungsversuche 273.
 — Vorgang im Element 270.
Privatfeuermeldeanlagen 962.
Profilinstrumente 133.
Prüfung von Lötstellen 191.
Pufferbetrieb 294, 306, 307.
Pulsatortelegraph 971.
Pupinisierung 554.
Pupinkabel 515.
 — Reichweite 365.
Pupinleitungen 576.
 — Wirk- u. Blindwiderstand 577.
Pupinspulen 451.
Pyrometer, thermoelekt. 972.
- Quadrantenelektrometer** 137.
 — Messungen 138.
 — Schaltungen 138.
Quadruplex 510, 513.
Quarz, Piezoelektrischer 1021.
Quarzoszillator 1020, 1022.
Quecksilberdampfgleichrichter 297, 1047.
Quer kondensator 517, 579.
Querschnitt von Eisen- u. Kupferdrähten 1.
 — gefährlicher 26.
Quertrager 391.

- Querträger, eiserne 378.
 Querzusammenziehung 26.
Rad, phonisches 486.
 Rahmen z. Peilung 1079.
 — — Antenneneffekt 1079.
 — — Breiteneffekt 1080.
 — — Richtcharakteristik 1080.
 Rahmenantenne 1065.
 Rahmenempfang, einseitiger 1066.
 Rauchgasprüfer 974.
 Raumladung in Elektronenröhren 77.
 Raumladungsgitterröhrenschaltung 1059.
 Raumstrahlung 1077.
 — e. Linearantenne 1077.
 Raumwellen 1011.
 Rechnen mit kleinen Größen 7.
 Rechnung, komplexe 109.
 Recordersystem 497.
 Recordtaste 494.
 Reduktionspotentiale 70.
 Regeln des VDE für Meßgeräte 153.
 Reichweite, funktelegr. 1011.
 Reihentelegraph 476.
 Relais 508, 698.
 — Abfallverzögerung 681.
 — amerikanische 492.
 — Ansprechzeiten 680.
 — Anzugverzögerung 680.
 — Energieverbrauch 489.
 — mit Federsätzen 698.
 — Funkenbildung 680.
 — Funkenlöschung 680.
 — mit Kippanker 679.
 — Kontakt 680.
 — mit Morseapparat 508.
 — neutrale 491.
 — polarisiertes 491.
 — polarisierte, deutsche 492.
 — Scheinwiderstand 489.
 — Stromverlauf beim Abschalten 680.
 — für Wechselstrom 681.
 Relaisatz für Leitungswahler 698.
 Relaisunterbrecher 732.
 Relaiszahlengabe 758.
 Remanenz 38.
 Resonanzfrequenz 114.
 Resonanzkurve 1015, 1021.
 Rheostaten 143.
 Reziprozitätstheorem 1064.
 Richardsonsche Gleichung 77, 330.
 Richtcharakteristik einer Antenne 1064.
 — bei Raumstrahlung 1076.
 — für Oberflächenwellen 1065.
 Richtfläche e. Antenne 1076.
 Richtsender, Parabolspiegel 1083.
 Richtungsrohren 298.
 Richtverstärkerschaltung 1058, 1059.
 Ringüberträger 457, 907.
 — Anforderungen 458.
 — Anpassung 458.
 — Bemessung 459.
 Ringüberträger, Messung der Anpassung 463.
 — Schaltung 460.
 — Symmetriemessung 465.
 — — gegen Nebensprechen 464.
 — Unterschied gegen Starkstromtransformator 457.
 — zusätzliche Dämpfung 462, 463.
 Robinsonpeiler 1082.
 Rohranlagen, eiserne, Gefahrdung 422.
 Rohren s. a. Elektronenröhren.
 — Heizung 1047.
 Röhrengalvanometer für Gleichstrom 258.
 Röhrengenerator, Messungen 259.
 — ruckgekoppelter 260.
 Röhrengleichrichter 257, 258, 259.
 Röhrenkabel, Ein- u. Herausziehen 411.
 Röhrensender 1013, 1044.
 — Direktschaltung 1045.
 — Dynatronschaltung 1045.
 — fremderregter 1045.
 — fremdgesteuerter 1045.
 — ohne Gleichrichter 1048.
 — Störerscheinungen 1046.
 — tönend Senden 1046.
 — Tonschwankungen 1046.
 — Wellenbereich 1049.
 — Wirkungsgrad 1045.
 — Zwischenkreisschaltung 1045.
 Röhrenvoltmeter, Eichkurve 258.
 — Schaltung 236, 347.
 Rohrmast n. Rendahl 1028.
 Rotor 9.
 Rückkopplungsfaktor 340, 343.
 Rückkopplungsschaltungen 1045.
 Rückleitung, Widerstand 97.
 Rückstellklappe 672.
 Ruf, automatischer 661.
 Rufmaschine 733.
 Rufschaltungen 660 u. f.
 Ruhestrom, amerikanischer 507.
 Ruhestromschaltung 507.
 Rundfunk 1091.
 Rundfunksender, Amplitudenmodulierung 343.
Saalbahnen 544.
 Saitengalvanometer 132.
Sammler 274.
 — Anwendung 288.
 — Bleisammler 274.
 — — Aufbau 274, 277.
 — — Aufgabe 274.
 — — Ausgleichsladung 281.
 — — Außerbetriebsetzung, zeitweilige 280.
 — — chemischer Vorgang 274.
 — — elektromotorische Kraft 275.
 — — Entladung 280.
Sammler, Bleisammler, Endspannung 276.
 — — Garantie 282.
 — — Gefäße 277.
 — — Inhalt 276.
 — — innerer Widerstand 276.
 — — Isolation 279.
 — — Klemmenspannung 276.
 — — Kurzschluß 281.
 — — Ladung 276, 280, 294.
 — — — Leitungsquerschnitt 308.
 — — — aus dem Netz 301.
 — — Sammlerraum 278, 848.
 — — Schwefelsäure 279.
 — — Sulfatieren 282.
 — — tragbare 278.
 — — — selbsttätige Aufladung 281.
 — — Wirkungsgrad 277.
 — — alkalischer 283.
 — — Aufbau 283.
 — — Bedienungsvorschrift 286.
 — — chemischer Vorgang 283.
 — — Elektrolyt 284.
 — — elektromotorische Kraft 284.
 — — Inhalt 285.
 — — Klemmenspannung 284.
 — — Ladekurve 284.
 — — Ladung 285.
 — — Leistung u. Wirkungsgrad 286.
 — — Verhalten bei verschiedenen Entladeströmen 286
 — — Zellenzahl 284.
 Sammlerraum 278, 848.
 Sättigungsstrom in Elektronenrohren 77.
 — in isolierenden Flüssigkeiten 73.
 Sätze des AEF 1108 u. f.
 Saugtransformatoren 433.
 Schaltdrahte 418.
 Schaltrelais für Funktelegr. 1057.
 Schaltschranke Aufbau 649.
 — Schaltungen 655.
 Schaltvorgänge in der Hochspannungsltg. 426.
 Schaltzeichnungen, Darstellungsweise 692.
 Schauzeichen 672.
 Scheinleistung 109.
 Scheinleitwert 108, 110.
 Scheinwiderstand 108, 110, 161.
 Scheuerpfahl 398.
 Schienenlangverbinder 432.
 Schienenstoß 422.
 Schienenverbinder 429.
 Schirmwirkung, magnetische, des Eisens 46.
 Schleifdraht 146.
 Schleifengalvanometer 132.
 Schleifer 1054.
 Schlusssignal 638.
 Schlußzeichen 663, 667.

