Elementare Vorlesungen

über

Telegraphie und Telephonie

von

Dr. Richard Heilbrun.

Mit 360 Abbildungen im Text und auf Tafeln.

BERLIN.
Verlag von Georg Siemens.
1906.

Nichts besser, denn dass
der Mensch fröhlich sei
in seiner Arbeit.

Alle Rechte — insbesondere das der Übersetzung — vorbehalten.

Vorrede.

Das vorliegende Buch giebt in erweiterter und abgerundeter Form eine Reihe von Vorlesungen wieder, die ich in Berlin mehrfach vor Laien und vor Post- und Telegraphenbeamten gehalten habe. Es ist auf Wunsch meiner damaligen Hörer entstanden und soll alle die in die Technik des elektrischen Nachrichtenwesens einführen, die sich aus Neigung oder Beruf mit ihr beschäftigen und keine Gelegenheit haben, Vorlesungen zu hören. Die Arbeit wendet sich deshalb besonders an die Beamten der Reichspostverwaltung. Doch dürfte sie neben Laien den Offizieren der technischen Waffen und bei der nicht immer grossen Wertschätzung, deren sich der Schwachstrom an den technischen Hoch- und Mittelschulen erfreut, auch jungen Ingenieuren und Technikern von Nutzen sein können.

In sämtlichen Vorlesungen ist den theoretischen Grundlagen des Gebietes ganz besonderes Augenmerk geschenkt worden. Denn nur wer mit ihrer gründlichen Kenntnis ausgerüstet, sollte sich mit der speziellen Technik beschäftigen, eine Ansicht, selbstverständlich zwar, aber in der elementaren Schwachstromtechnik bisher nicht in allgemeiner Geltung. Die »Theorie« ist dabei natürlich nicht im Sinne des Gelehrten verstanden, sondern nur soweit behandelt, als sie elementaren Vorkenntnissen verständlich wird. Lehren, die diese Bedingung nicht erfüllen, wie zum Beispiel die Elektronentheorie, konnten keinen Platz finden. Nur simpelste Mathematik und Chemie ist vorausgesetzt worden. Die Elektricitätslehre wurde ganz von unten aufgebaut. Wo immer notwendig, wurde die wissenschaftliche Genauigkeit der leichteren Verständlichkeit geopfert. Aber dann vermeidet häufig der Ausdruck, das geschultere Auge zu beleidigen. Die Vorlesungsform, die unmittelbare Anrede an den Leser soll ihn in den Glauben versetzen, er befinde sich im Hörsaale vor dem Experimentirtische und, gemeinsam mit der subjektiven Art der Darstellung, das Verständnis erleichtern und sein Interesse erhöhen.

Den grösseren Teil des Buches nimmt die spezielle Telegraphie und Telephonie ein. Dabei ist die letztere nur so weit berücksichtigt, als es das durchschnittliche Bedürfnis des Lesers zu verlangen schien und bei dem über die ursprüngliche Absicht gestiegenen Umfange Raum vorhanden war. Im wesentlichen sind die Einrichtungen der Deutschen Reichspost zu Grunde gelegt. Doch wurde häufig, wo ich die des Auslandes durch Anschauung oder Bericht kannte, auf diese verwiesen. Das Versinken in die Einzelheiten des gerade üblichen habe ich möglichst vermieden und aus der verwirrenden Fülle der Spezial-Konstruktionen und -Schaltungen die wichtigeren oder einfacheren oder interessanteren ausgewählt. Hiermit ergiebt sich der freilich nicht immer leichte Versuch, aus dem nebensächlichen das Prinzip von Bau und Verwendung herauszuschälen und, wo irgend möglich, Gründe hinzuzufügen. Sie waren oft schwer herbeizuschaffen. Deshalb wird mir die Kritik, die bis jetzt meine Arbeit — bei ihrem Erscheinen in Lieferungen — so ausserordentlich freundlich beurteilt hat, Irrtümer nicht zu hart anrechnen können.

Historische Angaben sind in der Regel vermieden. Denn der historische Entwicklungsgang pflegt nicht der pädagogisch beste zu sein und zu rein idealem Interesse an ihm fehlt es der Technik an Zeit. Auch fragt es sich am Ende, ob das Hervorheben der Personen in allen Fällen ethisch gerechtfertigt ist; haben sie doch oft ihren Lohn dahin. Dass ich dem Leser die Erklärung der meist nichtssagenden Fremdwörter erspart habe, wird er wohl angenehm empfinden. Die lederne Philologie hat noch immer unsere besten Lernjahre; mag sie uns später in Frieden lassen.

Es bleibt mir noch übrig, mehreren Fachgenossen, Bibliothekaren und einer stattlichen Reihe von Firmen und Ämtern bei uns und im Auslande, für ihre Unterstützung, dem Herrn Verleger für sein freundliches Eingehen auf meine vielfachen Wünsche namentlich in Bezug auf die Abbildungen und die schöne Ausstattung, die er dem Buche gegeben hat, verbindlichst zu danken und jeden einzelnen Leser zu bitten, mir zu Händen des Herrn Verlegers Verbesserungsvorschläge zugehen zu lassen und mich auf etwaige Fehler und Unklarheiten aufmerksam zu machen.

Berlin, Weihnachten 1905. H.

Inhalt.

1. Vorlesung. Der elektrische Strom. 1—14.

Die Mechanik des elektrischen Stromes unbekanut 1. Ein Leiter zwischen Klemmen verschiedener Spannung. Der Strom 2. Elektromotorische Kraft, Elektricitätsmenge, Stromstärke 3. Leitfähigkeit. Gute und schlechte Leiter. Specifisches Leitvermögen, Länge und Querschnitt 4. Widerstand, specifischer Widerstand 5. Ohmsches Gesetz 6. Hydraulisches Bild 6. Im ganzen Kreise dieselbe Stromstärke 7. Spannungsabfall 8. Vergleich des elektrischen- mit einem Luftstrom 9. Skizzen und Ausdrucksweise 10. Glühlampenmodell 10. Diagramme 12.