- Schlußzeichen durch Wechselstrom 666.
 Schlußzeichenrelais 664, 665.
 Schlußzeichenschaltgn. 663.
 Schmelzpunkte 31.
 Schnellmorseempfänger 491.
 Schnellmorsesystem 495.
 Schnelltelegraph von Siemens & Halske 499.
 Schnelltelegraphensender 515.
 Schnelltelegraphie, funktelegr. 1088.
 Schnellverkehr (SV) 807.
 — techn. Einrichtungen 810.
 — Zubringerleitungen 818.
 Schnellverkehrsamt 807, 810.
 — Verkehr nach SA-Tln. 767.
 Schnellverkehrsbeamtin, Leistungsmaß 815.
 Schnellverkehrsbetrieb 810.
 Schnellverkehrskabel 817.
 Schnellverkehrs-Nachtdienst 816.
 Schnellverkehrsnetz 807 u. f.
 Schnellverkehrsplatz 813.
 Schnellverkehrsschaltungen 817 u. f.
 Schnellverkehrsschranke 645, 810.
 Schnellverkehrsverbindungen 813.
 Schnurpaare 637.
 Schnurverstärkeranlage 609; Abb. 1007.
 Schnurverstärkereinrichtungen 606.
 — z. Gesprächsüberwachung 606, 609.
 — große 606.
 — kleine 606.
 Schnurverstärkerschrank 608
 Schraubung (AEF) 1115.
 Schreibempfang, funktelegr. 1088, 1089.
 — — Anzeigevorrichtungen 1090.
 Schrittapparate s. Springapparate.
 Schubfestigkeit 26.
 Schubzahl 26.
 Schutzdrähte, geerdete 441.
 Schutzkasten, geerdeter 424.
 Schutzmaßnahmen für F. M.-Ltn. 424.
 — an der storenden Fahranlage 431.
 Schutznetze 443.
 — geerdete, am Niederspannungsgestänge 441.
 — — an der Fernmeldelinie 443.
 — — längs der Fernmeldeanlagen 440.
 — — an Hochspannungsgestängen 440.
 — muldenförmige, am Fernmeldegestänge 443.
 Schutzring 152, 191.
 — — Elektrometer 137.
 Schutzschalter 120.
 Schutzzone 421.
 Schwachstromkabel, Kreuzungen u. Näherungen mit Starkstromkabeln 442.
 Schwebempfang 1056.
 Schwingaudion 260.
 — Abstimmung im Mitnahmehereich 262.
 — — eines Schwingungskreises 261.
 — — Dämpfungsmessung 263.
 — — Heizung u. Rückkopplung 260.
 — — Resonanzkurven 261.
 — — Zieherscheinungen 261.
 Schwingungen, el., Arten 309.
 — — Erzeugung 309.
 — — gedämpfte, Erzeugung 309 u. f.
 — — gleichbleibender Amplitude 1006.
 — — modulierte 1091.
 — — ungedämpfte, Erzeugung 316 u. f.
 Schwingungskreise 1003 u. f. 1049.
 Schwingungskurve, gedämpfte 1005.
 Seekabel, Auslegen 407.
 — Eigenschaften 401.
 — Rückleitungswiderstand 97, 474.
 Seidenbaumwolldraht 418.
 Seidenbaumwollkabel 419.
 Seilzug 24.
 Seitenamter 553, 807, 812.
 — Kontrolleinrichtungen 816.
 Seitendrucker 487.
 Seiteninduktionsschutz 517.
 5-Sekunden-Schalter 710.
 Selbstanschluß 556.
 — Abschalterelais 690.
 — Abschaltung 690.
 — Amter 561, 682.
 — Amtspflege 795.
 — Anrufsucher 562, 689.
 — Betriebsspannungen 700.
 — Betriebsüberleitung 794.
 — — Einrichtungen des Auslandes 802.
 — — Fernsprechgehäuse, Schaltbild 703, 891f.
 — — Gestelle 699.
 — — Grundgedanke 683.
 — — Gruppenanordnung 563.
 — — Gruppenverbindungen 743.
 — — Gruppenwähler 684.
 — — halb selbsttätiger Betrieb 691.
 — — Hilfsämter 748.
 — — Überbrückungsschaltung 750.
 — — Hilfseinrichtungen 732.
 — — Maschinenwählersysteme 561.
 — — Rahmen 699.
 — — Relaisystem 562.
 — — Schaltungsaufgaben 700.
 — — Schrittwählersysteme 561.
 — — Sicherungen 700.
 — — Signale 690.
 — — Speicherung 564.
 — — Sprechstellen 703, 891f.
 — — Störungsdienst 795.
 — — Verzögerungsrelais 699, 709.
 Selbstanschluß-Vollamter 746.
 — — Vorwähler 562, 687.
 — — vorzeitige Auslösung der Verbindung 708.
 — — Wähler, Aufgaben 683.
 — — Zahlengabe 691.
 — — Zweck 682.
 — — große 713.
 — — Betriebsvorgänge 714.
 — — I. Gruppenwähler 716.
 — — — Relaisübersicht 719.
 — — — Schaltbild 718.
 — — II. Gruppenwähler 717.
 — — Gruppenwähler II (III/IV) 720.
 — — — Leitungswähler 719, 722, 723.
 — — I. Vorwähler 713.
 — — II. Vorwähler 715.
 — — kleine, Besetzprüfen der Leitungswähler 707.
 — — — der Vorwähler 706.
 — — — Betriebsvorgänge 704.
 — — — Gesprächszahlungen 708.
 — — — Schaltbild 702.
 — — — Schaltvorgänge 705.
 Selbstinduktivität 84.
 — — Formeln 84 u. f..
 — — Messung 161.
 — — Vergleich mit einer Kapazität 164.
 Selbstinduktivitäten, Vergleich 163.
 — — mit dem Differentialtelephon 164.
 Sende-Empfangsanlage 1062.
 Senden, funktelegr., gerichtetes 1064.
 Sender, funktelegraphische 1029.
 — — Betriebsbedingungen 1030.
 — — in direkter Schaltung 1030.
 — — Leistung 1030.
 — — Schaltungen 1030.
 — — Steuerdrossel 1038.
 — — Strahlleistung 1030.
 — — Tastdrossel 1031.
 — — Tasten 1031, 1038.
 — — mit Taktkreis 1039.
 — — mit Verstimmungs-welle 1038.
 — — Tertiärkreisender 1030.
 — — Wirkungsgrad 1030.
 — — Zündelektrode 1039.
 — — Zwischenkreisender 1030.
 — — funktelephonischer 1095.
 — — telegraphischer 482.
 Senderöhren 1046.
 Sendestationen, Anordnung 1032.
 — Reichweite 1011, 1012.
 Sendewellen, Dämpfung 1015.
 — Konstant 1012.
 Sicherheitswiderstand aus Jodkadmiumlösung 152.
 Sicherungen 420, 506, 681.
 Sicherungslampen 506.
 Sicherungssystem der Reichspost 421.

- Siebkette 121, 122, 533.
 — Dampfungskurve 123.
 — Eigenfrequenz 123.
 — Einschwingzeit 123.
 — Resonanzkurve 123.
 Siedepunkte 31.
 Siemensalphabet 481.
 Siemens-Schnelltelegraph 486, 487.
 Signalanlagen für Bergwerke 967.
 Signalantrieb 950.
 Signalapparate, el. 965.
 Signalgeber 966.
 Signalklinken 670.
 Signallampen 673, 734.
 Signalwecker 734.
 Silbervoltmeter 140.
 Simultanbetrieb 910.
 — in Fernkabeln 912.
 Simultanstromkreise, Schaltung 910.
 Simultantelegraphie 477.
 Sinusbussole 128.
 Sinusstrom 104.
 Skalar 9.
 Solid-back-Telephon 631.
 Spannung, mechan. 26.
 — — u. Durchgang 382.
 —, el. (AEF) 1111.
 — Messung von Scheitelwerten 159.
 — bei Wechselstrom, Messung 169.
 — elektrostatische 48.
 — magnetische 36, 46, 82
 — — Berechnung 83.
 Spannungsmesser, dynamometrischer 171.
 — magnetischer 183.
 Spannungsmessung 153.
 — durch direkt zeigende Apparate 156.
 — Kompensationsmethode 157.
 — mit Kugelfunkenstrecke 56.
 Spannungsschutz 444.
 Spannungsverteilung in Leitungen 118.
 Spannungswandler 174.
 Spannungszahlen, mechan. 29.
 Speisung, zweiseitige, einer Strecke 432.
 Spiegelablesung 125.
 Spiegeldynamometer 135.
 Spitzbock 389, 392.
 — verstärkter 392.
 Spitzenfunkenstrecke 56.
 Sprachbander 918.
 Sprache, Übertragung 1016.
 Sprachfrequenzen 571.
 Sprech- u. Rufumschalter 638.
 Sprechen u. Telegraphieren gleichzeitig 910.
 Sprechschalter 676.
 Sprechstromwege überlagert mit Gleichstrom 692, 727.
 Sprechtelefon 621.
 — Resonanzkurve 622, 623.
 Springapparate 477, 487, 503, 504.
 Spulen für Sendestationen 1034.
 Spulen für Sendestationen, ausgeführte Formen 1035.
 — — Konstruktion 1034.
 Spulenfluß (AEF) 1113.
 Spulenkasten 455.
 Spulenketten 578.
 Staffelnbetrieb 484.
 Stahlluminiumseil 380.
 Stahlkugeln zur Aufspeicherung der Telegraphierzeichen 484.
 Standardrelais 491.
 Stangen, Abstand in Krümmungen 388.
 — mit Anker 388.
 — Ausrüstung mit Isolatoren 391.
 — eiserne 374.
 — gekuppelte 388, 392.
 — holzerne 372.
 — senkrechte Belastung 386.
 — Setzen 391.
 — Sicherungsmittel 398.
 — mit Strebe 388.
 — verlangerte 393.
 — Verspannung 392.
 — wagrechte Belastung 386.
 — Zug in Winkelpunkten 388.
 — zusammengesetzte Belastung 387.
 Stangenfüße 376.
 Stangenholz, Zubereitung 372.
 Starkstromgerausch, Maß 434.
 Starkstromleitungen, Verdrehung 425.
 Starkstrommikrophon 631.
 Statik 24.
 Steinschreiber 498.
 Steuerdrossel 1038.
 Steuerschalterarm 724.
 Steuerung s. Modulation.
 Stoffe, magnetische 33.
 Stöpselsitzschalter 675.
 Stöpselschalter 505.
 Stöpselschnur 676.
 Störstrom, zulässiger 424.
 — im Funkwesen 1012.
 Störung 54, 92, 419, 445.
 Störungssignale 711.
 Störungserregung 313.
 Stoßkreis, aperiodischer 314.
 Stoßsender 311, 312.
 Strahlung 1009.
 Strahlungspyrometer 973.
 Strahlungswiderstand 1010, 1023, 1024, 1025.
 Strahlwerfer 1029.
 — für kurze Wellen 1029.
 Strebe 392.
 Streckenfernsprecher 899.
 Streuziffer 84.
 Strichzahlung 869.
 Strom, elektrischer 59.
 — eingeschwungener 112.
 — induzierter in Kabeln 429.
 — veränderlicher 103.
 — bei Wechselstrom, Messung 169.
 — Wirkungen auf den Elektrolyten 67.
 Stromarten, telegraphische 480.
 Strombedarf eines F-A 306.
 — eines TA 305.
 — eines Verstärkerarmes 307.
 Strombelag (AEF) 1112.
 Stromkurve, Aufnahme 178, 493.
 — Analyse 178.
 — telegr., künstlich verbessert 472.
 — — für Leitungen mit Induktivität 471.
 — — auf Pupin- u. Kunstkabeln 472.
 Stromleitung in Metallen, Wesen 65.
 Strommesser, dynamometrischer 172.
 — für Telegraphie 505.
 Strommessung 153.
 — mit direkt zeigenden Apparaten 156.
 — Kompensationsmethode 157.
 Stromschutz 444.
 Stromstärke, effektive 104.
 — elektrolytische 104.
 — mittlere 104.
 Stromstoßmessung 160.
 Stromstoßreihen, Unterdrückung 765.
 Stromstoßübertragung 749.
 Stromübergang 420.
 — mittelbarer 421.
 — unmittelbarer 420.
 Stromung in Gasen 76.
 — selbständige u. unselbständige 76.
 Stromungsvorgänge 111.
 — Induktionsspule 111.
 — Induktivität, Kapazität, Widerstand in Reihe 113.
 — Kapazität u. Widerstand in Reihe 113.
 — in Stromkreisen einfacher Art 111.
 Stromversorgung der Telegraphen- u. Fernsprechanlagen 288.
 — Grundlage 288.
 — Ladeanlage eines Telegraphenarmes 298.
 — Pufferbetrieb 302.
 — Strombedarf des Telegraphen- u. Fernsprechtsbetriebs 289.
 — Stromversorgungsschaltung 298.
 Stromverteilung in Leitungen 118.
 Stromwage 135.
 Stromwandler 174.
 — Prüfung 178.
 Stützen für Isolatoren 378.
 Stützkraft 24.
 Stützpunkt, Beanspruchung 385.
 Stützpunkte auf Dachern 396.
 Summerrelais 493.
 Superhet 1100.
 Suszeptibilität 37.

Tabellen:

Abmessungen der Umschalter, Fernschranke, Tische, Wählergestelle usw. 842.
 Antenne, Strahlungswiderstand 1024.
 Antennenisolatoren, größere 1028.
 Atom- und Äquivalentgewichte 68.
 Belastung von Starkstromleitungen 308.
 Belastung der Telegraphenstangen 386.
 Bezeichnungen 14, 16.
 Bildzeichen für Schaltungen 693.
 Bindedraht, Bedarf 396.
 Blitzbeobachtungen 81.
 Blitzspannungen 81.
 Dichte 29, 30.
 Dielektrizitätskonstanten 48.
 Drähte für Fernmeldeleitungen 381.
 Drahtlehren, englische und amerikanische 17.
 Drahtzug bei Eisansatz 386.
 Durchbruchfeldstärke 55.
 Durchhang von Leitungen 384, 385.
 Durchschlagfestigkeit von Öl 57.
 Durchschlagspannung fester Körper 58, 59.
 Eigenschaften der Fallklappe 671.
 — des Eisendrahtes 379.
 — des Fernhörers 629.
 — der Fernkabel 450.
 — der Fernsprechrelais 678.
 — von Freileitungen 366.
 — der Induktionsspulen 636.
 — der Induktoren 635.
 — von Kondensatoren 637.
 — des Kupfer- u. Bronze- drahtes 380.
 — von Leitungen 467.
 — von Pupinspulen 448.
 — von Seekabeln 401.
 — von Wechselstromweckern 633.
 Einheitszeichen 1108.
 Eisansatz an Freileitungen 386.
 Eisendraht für T-Leitungen, Eigenschaften 379.
 Elektrochemische Äquivalente 68.
 Elektrodenpotentiale 72.
 Elektronenröhren, Eigenschaften 567.
 Entmagnetisierungsfaktor 42.
 Fallklappen, Eigenschaften 671.
 Fernhörer, Eigensch. 629.
 Fernleitungskabel, belastete, Eigenschaften 448, 449.
 — unbelastete, Eigenschaften 449, 450.