2. Vorlesung. Die elektrischen Maasseinheiten. 15—19. 22—25. Die Stromverzweigung. 19—22. Das Joulesche Gesetz. 25—32.

Die Einheiten: Volt, Ohm und Ampere und Beispiele dafür aus der elektrotechnischen Praxis 15. Elektricitätsmenge und ihre Einheiten: Coulomb und Amperestnnde 18. Verzweigungsgesetze 19. Mechanische Arbeit und Leistung. Meterkilogramm 22. Erhaltung der Energie 22. Elektrische Arbeit und Leistung. Watt 23. Watt und Pferdestärke. Kilowatt 24. Kilowattstunde. Der Kousument verbraucht Energie, nicht Strom 24. Elektrischer Arbeitsverbrauch in Telegraphenämtern 25. Ableitung und experimenteller Nachweis des Jouleschen Gesetzes 25. Verlust an elektrischer Energie durch blosse Fortleitung und Mittel, ihn zu vermindern 27. Transformation. Die körperliche Vorstellung des Stromes erweist sich als unzureichend 29. In jedem Leiter darf der Strom nur bis zu einer bestimmten Grenze nnsteigen. Kurzschluss 30. Sicherungen. Reissen eines Fernsprechdrahtes 32.

3. Vorlesung. Magnetismus. 33—44.

Der Magnet. Pole. Hufeisenmagnet 33. Magnetisches Magazin. Magnetnadel. Nord- und Südpol 34. Magnetisches Grundgesetz 35. Die Erde verhält sich wie ein grosser Magnet. Magnetische Influenz 36. Herstellung eines Dauermagneten durch Streichen. Elementarmagnete 37. Coërcitivkraft 39. Kraftlinienbilder 40. Die Kraftlinie als Weg eines nord-

polaren Eisenflitterchens. Permeabilität 41. Zählen von Kraftlinien. Kraftliniendichte als Maass der Feldstärke 42. Definition der Permeabilität 43. Magnetisierende Kraft H und erreichte Magnetisierung B 44.

4. Vorlesung. Elektromagnetismus. 45—64.

Der Oerstedsche Versuch 45 und die Ampèresche Schwimmregel 46. Die Wirkung von Magnet und Leiter ist gegenseitig. Amperewindungen 47. Der Elektromagnet. Polarität 48. Konstruktion des Hufeisenelektromagneten. Kraftlinien 50. Die Spule ohne Eisenkern. Kraftlinien um Stromleiter 51. Stärke des Spulenfeldes. Die Spule verhält sich wie ein Magnet 53. Spulenmodell 54. Elektrodynamisches 55. Grundgesetz des magnetischen Kreises 56. Hinkender und polarisierter Elektromagnet 58. Remanenz und Hysteresis 59. Hysteresiskurve 62.

5. Vorlesung. Induktion. 65—85.

Magnet- und Ankerinduktion 65. Voltainduktion 67. Richtung des induzierten Stromes 68. Lenzsches Gesetz 69. Die Induktion als Folge von Kraftlinienänderungen. Wirbelströme 70. Unterteihung von Spulenkernen 72. Selbstinduktion 73. Bifilare Wickelung 75. Ruhmkorffscher Funkeninduktor. Transformator 76. Funke. Öffnungsfunke 77. Unterbrecher 78. Wechselspannung und Wechselstrom 79. Induktanz und Scheinbarer Widerstand 82. Transformation. Übersetzungsverhältnis und Windungszahlen 83. Verluste im Transformator 85.

6. Vorlesung. Elektrostatik. 66—118.

Fliessende und ruhende Elektricität 86. Elektricität durch Reihung von Isolatoren. Zwei Arten der Elektricität 87. Coulombsches Gesetz. Auch Leiter werden elektrisch. Elektricität auf beiden reibenden Körpern 88. Elektroskop 89. Influenz. Der Anziehung geht Influenz voran 90. Elektrisiermaschinen 91. Der Funke und seine Wechselstrom-artige Natur 92. Sitz der Ladung auf der Oberfläche 94. Spitzenwirkung 96. Gewitter und Blitzableiter 97. Gewitterneigung. Leydener Flasche 98. Condensator. Capacität 98. Ihre Einheit: das Mikrofarad 102. Technischer Condensator 103. Moderne Anschauungsweise: Dielektrikum. Dielektricitätsconstante. Elektrische Kraftlinien 104. Strom aus statischer Quelle 112. Positiver und negativer Strom 113. Positive und negative Klemme. Ladung eines Condensators aus einer Stromquelle 115. Ladestrom und Entladestrom 116. Erdleitung 117.

7. Vorlesung. Chemische Stromwirkung. 119—134.

Stromleitung in Flüssigkeiten 119. Gültigkeit des Ohmschen und Jouleschen Gesetzes. Ablenkung der Magnetnadel. Elektrische Leitung und chemische Zersetzung. Bleibaum 121. Beförderung von Atomen und Atom-

gruppen durch die Lösung 122. Leiter erster und zweiter Ordnung. Elektrolyse. Elektrolyte. Elektroden. Anode. Kathode. Jonen 123. Elektrolyse von Kupfersulfat zwischen Platinelektroden 124. Elektrolyse der verdünnten Schwefelsäure 125. Voltameter 126. Hofmannscher Apparat. Elektrolyse von Natriumsulfat unter Zusatz von Lackmus 127. Faradaysches Gesetz 128. Definition des Ampere 130. 96500 Coulomb. 131. Elektron 132. Elektrolytische Dissociation 133.

8. Vorlesung. Chemische Stromerzeugung. Erster Teil. 135—148.

Zink und Kupfer in verdünnter Schwefelsäure 135. Galvanische Elemente. Der Strom in der Flüssigkeit. Elektrolyt-Galvanometer 136. Anwendung des Ohmschen Gesetzes auf galvanische Elemente. Innerer Widerstand 138. Innerer Spannungsabfall. Elektromotorische Kraft und Klemmenspannung. Diagramm 139. Spannungssprünge 141. Stromrichtung und Klemmenbezeichnung. Positiver und negativer Strom 142. Elektrolyse im Element. Auflösung des Zinks. Die aufgelöste Zinkmenge der gelieferten Elektricitätsmenge proportional. Amalgamiertes Zink 145. Inconstanz. Polarisation. Ihre Ursache der elektrolytisch abgeschiedene Wasserstoff 147.