Tabellen:

Fernsprechamt, Amtsleistung 874.
 — Betriebsvorgänge, Zeitdauer 874.
 — Bewertung der Betriebsvorgänge 873.
 — Gesprächszahlen 872.
 — Größe der Betriebsräume 839.
 — Schranke, Gestelle, Umschalter, Maße 842, 843, 844.
 Fernsprechrelais, Eigenschaften 678, 679.
 Festigkeitszahlen 28.
 Formelzeichen 14, 15, 16, 17, 1108, 1109, 1110.
 Funktelephonie, Wellenbandbreite 1019.
 Gegeninduktivität 427, 428.
 Gegenkapazität von Einfachleitungen 53.
 Gewicht von Eisen- und Kupferdrähten 1.
 Haardrähte 64.
 Hülsen zu Verbindungen in Freileitungen 395.
 Hysterese 44, 45.
 Induktivität eines Telegraphenkabels 366.
 Induktionsspulen, Eigenschaften 636.
 Induktoren, Eigenschaften 635.
 Ionenbeweglichkeit 68.
 Isolationswiderstand, Temperaturabhängigkeit 75.
 Isolatoren für Telegraphen, Großen 377.
 Isolierte Leitung für private Telephonanlagen 986.
 Kabel, Induktivität 87.
 Kapazität oberirdischer Doppelleitungen 52.
 Komplexe Größen, Umwandlung 4.
 Kondensatoren, Eigenschaften 637.
 Kreuzungsschema für Freileitungen 447.
 Kupfer- und Bronze draht für Leitungen 380.
 Leitfähigkeit von Elektrolyten 66.
 Leitungsdraht für T-Leitungen, Bedarf 380.
 Magnetische Eigenschaften von Eisen und Stahl 41, 43.
 Maß u. Gewicht, englisches 17.
 Mathematische Zeichen 6.
 Mehrfachtelephonie, Trägerfrequenzen u. Sprachbänder 917.
 Normalfern kabel, Eigenschaften 368.
 Ober- und Kombinationschwingungen bei Modulation 919.
 Oxydationspotentiale 70.
 Pupinleitung, Wirk- und Blindwiderstand 577.

Tabellen:

Pupinspulen, Eigensch. 448.
 — Verlustwiderstand 452.
 Querschnitt von Eisen- und Kupferdraht 1.
 Reduktionspotentiale 70.
 Richardsonsche Gleichung, Zahlenwerte 77.
 Rohrstander, Belastung 375.
 Schauzeichen, Eigenschaften 672, 673.
 Schmelzpunkte 31.
 Schnellverkehrrkabel, Wellenwiderstand 812.
 Seekabel, Eigenschaften 401.
 Siedepunkte 31.
 Spannungsmessung mit Kugelfunkstrecke 56.
 Spannungszahlen (mechanische) 29.
 Strombedarf der Fernsprechämter 291.
 — der Telegraphenleitungen 290.
 — des Telegraphenamts 305.
 Symbole der Meßwerke 154, 155.
 Teilkapazität von Dreileiterkabeln 53.
 Telegraphenisolatoren 377.
 Telegraphenleitungen, Abstand der Übertragungen 467.
 Telegraphierleistungen 548.
 Telegraphenstangen, holzerne, Länge, Gewicht usw. 372.
 — Tragfähigkeit 372.
 Thermoelektrische Spannungsreihe 65.
 Thermokräfte 66.
 Trägheitsmomente 25, 26.
 Verdampfungswärme 32.
 Verlustwinkel, dielektrischer 50.
 Verlustziffer, magnetische 189.
 Vielfache von 0,735 5.
 Wärme, spezifische 32.
 Wärmeleitvermögen 31.
 Wechselstromwecker, Eigenschaften 633.
 Wellenlängen 102, 103.
 Werte von e^{-x} 8.
 Widerstand von Isolierstoffen 74.
 — von Leitungsdraht 2.
 — spezifischer, von Metallen, Legierungen, Kohle 62, 63.
 Widerstandsbänder und -kordel 64.
 Wirkwiderstand des geraden Drahtes 96.
 Tangentenbussole 128.
 Tastdrossel 1031.
 Tastenlocher 496.
 Tastenprüfung 757.
 Tastensätze 755.
 Tastschnelltelegraph von Siemens & Halske 502.

- Tastentische 755.
 Tastenzahlung 869.
 Tastkreis 1039.
 Tastung der Rohrsender 1049.
 Tauchprobe 379.
 Teilkapazität 52, 53.
 Teilnehmerschranke 637, 638.
 — Abfragefeld 639.
 — Arbeitsplatz 638.
 — Klinkenfeld 639.
 — Vielfachfeld 639, 641.
 Telegramme zu ermäßigten Gebühren 551.
 — zurückgestellte 551.
 Telegraph, Begriffbestimmung 467.
 — Zusammenarbeit mit dem Fernsprecher 479.
 — von Pollak u. Virag 504.
 Telegraphenalphabet 467, 480.
 Telegraphenamnt 534.
 — Anrufschranke 534.
 — Aufzuge 543.
 — Batteriespannungen 537.
 — Betriebsäle 539.
 — Fernsprecher 543.
 — Gebäude 537.
 — Gruppenschalter 536.
 — Hauptumschalter 537.
 — Hughesabteilung 535.
 — Laufband 545.
 — Licht u. Kraft 542.
 — Morsebetrieb 535.
 — Raumbedarf 537.
 — Rohrpost 545.
 — Saalbahnen 544.
 — Seilpost 545.
 — technische Einrichtung 534.
 — Telegrammannahme 541.
 — Tragfähigkeit der Fußböden 542.
 — Treppen 543.
 — Uhren 543.
 — Verteilstellen 546.
 — Verwaltungsräume 542.
 — Wasser 543.
 Telegraphenapparate 480, 482.
 — ohne dauernden Gleichlauf 477.
 — Betriebsforderung 550.
 — wirtschaftlicher Betrieb 477.
 Telegraphenbauzeug 372.
 — bedarf 382.
 Telegraphenbetrieb 546.
 — Apparatdienst 547.
 — Leitgeschäft 546.
 — mehrfacher 911.
 — Organisation 546.
 — Pressedienst 550.
 — Regelung des Telegrammverkehrs 550.
 — Störungsdienst 547.
 — Telegraphierleistung 547.
 Telegraphengleichung 357, 360.
 Telegraphenkabel 400.
 — Eigenschaften 366.
 — für Übersee 401.
 Telegraphenleitung 357.
 — allgemeine 471.
 Telegraphenleitung, Ausnutzung 475.
 — Berechnung f. gegebene Tel.-Geschwindigkeit 474.
 — Leistungsfähigkeit 476.
 — Theorie 357.
 — u. Fernsprechleitungen, Eigenschaften 365.
 Telegraphennetz, Gestaltung 478.
 Telegraphenschaltungen 507.
 Telegraphenstangen s. Stangen.
 Telegraphenverkehr, Entwicklung 549.
 Telegraphie, Frequenzbereich 468.
 — internationale Vereinbarungen 479.
 — auf Leitungen 466.
 — wirtschaftliche Entwicklung 478.
 Telegraphieempfänger, funktelegr. 1018, 1019.
 Telegraphieren u. Sprechen, gleichzeitig 910.
 Telegraphierfrequenz, tiefste 529.
 Telegraphiergeschwindigkeit 482.
 — Berechnung 371, 469, 473
 Telegraphierleistung 547.
 Telegraphierströme, Berechnung der Form 370.
 — in Simultanleitungen, Abflachung 447.
 Telegraphierverstärker 516.
 Telephon 610, 627, 900.
 — Aufbau 610, 618, 627.
 — Aufgaben 610.
 — Bellsches 627.
 — Dämpfung 612.
 — Diagramm 613.
 — elektromech. Schwingungsvorgang 611.
 — elektromechanische Theorie 611.
 — elektromech. Wirkungsgrad 612.
 — Energieumwandlung 610.
 — Ersatzschema 613.
 — Frequenzbereich 611.
 — Grundlagen des Baus 622.
 — Gütekonstante 614, 617.
 — Kreisdiagramm 615, 616.
 — magnetische Verbesserungen 629.
 — mechan.-akustischer Aufbau 618.
 — — Wirkungsgrad 620.
 — als Meßinstrument 135.
 — Muschelraum 610.
 — optisches 135.
 — Resonanzdiagramm 613, 614.
 — Resonanzkurve 611, 613, 614, 620.
 — Rückwirkung des Ankers 612.
 — Siemensches 628.
 — Sprachgüte 629.
 — als Sprechtelefon 621.
 — Theorie und Aufbau 610.
 — Tonraum 619.
 Telephon mit Weicheisenmagnet 629.
 — Wirkungsgrad 610.
 Telephonieempfänger, funktel. 1018.
 Telephoniesender, störungsfrei 1091.
 Temperatur 31.
 Temperaturbezeichnungen (AEF) 1111.
 Temperaturmessung, el. 971.
 Temperaturschreiber 972.
 Tertiärkreisender 1030.
 Thermoelektrische Kräfte 65.
 Thermoelemente zur Strommessung 137.
 Thermogalvanometer 137.
 Thomsonkabel 470, 514.
 Thomsonsche Doppelbrücke 142.
 Thomsonsche Kurve 470, 514.
 Tikker 1053.
 Tintenschreiber der Radiokorporation 498.
 Tonfrequenz-Telegraphie 519.
 Tonfunkensender 311, 1036.
 Tonkreis 314.
 Tonrad 1056.
 Topfrelais 677.
 Torsionsdynamometer 135.
 Torsionsgalvanometer 128, 132.
 Torsionsmagnetometer 182.
 Tragerfrequenz, Wahl 529.
 Tragerstrom 913.
 Trägerstromtelegraphie längs Leitungen 913.
 Tragerstromtelephonie längs Leitungen 913.
 — Mithören 914.
 — Reichweite 914.
 — Wirtschaftlichkeit 915.
 — Zahl der Gespräche 916.
 Tragerwelle 1091, 1096.
 — Modulationskurve 531.
 Trägheit, elektromagn. 92.
 Tragheitsmomente 25, 26.
 Traglast 26.
 Trageil 398.
 Tragsicherheit 26.
 Tränkung der Holzstangen 372.
 Transformator, EMK 89.
 — im Telegraphen- u. Fernsprechbetrieb 293.
 Trommelrelais 498.
 — Brownsches 497.
 Turmuhr, el. 990, 991, 992.
 Typendruckapparate 487.
 Überführungszahlen 67.
 Überlandnetze, Regelbetrieb 425.
 Überspannung 69, 119.
 Überstrom 119.
 Übertrager, Anpassung an Fernleitungen 457.
 Übertragung für Doppelstrombetrieb 509.
 — f. Duplex 509.
 — der Sprache 1016.
 — telegraphische 467, 509.
 — mit Zentralbatterie 508.
 Übertragungsschaltung 449.