9. Vorlesung. Chemische Stromerzeugung. Zweiter Teil. 149—174.

Methoden der Depolarisation. Die chemische Methode. Chromsäurezelle. Verbrennung des schädlichen Wasserstoffs 149. Anwendung zweier Elektrolyte. Ihre Trennung durch verschiedenes specifisches Gewicht 150. Element von Callaud 151. Telegraphenelement. Bau 154. Elektrochemischer Vorgang 155. Bedienung 156. Der chemische Arbeitsvorrat des Zinks, die Arbeitsquelle des Elementes 158. Berechnung der Elektromotorischen Kraft 159. Wirklicher Materialverbrauch 160. Element von Meidinger 161. Telephonelement. Bau- und chemischer Vorgang 163. Depolarisation durch Mangansuperoxyd 164. Trockenelemente. Bau 165. Hellesenzelle 166. Die Elektromotorische Kraft von der Grösse der Zelle unabhängig 167. Schaltung der Elemente zu Batterien 167. Parallelschaltung 168 und Hintereinanderschaltung 169. Diagramm 173.

10. Vorlesung. Chemische Stromspeicherung. 175—203.

Verwertung der Polarisation zu Polarisationszellen 175 und secundären Stromquellen 176. Bleielektroden. Wasserstoff-beschlagenes Blei und Bleisuperoxyd 178. Im Akkumulator wird elektrische Energie in chemische verwandelt und als solche aufbewahrt. Grosse Oberfläche der Platten. Formieren nach Planté und Faure. Beispiele einiger Konstruktionon 179. Capacität. Maximaler Lade- und Entladestrom 186. Capacität und Stromentnahme. Capacität pro Kilogramm Plattengewicht 187. Chemische Vor-

gänge bei Entladung und Ladung. Schemata 188. Grundgleichung. Bezeichnung der Klemmen 191. Säuredichte. Aräometer 192. Ladung bis zur Gasentwicklung 193. Überladung. Elektromotorische Kraft und Säuredichte 194. Sulfatieren. Lade- und Entladespannung. Kurven 195. Wirkungsgrad 197. Selbstentladung. Reinheit der Materialien. Nachfüllen von Säure und Wasser. Notwendigkeit sachgemässer Bedienung 198. Geringer innerer Widerstand und seine Ursache 199. Plattenanordnung. Schaltung der Zellen zur Batterie 202. Zellen für Telegraphenbetrieb 203.

11. Vorlesung. Wellen und Schall.

Wasserwellen 204. Fortbewegung der Welle, nicht des Wassers. Seilwellen 205. Ausbiegung. Amplitude 206. Phase. Wellenlänge. Periode. Wechselstrom und -spannung als Wellen 207. Wellenberg und -thal 208. Schwingungszahl und -dauer einander reziprok. Grundgleichung $c = n \cdot l$. Diagramme 209. Phasenverschiebung zwischen Ausbiegungs- und Geschwindigkeitswelle 211. Zurückwerfung der Seilwelle und zwar in der entgegengesetzten Phase 212. Stehende Seilwellen 213. Interferenz 214. Stehende Wellen mit dem Wagnerschen Hammer. Beziehung zwischen Faden- und Wellenlänge 216. Platindraht an einer Stimmgabelzinke (Elektrischer Widerstand und Temperatur). Quer- und Längswellen 217.

Schallwellen. Töne und Geräusche 218. Intensität, Amplitude. Höhe, Schwingungszahl, Wellenlänge. Eindruck der Tonstärke 219. Klangfarbe. Obertöne. Deren Phase für die Klangfarbe, nicht für die Schwingungsform gleichgiltig 220. Zurückwerfung des Schalles. Schallkammer des Klopfers 221. Die Intensität dem Quadrat der Entfernung umgekehrt proportional 222. Fortleitung in Röhren. Beispiele 223. Resonanz. Beispiele 224. Freie Schwingung 225. Tönende Luftsäulen. Pfeifen 226. Menschliche Stimme 227. Dämpfung. Fernsprechkabinen 228.

12. Vorlesung. Farbschreiber und Klopfer. 230—265.

Morseprinzip 230. Morsezeichen. Reliefschreiber 231. Farbschreiber 235—256: Elektromagnet 235. Kerne und Anker 238. Magnetischer Kreis. Luftzwischenraum 239 Streuung, Ankeranziehung 241. Maximale Amperewindungen 242. Einstellung 244. Schreibhebel 245. Uhrwerk. Übersetzung der Geschwindigkeiten und Kräfte. Windfang 247. Auslösung und Hemmung 250. Papier 253. Französischer Farbschreiber. Taste 256. Klopfer 258 und Klopfertaste 262. Einfachste Schaltungen 263.

13. Vorlesung. Telegraphische Hilfsapparate. 266—296.

Galvanoskop 266. Umschalter 268. Ausgleichswiderstände 272. Blitzableiter 274. Relais 278—95: Notwendigkeit und Prinzip der Anwendung 278. Weicheisenrelais 282. Polarisierte Relais von Hughes 283, von Siemens 287, mit drehbaren Kernen 290. Übertragung mit Relais und mit Farbschreibern 294.

14. Vorlesung. Die Stromquelle. 297—311.

Telegraphenelemente. Mehrere Leitungen an einer Batterie 297. Einschränkung durch den inneren Widerstand 298 und zwar nicht wegen der gleichmässig verminderten, sondern wegen der schwankenden Klemmenspannung. Kein Durchschnitt 299. Zahlenbeispiel 300. Parallelle Zellen. Leiterschaltung 302. Akkumulatoren. Vorteile 303. Schutzwiderstand 305. Ladung aus dem Stadtnetz 307, mit Motorgeneratoren oder Umformern 308, mit selbt angetriebenem Generator, mit Telegraphenelementen 310. Dynamos ohne Akkumulatoren 311.

15. Vorlesung. Der Morsebetrieb. 312—334.

Verzinkter Eisendraht verschiedener Stärke als Telegraphenleitung 312. Porzellandoppelglocke als Isolator. Telegraphenämter. Zweiteilung des Morsebetriebes in den mit Arbeits- und den mit Ruhestrom. Der Arbeitsstrom 313. Die Batterie und ihre Bemessung 314. Ihr Materialverbrauch. Der Ruhestrom. Ämterkreis 315. Mit einer Batterie nur mit Ruhestrom möglich 316. Isolationsfehler verlangen Verteilung der Batterie. Stromschwächung, nicht -unterbrechung 317. Schaltregel. Praktische Beispiele von Ruhestromkreisen. Trennamt 320. Ruhekontakt platiniert 321. Zusammenfassung 322. Amerikanischer Ruhestrom 323. Die wichtigsten Schaltungen für Arbeits- und Ruhestrom 323—330.

Morseschnellbetrieb: Automatische Zeichengebung 331. Schnelltelegraph 332.