- Überwachungs-Wahler 796.
Uhr, mechanische, mit el. Aufzug 993.
Uhren, elektrische 987.
— — Arten 987.
— — Kontaktanordnung 993.
— — Stromquellen 995.
— — sympathische 988, 995.
Uhrenanlagen, Leitungsnetz 994.
— ohne eigenes Leitungsnetz 996.
— Zentral- u. Überwachungs-einrichtungen 997.
Uhrenzeichen 510.
Ultraaudioschaltung 1055.
Umlaufspannung, magnetische 36, 82, 83.
Umlaufreglung 353.
Umschalteinrichtungen für den Fernverkehr, Aufstellung 855.
Umschalter 505.
Umschlagszeit 489.
Undulator 481, 493, 497.
Universalmeßinstrument 206.
Unterbrecher 711.
Unterlagerstelegraphie 477.
Unterseekabel, Messungen 192.
- Valenzladung (AEF) 1117.**
Vektordiagramm 107.
Vektorpotential, magn. 82.
Vektorrechnung 9.
Verbindungsleitungen 553.
Verbindungsleitungsverkehr 643, 667.
Verbindungsmuffen 412.
Verbindungsschranke 641.
— Anrufbetrieb 642.
— Arbeitsplatz 643.
— Dienstleitungsbetrieb 642.
— Klinkenfeld 644.
— Richtungsbetrieb 641.
Verbindungsstöpsel 675.
Verdampfungswarme 32.
Verdrillen d. Ltgn. 92.
Verkabeln der F. M.-Ltgn. 425.
Verkehrsmessungen 727.
Verlustwinkel, dielektrischer 49, 50.
Verlustziffer 188.
Vermittlungsamt, Lage 832.
Verschiebung, dielektrische 48.
Verschiebungsfluß (AEF) 1113.
Verschiebungsstrom 88.
Verstärker, Betriebsmaßnahmen 587.
— elektromechanischer 626.
— Messungen 587.
Verstärkeramt, großes 589 u. f.
— — Abfrageeinrichtung 595.
— — Abgleichsatz 593.
— — Anruf 594.
— — Betrieb 598.
— — Gebäude 597.
— — Hauptverteiler 589.
— — Kabeleinführung 589.
- Verstärkeramt, großes, Klinkenumschalter 591.
— — Leitungsführung 589.
— — Messungen 587, 597, 598.
— — Mithoreinrichtung 595.
— — Nachbildungsgestell 591.
— — Prüfschrank 592.
— — Rufprüfeinrichtung 595.
— — Rufstrom 594.
— — Sicherungsgestell 592.
— — Sprechstromverlauf 594.
— — Stromläufe 594.
— — Verstärkergestell 590.
— — Vierdrahtleitung 593; Abb. 991.
— — Zusatzgestell 591.
— — Zweidrahtleitung 599.
— neuer Bauart 598.
— — Apparate 599.
— — Gestelle 599.
— — Leitungsführung 598.
— — Strombedarf 601.
— — Stromversorgung 600.
— kleines 601.
— — Aufbau 604.
- Verstärkerleitungen, Dampfungszahl 588.
— Entzerrung 580.
— Rufen 588.
— Verzerrung 580.
- Verstärkeröhren, Anforderungen 566.
Verstärkerschaltungen 568.
Verstärkertechnik 566.
Verstärkungszahl 323.
— Messung 596, 597.
Verstimmungswelle 1038.
Verteilerdrähte 418.
Verteilerraum 859 u. f.
Verteilerschleife 484.
Verteilung, magnetische 34.
Verteilungsmuffen 412.
Verzögerungsrelais 709, 726.
Verzweigungsbuchse 145.
Vibrationsgalvanometer 135.
Vibrationsrelais 475, 493.
Vibrationsschaltung 515.
Vielfache von 0,735 5.
Vielfachklinken, Lage 654.
Vielfachumschalter 649.
— Aufbau 650.
— Zahl der Arbeitsplätze 649.
- Vieltonsender 313, 1037.
Vierdrahtschaltung 573.
— Vergleich mit der Zweidrahtschaltung 574.
Viererausnutzung 365.
Vierfachgoniometer 1071.
— Richtcharakteristik 1072.
Vierpol, allgemeiner 360.
Voll- u. Leermelder 970.
Voltameter 140.
Vorwähler, Durchdrehen 731.
Vorwähler I, Abschaltung 730.
— Staffelung der Ausgänge 730.
Vorwähler II, Abschaltung 731.
- Wachsdraht 418.**
Wachsdrahtkabel 419.
Wahler, Aufstellung 852, 853, 854.
— für besondere Zwecke 796.
— im Fernamt 796.
— für Meßverbindungen 798.
— in Nebenstellenanlagen 798.
— für Überwachung 796.
— zwangsläufig gesteuerte 796.
Wahlerausgänge, Verteilung 744.
Wahlerauslösung 724.
— vorzeitige 725.
Wahlergestelle, Aufstellung 847, 850, 851.
Wahlergruppen 743.
Wählerzahlen 739, 742.
Wählscheibe 890.
Walzenmikrophon 630.
Wanderung der Ionen 67.
Wanderwellen 54, 119.
Warme, spezifische 32.
Wärmeäquivalent, mechan. 1110.
Wärmeleitungsvermögen 31.
Warteinrichtung 764.
Wasserschallapparate 975.
— Frequenzbereich 978.
— Reichweite 979.
Wasserschallempfänger 977.
Wasserschallsender 975.
Wasserstandsfernmelder 970.
Wechselstrom 103.
— andauernder, auf d. Ltg. 362.
— Beharrungszustand 118.
— von beliebig Kurvenform 104.
— harmonische Komponenten 105.
— hochfrequenter 309.
— v. Sinusform 104.
Wechselstromanruf 657.
Wechselstromdynamoanker, EMK 89.
Wechselstromgrößen, Polar-diagramm 107.
— zusammengesetzte 16.
Wechselstromkreis, allgemeine Gleichungen 110.
Wechselstromkompensatoren 227.
Wechselstromkurven, Analyse 180.
— Aufnahme 178.
Wechselstromleitung, Induktion 91.
Wechselstrommeßapparate, für Spannung, Stromstärke u. Leistung 171.
Wechselstrommessungen 169.
— Methode der drei Spannungsmesser 171.
— der drei Strommesser 171.
Wechselstrommotoren im Telegraphenbetrieb 295.
Wechselstromtelegraphie 476, 519.
— Duplexbetrieb 528.
— Einschwingvorgänge 529.

- Wechselstromtelegraphie, Empfänger 523.
 — Erweichungsgebilde 533.
 — Erzeugung der Tragerschwingungen 528.
 — Frequenzband 531.
 — Frequenzspektrum 529.
 — Gleichrichtapparat 532.
 — Inbetriebsetzung 524.
 — Nachbarketten, Störung 532.
 — Prinzip 521.
 — sechsfache 522.
 — Sender 521.
 — Sender- u. Empfängerapparaturen 524.
 — Siebkette 532, 533.
 — Staffelnbetrieb 527.
 — Telegraphiefrequenz, tiefste 529.
 — Trägerfrequenz, Wahl 529.
 — Trägerwelle, Modulationskurve 531.
 Wechselstromton bei Gleichrichtern 1048.
 Wechselstromwecker, polarisierte 632.
 Wechselstromwiderstände, Messung 161.
 Wecker 632.
 Weicheisengalvanometer 132.
 Weicheisenmeßapparate 174.
 Welle, ungedampfte, Messung 262.
 Wellen, el., 101.
 — — Ausbreitung 1010.
 — — Ausstrahlung 1009.
 — — Einstellung 1020.
 — — Konstanz 1020.
 — — polarisierte 1065.
 — — Reflexion 120.
 — — Richtcharakteristik 1065.
 — — Richtsystem, allgemeiner Fall 1067.
 Wellenabsorption 119.
 Wellenantenne 1072.
 Wellenanzeiger 1051.
 Wellenbandbreite 1019.
 Wellenindikatoren 1051.
 Wellenlängen 102.
 Wellenmesser 237, 1020.
 Wellenreflexion 119.
 Wellenschlucker 122.
 Wellenverteilung 1019.
 Wellenwiderstand, Ungleichmäßigkeit 585.
 Werte von e^{-x} 8.
 Western Electric System 503.
 Western Union, Mehrfachtelegraph 487.
 Wheatstonesche Brücke 145.
 — — für Wechselstrom 162.
 Wheatstonesystem 496.
 Wicklung, induktionsfreie 125.
 — bifilare 126.
 Widerstand 60.
 — von 1 m Draht im Ohm 2, 3.
 — der Metalle, Temperatureinfluß 62.
 — der Rückleitung 97.
 — spezifischer 62.
 — wirksamer s. Wirkwiderstand.
 Widerstände, Art der Wicklung 142.
 — bifilare 126.
 — Herstellung 142.
 — kleine 143.
 — — Messung 147.
 — künstliche 507.
 — Normalbuchsen 143.
 Widerstandsbander 64.
 Widerstandsdraht, Flachdraht 64.
 — Platte 64.
 Widerstandskordel 64.
 Widerstandskörper 64.
 — Drahte 64.
 Widerstandsmaterialien 63.
 Widerstandsmessung 144.
 — Messung kleiner Widerstände 147.
 — aus Strom u. Spannung 144.
 — durch Vertauschung 144.
 — zersetzbarer Leiter 147.
 Widerstandsmoment 25.
 Widerstandsoperator 110.
 Widerstandssätze 143.
 Widerstandsthermometer 971.
 Widerstandsvergleich mittels Kompensator 147.
 Winddruck 387.
 Windungsfluß (AEF) 1113.
 Winkel (AEF) 1115.
 Winkelankerrelais 679.
 Wirbel s. Rotor.
 — d. magn. Feldes 32.
 Wirbelströme 92, 1034.
 — in Ankerstaben 93.
 — in Blechen 93.
 — im Bleimantel von Kabeln 97.
 — in einem geraden Draht 95.
 — in zylindrischen Spulen 95.
 Wirkgroßen 108.
 Wirkleitwert 109.
 Wirkspannung 109.
 Wirkstrom 109.
 Wirkwiderstand 98, 108, 161.
 Wismutspirale 183.
 Wochenendtelegramme 552.
 Wollastondraht 64.
 Zahlengeber 755, 765, 811.
 Zahlenwechsel 488.
 Zahlschaltung 670.
 Zahltafel 638.
 ZB-Mikrophon 631.
 ZB-Speisung 663.
 Zeichen des AEF 1108.
 — f. Maßeinheiten (AEF) 1108.
 — mathematische (AEF) 6.
 Zeichenstromkurve, telegraphische 470.
 Zeigerablesung 125.
 Zeigerdynamometer 135.
 Zeigergalvanometer 132.
 Zeigerwerke, elektromagnetische 988.
 Zeitballstationen 999.
 Zeitrelais 595.
 Zeitsignalstationen 999.
 Zementkanäle, undichte 422.
 Zentralanrufschrank 505.
 Zentralbatterie für Telegraphenleitungen 507, 508.
 Zersetzungsspannung 69, 72.
 Zerstorung, elektrolytische 421.
 Zieherschneidungen 261.
 Zieherschlauch 411.
 Zimmerleitungsdraht 418.
 Zimmerleitungskabel 419.
 Zinkplatten, Schutz gegen Kabelfraß 422.
 Zugamt, telephon., im DWagen 1104.
 Zugfestigkeit 26.
 Zugtelefonie 1102.
 — Einrichtung der Leitung 1105.
 Zündelektrode 1039.
 Zusatzkondensatoren 455.
 Zweidrahtleitung, Verlauf 589.
 Zweiröhrenzwischenverstärker 569, 601.
 Zweispulenrelais 678.
 Zwillingsklinke 675.
 Zwischenkreis 1044.
 Zwischenkreissender 1030.
 Zwischenverstärkerschrank 604.
 Zwischenverteiler 859.
 Zwölfach-Telegraphie 533.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Hilfsbuch für die Elektrotechnik

Unter Mitwirkung namhafter Fachgenossen bearbeitet
und herausgegeben von

Dr. Karl Strecker

Zehnte, umgearbeitete Auflage

Starkstromausgabe

Mit 560 Abbildungen. XII, 739 Seiten. 1925. Gebunden RM 20.—

Inhaltsübersicht:

I. Teil: Allgemeine Hilfsmittel. I. Abschnitt: Tabellen, Formeln, Bezeichnungen. II. Abschnitt: Magnetismus und Elektrizität. — II. Teil: Meßkunde. I. Abschnitt: Elektrische Meßverfahren und Meßvorrichtungen. II. Abschnitt: Technische Messungen. — III. Teil: Starkstromtechnik. I. Abschnitt: Elektromagnete. II. Abschnitt: Transformatoren. III. Abschnitt: Dynamomaschinen. IV. Abschnitt: Sammler oder Akkumulatoren. V. Abschnitt: Das elektrische Kraftwerk. VI. Abschnitt: Leitung und Verteilung. VII. Abschnitt: Elektrische Kraftübertragung. VIII. Abschnitt: Elektrische Beleuchtung. IX. Abschnitt: Elektrische Wärmeerzeugung. X. Abschnitt. Die Elektrizität auf Schiffen. XI. Abschnitt: Elektrochemie. XII. Abschnitt: Leitungsblitzableiter oder Blitzschutzvorrichtungen und Spannungssicherungen. — Anhang.

Einführung in die Elektrizitätslehre. Von Professor Dr. R. W. Pohl, Göttingen. Mit 393 Abbildungen. VII, 256 Seiten. 1927.
Gebunden RM 13,80

Vorlesungen über Elektrizität. Von Professor A. Eichenwald, Dipl.-Ing. (Petersburg), Dr. phil. nat. (Straßburg), Dr. phys. (Moskau). Mit 640 Abbildungen. VIII, 664 Seiten. 1928. RM 36.—; gebunden RM 37,50

Kurzes Lehrbuch der Elektrotechnik. Von Professor Dr. Adolf Thomälen, Karlsruhe. Neunte, verbesserte Auflage. Mit 555 Textabbildungen. VIII, 396 Seiten. 1922. Gebunden RM 9.—

Das elektromagnetische Feld. Ein Lehrbuch von Professor Emil Cohn, Freiburg i. B. Zweite, völlig neubearbeitete Auflage. Mit 41 Textabbildungen. VI, 366 Seiten. 1927. Gebunden RM 24.—

Die Grundlagen der Hochvakuumtechnik. Von Dr. Saul Dushman. Deutsch von Dr. phil. R. G. Berthold und Dipl.-Ing. E. Reimann. Mit 110 Abbildungen im Text und 52 Tabellen. XII, 298 Seiten. 1926. Gebunden RM 22,50

Handbuch der Physik. Unter redaktioneller Mitwirkung von R. Grammel-Stuttgart, F. Henning-Berlin, H. Konen-Bonn, H. Thirring-Wien, F. Trendelenburg-Berlin, W. Westphal-Berlin herausgegeben von H. Geiger und Karl Scheel.

Band XII: **Theorien der Elektrizität. Elektrostatik.** Bearbeitet von A. Güntherschulze, F. Kottler, H. Thirring, F. Zerner. Redigiert von W. Westphal. Mit 112 Abbildungen. VII, 564 Seiten. 1927.

RM 46.50; gebunden RM 49.—

Band XIII: **Elektrizitätsbewegung in festen und flüssigen Körpern.** Bearbeitet von E. Baars, A. Coehn, G. Ettisch, H. Falkenhagen, W. Gerlach, A. Güntherschulze, E. Grüneisen, B. Gudden, G. v. Hevesy, G. Laski, F. Noether, H. v. Steinwehr. Redigiert von W. Westphal. Mit 222 Abbildungen. VII, 672 Seiten. 1928. RM 55.50; gebunden RM 58.—

Band XIV: **Elektrizitätsbewegung in Gasen.** Bearbeitet von G. Angenheister, R. Bär, A. Hagenbach, K. Przibram, H. Stücklen, E. Warburg. Redigiert von W. Westphal. Mit 189 Abbildungen. VII, 444 Seiten. 1927.

RM 36.—; gebunden RM 38.10

Band XV: **Magnetismus. Elektromagnetisches Feld.** Bearbeitet von E. Alberti, G. Angenheister, E. Gumlich, P. Hertz, W. Romanoff, R. Schmidt, W. Steinhaus, S. Valentiner. Redigiert von W. Westphal. Mit 291 Abbildungen. VII, 532 Seiten. 1927. RM 43.50; gebunden RM 45.60

Band XVI: **Apparate und Meßmethoden für Elektrizität und Magnetismus.** Bearbeitet von E. Alberti, G. Angenheister, E. Baars, E. Giebe, A. Güntherschulze, E. Gumlich, W. Jaeger, F. Kottler, W. Meißner, G. Michel, H. Schering, R. Schmidt, W. Steinhaus, H. v. Steinwehr, S. Valentiner. Redigiert von W. Westphal. Mit 623 Abbildungen. IX, 801 Seiten. 1927.

RM 66.—; gebunden RM 68.40

Band XVII: **Elektrotechnik.** Bearbeitet von H. Behnken, F. Breisig, A. Fraenckel, A. Güntherschulze, F. Kiebitz, W. O. Schumann, R. Vieweg, V. Vieweg. Redigiert von W. Westphal. Mit 360 Abbildungen. VII, 392 Seiten. 1926.

RM 31.50; gebunden RM 33.60

Die Grundlagen der Hochfrequenztechnik. Eine Einführung in die Theorie. Von Dr.-Ing. Franz Ollendorff, Charlottenburg. Mit 379 Abbildungen im Text und 3 Tafeln. XVI, 640 Seiten. 1926.