16. Vorlesung. Der Hughes-Apparat. 335—365.

Mit einer kurzen Besprechung **des Ferndruckers.** 366—368.

Verhältnis des Hughes zu Farbschreiber und Klopfer 335. Jeder Buchstabe durch einen einzigen Tastendruck übertragen 336. Zwei synchrone Typenräder 340. (Postmuseum 340.) Tasten 342. Figurenwechsel 343. Tastenhebel. Stiftbüchse. Kontaktstifte 344. Schlitten 345. Kontakthebel. Stromstoss 347. Elektromagnet 348. Antrieb durch einen Gleichstrommotor 350. Motor- und Schwungradachse machen an 800 Touren 352. Typenrad- und Schlittenachse 120. Der Auslösehebel verkuppelt Schwungrad- und Druckachse für eine Umdrehung 353. Die dann von der Schwungradachse mitgenommene Druckachse schlägt den Druckhebel gegen das Typenrad 354. Die drei Erfordernisse des Typenrades. Typen-, Korrektions- uud Friktionsrad 355. Typen- und Korrektiousradbuchse. Wechselhebel und Klinkenausschuitte. Zahnklinke und Dreifingerhebel 356. Bremsregulator 357. Zusammenarbeiten zweier Apparate 359. Der Korrektionsdaumen und seine dreifache Aufgabe: Anhängen des Typenrades an das Friktionsrad, Kontrolle des Synchronismus, Figurenwechsel 360. Erst die fünfte folgende Taste darf gedrückt werden 362. Möglichste Ausnutzung jedes Schlittenumlaufes 363. Dauer des Stromstosses. Schaltung 364. Ferndrucker und das Ferndruckeramt 366—368.

17. Vorlesung. Die Kabelströme. 369—386.

Das Ohmsche Gesetz gilt nur für den Dauerzustand, nicht für den Telegraphierstrom 369. Selbstinduktion. Kurvenaufnahme 370. Capacität. Lade- und Entladestrom 371. *Oberirdische* Leitungen und Kabel. Zusammensetzung der Kabel 374. Stromverlauf bei Widerstand und Capacität (Wassermodell 378), bei Widerstand, Selbstinduktion und Capacität 380. Batterie scheinbar kurz geschlossen. Bedeutung ihres inneren Widerstandes 382. Ladezeit von der *EMK* unabhängig 383. Telegraphiergeschwindigkeit dem Produkte *CW* und damit dem Quadrat der Leitungslänge proportional 384.

18. Vorlesung. Der Kabelbetrieb 387—420.

Verhalten des Empfangsapparates 387. Zwei kritische Stromstärken 388. Kleiner Ankerspielraum. Reihe von Punkten 389 und Strichen 390. Mittlere Einstellung. Hilfsmittel bei grossem *CW*: Streckenteilung. Polarisierte Relais und entgegengesetzt geschaltete Klemmen 392. Beschleunigung der Entladung durch unmittelbares Erden 394. Induktanzrolle 395—400. Verlauf des Hughesstromes 400. Nur eine kritische Stromstärke 402. (Lauf zweier Hughes streng genommen asynchron 402 Fussnote).

Der Betrieb langer Unterseekabel. 403—420.

Condensatorabschluss gegen Erdströme und zur Versteilerung der Stromkurve 403. Kleinheit der Amplitude 404. Niedrige Betriebsspannung. Punkte und Striche entgegengesetzte Stromrichtung 405. Doppeltaste. Schwankender Nullpunkt 406. Galvanometrischer Empfang 407. Spiegelgalvanometer. Astasie 408. Empfindlichkeit. Richtmagnet 409. Prinzip der Drehspule 411. Heberschreiber 412. Wellenschrift 414. Originalstreifen 415. Ursache des schwankenden Nullpunktes 416. Übertragung auf Inseln 417. Trommelrelais. Grosse Empfindlichkeit durch Drehtrommel 418. Unveränderter Nullpunkt durch Correktionsströme 420.

19. Vorlesung. Der Vielfachbetrieb. 421—434.

Baudotprinzip 421: Umschichtige Benutzung eines Drahtes durch mehrere Apparate. Verteilerhebel 422. Differential-Gegensprechen: Differentialprinzip bei Galvanoskop 423 und Relais 424. Differentialschaltung 425. (Stöpselwiderstände. Anordnung. Manganin. Bifilare Wicklung 426 Fussnote). Ausgleichswiderstand 425. Abgehendes 426 und ankommendes Telegramm. Taste des Empfangsamtes 427. Ausgleichscapacität 430. Künstliche Leitung. Brücken-Gegensprechen: Brückengesetz 431. Zweites Schema. Wirkliche Schaltung. Abgehendes 433 und ankommendes Telegramm. Keine gegenseitige Störung 434.

20. Vorlesung. Telephon und Mikrophon. 435—449.

Telephon 435—438. Bau 435. Umsetzung von elektrischer- in Schallarbeit. Gleiche Periodenzahl von Strom und Ton 436. Die Amplitude

der Stromwelle entspricht der der Schallwelle. Schwächung durch Selbstinduktion. Empfindlichkeit 437. (Fernsprecher und Fernhörer 438 Fussnote.)

Mikrophon 438—449. Bleistiftmodell 438. Widerstandsänderungen. Ihre Erklärung aus dem Ausbreitungswiderstande, dessen Grösse sich mit der Breite der Stromübergangsstellen ändert 439. Wellenstrom. Umwandlung von Arbeit im Telephon, Auslösung im Mikrophon 442. Walzenmikrophon 444. Die Vermehrung der wirksamen Contakte bewirkt eine bessere Ausnutzung der zugeführten Schallenergie, eine etwas geringere Strombelastung, vermehrte Betriebssicherheit und vermeidet Contaktverbrennung durch Öffnungsfunken 446. Kohlenstoff als mikrophonisches Material. Fabrikation der Mikrophonkohle 448.

21. Vorlesung. Die telephonische Übertragung. 450—474.

Übertragung von Höhe 450, Stärke 451 und Klangfarbe eines Tones 452. (Weibliche Beamte 452 Fussnote). Die Kleinheit der nützlichen Stromschwankungen, ohne 452 und mit Berücksichtigung der Selbstinduktion des Telephons 455, bei grossem Ballaststrom. Der Transformator 457. Mikrophonkreis. Telephonkreis. Die drei Vorteile des Transformators: Der kleine Widerstand der Primärwicklung vergrössert die mikrophonischen Stromschwankungen 458. Auf den Sekundärkreis werden nur die Schwankungen, nicht der constante Ballast übertragen. Die Spannungserhöhung verkleinert die Leitungsverluste 459. Übersetzung 460. Prinzipielle Schaltung 461.

Die Leitung 462—474: Eisendraht. Hauteffekt 462. Leitfähigkeit und Festigkeit. Kupfer-, Bronze- 463, Doppelbronze, Compounddraht. Einfach- und Doppelleitung 464. Übertrager 466. Kabel 467. Der schädliche Einfluss der Capacität. Papierkabel 468. Die Schwächung der Stromamplitude 470 und das Ansteigen der Schwächung mit der Periodenzahl. Bedeutung des *OW* 471. Pupinspulen 472.

22. Vorlesung. Die Fernsprechgehäuse und die in ihnen vereinigten Apparate. 475—511.

Technische Formen von Telephon und Mikrophon 475—484: Hufeisentelephone 475. (Stephan an Bismarck 475 Fussnote.) Telephon von D'Arsonval 478 und von Gower 479. Deutsches Kapseltelephon 479. Französisches und englisches Walzenmikrophon 480. Körnermikrophone Contaktkammer 481. Schwedische Sammlung 482. Berlinersches Mikrophon 483. Zusammenbacken der Körner 484.

Hilfsapparate 484—501. Sicherung: Blitzableiter 485. Grob- und Feinsicherung 486. Anruf: Wecker für Gleich- 487 und Wechselstrom. Magnetinduktor 488. Drahtwindung im Magnetfelde 489. Kraftlinienänderung 490. Wechselstrom 492. Arbeitsquelle 493. Anker. Elektromotorische Kraft und Klemmenspannung 494. Doppel T-Anker. Antrieb. Umschaltung 496. Hakenumschalter 499.

Gehäuse 501—511: Schrank und Pultgehäuse 501. Mikrophon auf verstellbarem Arm 502. Schaltung 503. Tischgehäuse 505. Kurzschluss

der secundären Induktionsspule 507. Telephon auch zu ihr parallel. Schaltung 508. Patrouillenapparate 509. Automat 510.

Aufgaben des Fernsprechamtes. 512—516.

Durch grosse Teilnehmerzahl unverhältnismässig erschwert 512. Klinke. Stöpsel. Vielfachprinzip 514. Dreiecksschrank 516.

23. Vorlesung. Funkentelegraphie. Erster Teil. 517—528.

Funkentelegraphische Erscheinungen nicht merkwürdiger, als alle anderen elektrischen- auch. Dazu Ämter verbunden, wenn auch nicht durch Draht. Notwendigkeit eines Körpers zur Ausbreitung von Schall 517, Licht und Wärme. Äther. Ätherquerwellen 518. Geschwindigkeit constant. Schwingungszahlen und Wellenlängen veränderlich 520. Freie elektrische Wellen. Vom Funken erregte Drahtwellen stossen den Äther zu freien Wellen an. Fritter 521. Antennen 522. Hertzsche Versuche zeigen Ausbreitung, Spiegelung, Brechung, Interferenz, Geschwindigkeit elektrischer Wellen 523—528.

24. Vorlesung. Funkentelegraphie. Zweiter Teil. 529—559.

Entfrittung. Morsezeichen 529. Wellenzeiger 530. Beschreibung der Fritterwirkung 531. Elektrolytische Zelle 532. Entladung schwingend oder nicht. Dämpfung 533. $W = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$. Inaktiver Funke. Unterteilte Funkenstrecke 536. Eigenperiode eines Schwingungskreises: $T = 2\pi\sqrt{LC}$. 537. Luftdraht schwingt in einer viertel Welle 541. Zur Vermeidung von Abfangen und Stören durch Fremde Abstimmung des Ämterpaares notwendig 542. Technische Anordnung: Luftdraht. Gegengewicht 544. Verminderung der Dämpfung mittelst zweier gekuppelter Kreise 545. Lose Kupplung 548. Abfangen und Stören trotz Abstimmung 549. Funkentelegraphische Massenwirkung. Apparate 550. Verwendung der Funkentelegraphie 558.

Schlussbemerkung 560.

Zusammenstellung der Abkürzungen.

(Mit Ausnahme der chemischen Symbole).

A	Arbeit.
A'	Eingeladene elektrische Arbeit.
A''	Ausgeladene elektrische Arbeit.
A (A_1 A_2)	Wicklungsanfang.
a	Windungszahl einer Ankerspule.
a	Teilnehmeranzahl.
Amp	Ampere.
B	Magnetisierung, Kraftliniendichte im Eisen. Batterie.
B_1 B_2	Batterien oder Batterieteile.
$+ B$, $- B$	positive und negative Batterieklemme.
C	Capacität.
C_D, C_L, C_1 C_2 C_3	Capacität eines Dielektrikums, der Luft, verschiedener Dielektrika.
$C W$	Capacität mal Widerstand ($M F$. Megohm).
C_{Ia} C_{Ib} C_{IIa} C_{IIb}	Capacitäten von vier Schwingungskreisen.
c	Elektrisches Wärmeäquivalent 0,24. Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Wellen.
d, d_1 d_2 d_3	Dielektrieitätsconstante.
E	Elektromotorische Kraft, Spannungsunterschied.
E (E_1 E_2)	Wicklungsende.
Ek	Klemmenspannung.
Ek'	Mittlere Ladespannung.
Ek''	Mittelere Entladespannung.
E_I E_{II}	Primäre und sekundäre Transformatorspannung.
e	Gegenspannung durch Selbstinduktion, — in einer Windung.
e_I	Primäre Selbstinduktion des Transformators.
F	Kraft der Anzichung oder Abstossung . Farad.
Fr	Fritter.
G	Galvanoskop.
G_1 G_2	Galvanoskope. Wicklungen des Differentialgalvanoskops.
H	Magnetisierende Kraft. Kraftliniendichte in Luft. Hakenumschalter mit Federn 1 bis 5.