Gebunden RM 36.—

Hochspannungstechnik. Von Dr.-Ing. Arnold Roth. Mit 437 Abbildungen im Text und auf 3 Tafeln, sowie 75 Tabellen. VIII, 534 Seiten. 1927.

Gebunden RM 31.50

Schaltungsbuch für Gleich- und Wechselstromanlagen. Dynamomaschinen, Motoren und Transformatoren, Lichtenanlagen, Kraftwerke und Umformerstationen. Unter Berücksichtigung der neuen, vom Verband Deutscher Elektrotechniker festgesetzten Schaltzeichen. Ein Lehr- und Hilfsbuch von Oberstudienrat Dipl.-Ing. Emil Kosack, Magdeburg. Zweite, erweiterte Auflage. Mit 257 Abbildungen im Text und auf 2 Tafeln. X, 198 Seiten. 1926.

RM 8.40; gebunden RM 9.90

Taschenbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie.

Bearbeitet von zahlreichen Fachleuten. Herausgegeben von Dr. F. Banneitz.
Mit 1190 Abbildungen und 131 Tabellen. XVI, 1253 Seiten. 1927.
Gebunden RM 64.50

Drahtlose Telegraphie und Telephonie. Ein Leitfaden für In-

genieure und Studierende von L. B. Turner. Ins Deutsche übersetzt von
Dipl.-Ing. W. Glitsch, Darmstadt. Mit 143 Textabbildungen. IX, 220 Seiten.
1925. Gebunden RM 10.50

Die Stromversorgung von Fernmelde-Anlagen. Ein Handbuch

von Ingenieur G. Harms. Mit 190 Textabbildungen. VI, 137 Seiten. 1927.
RM 10.20; gebunden RM 11.40

Die wissenschaftlichen Grundlagen des Rundfunkempfanges.

Vorträge zahlreicher Fachleute, veranstaltet durch das Außeninstitut der
Technischen Hochschule zu Berlin, den Elektrotechnischen Verein und
die Heinrich-Hertz-Gesellschaft zur Förderung des Funkwesens. Heraus-
gegeben von Professor Dr.-Ing. e. h. Dr. K. W. Wagner, Mitglied der
Preußischen Akademie der Wissenschaften, Präsident des Telegraphen-
technischen Reichsamts. Mit 253 Textabbildungen. VIII, 418 Seiten. 1927.
RM 25.—

Für die Mitglieder der Heinrich Hertz-Gesellschaft, des Elektrotechnischen Vereins, Berlin
sowie für die Beamten der Reichspost- und Telegraphenverwaltung Vorzugspreis.

Radiotelegraphisches Praktikum. Von Dr.-Ing. H. Rein. Dritte,

umgearbeitete und vermehrte Auflage (Berichtigter Neudruck) von Professor
Dr. K. Wirtz, Darmstadt. Mit 432 Textabbildungen und 7 Tafeln. XVIII,
560 Seiten. 1922. Neudruck 1927. Gebunden RM 24.—

Aussendung und Empfang elektrischer Wellen. Von Professor

Dr.-Ing. und Dr.-Ing. e. h. Reinhold Rüdenberg. Mit 46 Textabbildungen.
VI, 68 Seiten. 1926. RM 3.90

Bildrundfunk. Von Professor Dr. A. Korn, Berlin, und Dipl.-Ing. Dr.

E. Nesper, Berlin. Mit 65 Textabbildungen. IV, 102 Seiten. 1926.
RM 5.40

**Englisch-Deutsches und Deutsch-Englisches Wörterbuch
der Elektrischen Nachrichtentechnik.** Von O. Sattelberg,
im Telegraphentechnischen Reichsamt Berlin.

Erster Teil: Englisch-Deutsch. VII, 292 Seiten. 1925.

Gebunden RM 11.—

Zweiter Teil: Deutsch-Englisch. VIII, 320 Seiten. 1926.

Gebunden RM 12.—

Die Prüfung der Elektrizitäts-Zähler. Meßeinrichtungen, Meßmethoden und Schaltungen. Von Dr.-Ing. **Karl Schmiedel**, Charlottenburg. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 122 Abbildungen im Text. VIII, 157 Seiten. 1924. Gebunden RM 8.40

Wirkungsweise der Motorzähler und Meßwandler mit besonderer Berücksichtigung der Blind-, Misch- und Scheinverbrauchs-messung. Für Betriebsleiter von Elektrizitätswerken, Zähler-techniker und Studierende. Von Direktor Dr.-Ing., Dr.-Ing. e. h. **I. A. Möllinger**. Zweite, erweiterte Auflage. Mit 131 Textabbildungen. VI, 238 Seiten. 1925. Gebunden RM 12.—

Die Grundzüge der Zählertechnik nebst einer Einführung in die allgemeine Elektrotechnik. Ein Leit-faden für Zählerrevisoren und Zählertechniker auf Grund des Beschlusses der Zählerkommission des VDE. Von Obergeringieur Dr.-Ing. **W. v. Krukowski**. In Vorbereitung

Elektrotechnische Meßkunde. Von Dr.-Ing. **P. B. Arthur Linker**. Dritte, völlig umgearbeitete und erweiterte Auflage. Mit 408 Textfiguren. XII, 571 Seiten. 1920. Unveränderter Neudruck. 1923. Gebunden RM 11.—

Die Porzellan-Isolatoren. Von Professor Dr. **Gustav Benischke**. Zweite, erweiterte Auflage. Mit 162 Abbildungen im Text. 116 Seiten. 1923. RM 4.80; gebunden RM 5.60

Dielektrisches Material. Beeinflussung durch das elektrische Feld. Eigenschaften. Prüfung. Herstellung. Von Dr.-Ing. **A. Bültemann**, Dresden. Mit 17 Textabbildungen. VI, 160 Seiten. 1926. RM 10.50; geb. RM 12.—

Die Eigenschaften elektrotechnischer Isoliermaterialien in graphischen Darstellungen. Eine Sammlung von Versuchsergebnissen aus Technik und Wissenschaft. Von Dr. **U. Retzow**, Abteilungsleiter der AEG-Fabrik für elektrische Meßinstrumente, Berlin. Mit 330 Abbildungen. VI, 250 Seiten. 1927. Gebunden RM 24.—

Mitteilungen der Porzellanfabrik Ph. Rosenthal & Co., A.-G.

Heft 6: **Über die Entladungsvorgänge auf Isolatoren.** Von Professor Dr.-Ing. **A. Schwaiger**, München. Mit 23 Textabbildungen. 23 Seiten. 1925. RM 1.50

Heft 7: **Über Verlustwinkel- und Kapazitätssmessungen an Porzellan.** Von Dr.-Ing. **K. Draeger**, Obergeringieur der Porzellanfabrik Ph. Rosenthal & Co., A.-G., Selb in Bayern. Mit 22 Textabbildungen. 36 Seiten. 1925. RM 2.10

Heft 8: **Über Zerstörungs- und Alterungserscheinungen an Porzellanisolatoren.** Von Obergeringieur Dr.-Ing. **K. Draeger**. Mit 16 Textabbildungen. IV, 36 Seiten. 1926. RM 2.40

Heft 9: **Über die Durchschlagsspannung und den Verlustwinkel bei festen Isolatoren.** Erster Teil. Von Dr.-Ing. **K. Draeger**, Obergeringieur der Porzellanfabrik Ph. Rosenthal & Co., A.-G., Selb (Bayern). Mit 23 Textabbildungen. II, 30 Seiten. 1926. RM 1.80