J	Stromstärke. Gesamtstrom. Schallintensität (J_1 J_2). Magnetinduktor (J_I J_{II} seine beiden isolierten Klemmen).
J_h J_p	Strom aus hintereinander- und aus parallel geschalteten Zellen.
J_o J_I J_{II}	Ströme im Glühlampenmodell der ersten Vorlesung.
J_I J_{II}	Primärer und secundärer Transformatorstrom.
J_o J_1 J_2	Mittlerer, kleinster, grösster Mikrophonstrom.
i_1 i_2 i_3 i_4	Zweigströme. Ströme in den Brückenseiten.
Kl	Entfrittungsklöppel.
L	Leitfähigkeit. (L_1 L_2). Permeabilität. Leistung. Leitung. Selbstinduktion (in 10^9 cm).
L_s	Specifische Leitfähigkeit.
LB	Leitungsbatterie.
L_a L_b	Telephonische Leitungen.
L_{Ia} L_{Ib} L_{IIa} L_{IIb}	Selbstinduktionen von vier Schwingungskreisen.
L_1 L_2 L_3	Leitungen, Leitungslängen.
l	Länge. Wellenlänge.
M	Wärmemenge, (M_1 M_2) Morse, (Farbschreiber oder Klopfer).
MB	Mikrophonbatterie.
MF	Mikrofarad.
Mi	Mikrophon.
m_1 m_2	Magnetische Polstärken.
N	Nordpol. Gesamte Kraftlinienzahl.
n	(n_I n_{II}) Windungszahl von Spulen. Anzahl geschalteter Elemente. Schwingungszahl von Wellen.
nJ	Amperewindungen.
n_1 n_2 n_3	Zellenzahlen.
O	Osten.
OB	Ortsbatterie.
P	Verzweigungspunkt.
PR	Polarisiertes Relais.
Q	Elektricitätsmenge (Q_1 Q_2).
Q' Q''	Ein- und ausgeladene Elektricitätsmenge.
q	Querschnitt.
R	Relais (R_1 R_2). Widerstand der Farbschreiberspulen.
r	Abstand, Entfernung (r_1 r_2 r_3).
S	Südpol.
s	Länge eines schwingenden Fadens oder Drahtes. Höhe einer schwingenden Luftsäule.
T	Schwingungsdauer. Taste (T_1 T_2 T_3). Telephon.
Tr	Trennung.

T_{Ia} T_{Ib} T_{IIa} T_{IIb} Schwingungsdauer der verschiedenen Schwingungskreise.

t Zeit.

$\ddot{U}b$ Übertragung.

V Verluste im Transformator.

W Widerstand. Ohmscher Widerstand. Äusserer Widerstand des Mikrophonkreises. Bei der Differentialschaltung: Widerstand zur Erde von G_2 aus. Westen.

W' Scheinbarer Widerstand, Widerstand gegen Wechselstrom, zusammengesetzt aus Ohmschem Widerstand und Induktanz. Bei der Differentialschaltung: Schutzwiderstand.

W_E Widerstand der Erdung.

W_G Widerstand einer Galvanoskopspule.

W_L Widerstand der Leitung.

W_R Widerstaud einer Relaisspule.

W_s Spezifischer Widerstand.

W_1 W_2 Ausgleichswiderstände bei einer Trennstelle.

w Widerstand des ruhenden Mikrophons.

w_i Innerer Widerstand von Zellen.

w_k Künstlicher Widerstand.

w_l Äusserer Widerstand, Nutzwiderstand.

w w_0 w_I w_{II} Widerstand der Glühlampe und ihrer Zuleitungen im Modell der ersten Vorlesung.

w_1 w_2 w_3 w_4 Widerstände der Brückenseiten.

Bücherei
des
Telegraphentechn. Reichsamts
B 339

Kaiserliches
Telegraphen-Versuchsamt.

1. Vorlesung.

Der elektrische Strom.

Die Mechanik des elektrischen Stromes unbekannt. — Ein Leiter zwischen Klemmen verschiedener Spannung. — Der Strom. — Elektromotorische Kraft, Elektricitätsmenge, Stromstärke. — Leitfähigkeit. — Gute und schlechte Leiter. — Specifisches Leitvermögen, Länge und Querschnitt. — Widerstand, specifischer Widerstand. — Ohmsches Gesetz. — Hydraulisches Bild. — Im ganzen Kreise dieselbe Stromstärke. — Spannungsabfall. — Vergleich des elektrischen- mit einem Luftstrom. — Skizzen und Ausdrucksweise. — Glühlampenmodell. — Diagramme.

Die erste Vorlesung soll Sie in die Grundlagen der Lehre vom elektrischen Strome einführen, deren völliges, durch gründliches Durchdenken gefestigtes Verständnis für alle weiteren Studien unerlässlich ist. Allerdings bereitet der erste Schritt dem Causalitätsbedürfnis eine Enttäuschung. Denn so hoch auch der Stand, den die Elektrik einnimmt, so grossartig ihre Entwicklung in Werk und Lehre, so wenig die Menschheit den elektrischen Strom missen könnte, ohne in einen Zustand der Barbarei zurückzusinken, so wenig wissen wir von dem inneren Vorgange, der sich beim Fliessen eines elektrischen Stromes abspielt, so unbekannt ist noch seine Mechanik. Was wir

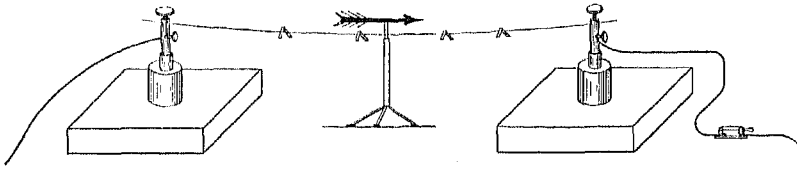


Fig. 1. Demonstration der Wärmewirkung eines elektrischen Stromes.

hingegen kennen und vielfach bis in alle Einzelheiten beherrschen, sind Wirkungen des Stromes. Eine solche hervorzurufen, sehen Sie vor sich unsern ersten Versuch (Fig. 1) aufgebaut.

Ein Eisendraht wird mit seinen Enden je in eine dieser beiden, mit dem elektrischen Leitungsnetz der Stadt verbundenen Standklemmen gesteckt, deren Schraube angezogen und dieser Schalthebel umgelegt[1]). Sie bemerken, dass der Draht sich ausdehnt. Ich fühle, dass er warm wird. Die auf ihm sitzenden Papierreiterchen fühlen es auch und beginnen zu schweelen. Hier fängt sogar eins zu brennen an. Der Draht wird rot —, dann weissglühend und schmilzt schliesslich unter Feuererscheinung durch. Das Einschalten des Drahtes zwischen die Klemmen setzt eine Wärmeentwicklung in Gang, als deren Ursache wir das Fliessen eines elektrischen Stromes angeben. Von der einen Klemme zur andern, in unserm Falle von der linken zur rechten in der Richtung des dahinter stehenden grossen Pfeiles, wird nach unserer Annahme ein Etwas transportiert, das wir Elektricität nennen. Was das Etwas ist, wissen wir nicht. Genug, es bewegt sich von der einen Klemme zur anderen, und ein solcher Transport, eine solche Bewegung von Elektricität heisst ein elektrischer Strom.

Zum Fliessen eines Stromes ist nötig, dass die Elektricität in der einen Klemme einen grösseren Druck, eine höhere Spannung[2]) besitze, als in der anderen, und dass dieser Spannungsunterschied fortgesetzt aufrecht erhalten werde. Durch die Leitungsdrähte und den Schalthebel sind die Klemmen mit dem Kupfer-Innern zweier unter der Strassenoberfläche verlaufenden Kabel und durch sie mit der elektrischen Maschine des Kraftwerkes verbunden. Das Werk ist durch Vertrag verpflichtet, Elektricität der verabredeten Spannung zu fabrizieren. In dem Maasse, in welchem sich der Spannungsunterschied der Klemmen durch ihre leitende Verbindung ausgleicht, wird gleichsam durch das eine Kabel gespannte Elektricität hergedrückt, durch das andere Kabel die ihrer Spannung beraubte abgesaugt. Wie das Werk das macht, kümmere uns jetzt nicht. Sie werden bei Gelegenheit der Telephoninduktoren davon eine Vorstellung bekommen. Zunächst sorgen wir uns aber weder um die maschinellen, noch um andere Erzeugungsarten der Elektricität und beginnen unsere Betrachtung erst bei den Standklemmen hier auf dem Tisch.

[1]) Natürlich muss der nötige Widerstand vorgeschaltet sein.

[2]) Die Engländer nennen die Spannung direkt pressure, Druck.

Der zwischen diesen Klemmen bestehende Unterschied der elektrischen Spannung drückt die Elektricität durch den Metalldraht. Er verursacht ihr Fliessen; er setzt und erhält sie in Bewegung; er bildet, wie das Fremdwort heisst, die Elektromotorische Kraft oder, nach englischem Vorbilde abgekürzt, die *EMK*. Zwischen der Grösse der Spannungsdifferenz oder Elektromotorischen Kraft und der Menge der von ihr, als der Ursache, in Bewegung gesetzten Elektricität besteht eine einfache Beziehung. Wie man durch den Versuch erweisen und sich auch leicht vorstellen kann, sind sie einander proportional. Der doppelte Spannungsunterschied schickt durch denselben Draht in derselben Zeit die doppelte Menge Elektricität, die doppelte Elektricitätsmenge, wie der einfache. Man ist gewohnt, die in der Sekunde durch einen Querschnitt des Drahtes fliessende Elektricitätsmenge als die Stärke des elektrischen Stromes, als die Stromstärke zu bezeichnen. Mithin ist auch sie, die Stromstärke, der Spannungsdifferenz proportional.

Für die mathematische Darstellung wird der Spannungsunterschied oder die Elektromotorische Kraft mit dem ersten Buchstaben dieses Wortes mit E und die Stromstärke von ihrem früher gebräuchlichen Namen Intensität her mit J bezeichnet. J ist also proportional E.

$$J \propto E$$

Beide Grössen sind durch eine dritte verknüpft, welche dem zwischen den Klemmen eingeschalteten Leiter zugeschrieben werden muss und seine Leitfähigkeit L genannt wird. Sie wird definiert aus der Gleichung:

$$J = E \,.\, L$$

Auch die Leitfähigkeit oder das Leitvermögen ist mithin der Stromstärke proportional. Je grösser das Leitvermögen, umso grösser — bei gleicher Spannungsdifferenz — der Strom. Bei grossem Leitvermögen des zwischen die Klemmen geschalteten Drahtes erzeugt schon ein kleiner Spannungsunterschied einen verhältnismässig grossen Strom, wird pro Sekunde eine verhältnismässig grosse Elektricitätsmenge vorwärts geschoben. Leitet der Draht in einem Falle nur halb so gut, als in einem

andern, so treibt dieselbe Spannungsdifferenz nur den halben Strom hindurch.

Die Grösse der Leitfähigkeit L hängt, wie man sich leicht denken kann, zuerst von dem Material des leitenden Körpers ab. Es giebt gute und schlechte Leiter der Elektricität. Einige bekannte Körper bilden vom best bis zum schlechtst leitenden die Reihe: Silber, Kupfer, Aluminium, Platin, Eisen, Neusilber, Quecksilber. Ihnen schliessen sich die ganz schlecht oder praktisch garnicht leitenden Substanzen, die Isoliermaterialien an. Solche sind Glas, Porzellan, Glimmer und der aus Glimmerabfällen zusammengeleimte Mikanit, dann Theer, Asphalt, Guttapercha, Kautschuk, gewisse Harz- und Gummipräparate, wie Ebonit oder andere, die je nach dem Fabrikanten Stabilit, Isolacit, Ambroin oder anders heissen, endlich Gespinste aus Seide, Baumwolle, Hanf, Jute und noch eine grosse Zahl anderer Körper. Ein Maass für das Gut- oder Schlechtleiten einer Substanz bildet das spezifische Leitvermögen L_s, die Leitfähigkeit der Substanz an sich, eine Materialconstante. Das spezifische Gewicht ist bekanntlich das Gewicht der Volumeneinheit. Das spezifische Leitvermögen wird dementsprechend als das Leitvermögen eines Einheitsstabes definiert, dessen Länge 1 m und dessen Querschnitt 1 mm² beträgt. Am schlechtesten von den Metallen leitet das Quecksilber. Sein spezifisches Leitvermögen liegt nur wenig über 1. Aufsteigend sind dann die ungefähren Zahlen für

Neusilber	3.	Eisen	10.	Platin	11.
Aluminium	33.	Kupfer	57.	Silber	60.

Eisen leitet etwa 10mal so gut wie Quecksilber, Kupfer etwa 57 mal so gut, Kupfer leitet mithin etwa 5,7 mal so gut als Eisen. Sie sehen, der Grund für die Verwendung des Kupfers zu elektrischen Leitungen liegt in seinem grossen spezifischen Leitvermögen. Kleine Beimengungen fremder Metalle beeinflussen die Grösse von L_s ganz ausserordentlich. Es ist deshalb auf besonders reines Leitungskupfer grosser Wert zu legen.

Das Leitvermögen hängt ausser von der Grösse L_s, dem Material des Leiters, noch von seinen Dimensionen ab. Je dicker ein Draht, umso besser, je länger er ist, umso schlechter leitet er. L ist also dem Querschnitt q direkt, der Länge l um-

gekehrt proportional. Das Leitvermögen L ist gleich dem des Einheitsstabes L_s, multipliziert mit dem Querschnitt in Millimetern, dividiert durch die Länge in Metern

$$L = \frac{q}{l} L_s$$

Bei den metallischen Leitern spricht man gewöhnlich nicht von ihrem Leitvermögen, von der Fähigkeit, den Strom zu leiten, sondern von der, der Leitung des Stromes Widerstand entgegen zu setzen. Es ist nur eine verschiedene Ausdrucksweise für dieselbe Thatsache, wenn wir sagen, ein langer Telegraphendraht leite schlecht, oder er besitze einen grossen Widerstand. Das erste ist vielleicht verständlicher, das zweite gebräuchlicher. Leitvermögen und Widerstand sind reciproke Werte.

$$L = \frac{1}{W} .$$

Setzt man diesen Wert für L in unsere Gleichung $J = E . L$ ein, so wird sie zu

$$J = \frac{E}{W}$$

Die Stärke eines Stromes ist gleich der ihn treibenden Spannung dividiert durch den Widerstand des durchflossenen Leiters.

Dem spezifischen Leitvermögen ist der spezifische Widerstand reciprok.

$$L_s = \frac{1}{W_s}$$

Der spezifische Widerstand des Quecksilbers liegt mithin ein wenig unter 1; er ist etwa 0,94, Kupfer mit dem L_s von 55 bis 57 hat ein W_s von $^1/_{55}$—$^1/_{57}$, etwa = 0,018, Silber mit einem L_s von etwa 60 hat $W_s = {}^1/_{60} = 0{,}017$. Weitere ungefähre Werte von spezifischen Widerständen sind: Aluminium 0,03, Platin 0,09, Eisen 0,1, Neusilber 0,3, Nickelin (eine Legierung, die etwa zur Hälfte aus Kupfer und zu je ein Viertel aus Nickel und Zink besteht) 0,41, Manganin (aus 84 % Kupfer, 12 % Mangan und 5 % Nickel zusammengesetzt) 0,47.

Statt

$$L = L_s \frac{q}{l}$$

heisst es jetzt

$$W = W_s \frac{l}{q}.$$

Die beiden Gleichungen

$$J = \frac{E}{W} \text{ und } W = W_s \frac{l}{q}$$

sind von dem deutschen Professor Ohm aufgestellt worden und heissen nach ihm das **Ohmsche Gesetz**. Sie besitzen für die gesamte Elektrik die allergrösste Wichtigkeit und sind unbedingt dem Gedächtnis einzuprägen. Für die Hauptgleichung wird das durch die Form $E = JW$ erleichtert, in der sich die Buchstaben in alphabetischer Reihe folgen.

Ein Hilfsmittel für das erste Verständnis der im Ohmschen Gesetz gegebenen Beziehungen ist der Vergleich des elektrischen mit einem Wasserstrome, von dem angenommen wird, dass er, ohne unterwegs Nebenflüsse aufzunehmen oder Wasser zu verlieren, von der Quelle zur Mündung herabfliesst. Der Höhenunterschied zwischen Quelle und Mündung spielt für den Wasserstrom die gleiche Rolle, wie der Spannungsunterschied für den elektrischen. Er setzt das Wasser in Bewegung; er ist die aquamotorische Kraft. Quelle und Mündung entsprechen deshalb den Klemmen. Die Wassermenge, die pro Sekunde unter einer Brücke hindurchfliesst, ist dem treibenden Höhenunterschiede proportional: Vom Gebirge stürzt das Wasser in Fällen herab; ein Fluss der Ebene zieht gemächlich. Ausser von der treibenden Höhendifferenz hängt die Geschwindigkeit des Fliessens vom Widerstande des Bettes ab, zunächst von dessen Beschaffenheit. Ist das Bett mit Steinen angefüllt, gegen welche die Strömung anprallt und von denen sie gehemmt wird, so giebt es ein Bild eines Leiters mit grossem spezifischen Widerstande. Ist das Bett von Steinen befreit, vielleicht ausgemauert wie ein Kanal, so deutet das einen kleinen Widerstand des Materiales an. Verteilt sich dieselbe Höhendifferenz über eine lange Flussstrecke, so wird die Bewegung langsam geschehen: Der Fluss der Ebene; das Gegenteil der Wasserfall. Ist das Bett breit, so wird es natürlich eine grössere Wassermenge transportieren können, als wenn es eng ist. Das sind die Beziehungen zwischen elektrischem und Wasserstrom, die wohl nur deshalb so nahe

scheinen, weil wir noch immer in der Anschauungs- und Ausdrucksweise leben, als ob die Elektricität den Leiter wie eine Flüssigkeit ein Rohr durchfliesst. Solange aber, bis an Stelle der jetzigen Anschauung keine wissenschaftlich befriedigendere getreten ist, muss man sich mit ihr behelfen, sich des Bilderhaften nur immer bewusst bleiben.

Zwei Thatsachen sind hier noch besonders zu beachten; zuerst die eine: Denkt man sich wie vorhin von dem Wasserstrome künstlich alle fremden Zuflüsse und alle Wasserverluste abgewehrt und über ihn zwei Brücken, die eine mehr stromauf-, die andere mehr stromabwärts geschlagen, so fliesst in der Sekunde unter beiden Brücken gleichviel Wasser hindurch. Das Bild deckt sich etwas mehr mit der Wirklichkeit, wenn sie den Wasserstrom durch eine Wasserleitung ersetzen. Die mächtige Pumpe des Wasserwerkes übt mit ihrem Kolben einen grossen Druck auf das Wasser aus. Dieser Druck ist jetzt die aquamotorische Kraft. Von ihm, von der Länge und dem Querschnitt der unverzweigt gedachten Röhrenleitung wird die in der Sekunde beförderte Wassermenge abhängen. Es ist klar, dass in allen Teilen der Leitung das Wasser gleich schnell strömt. Würde sich die Schnelligkeit des Fliessens mit der Entfernung vom Werke vermindern, so würde mehr Wasser nachströmen, als abfliesst, die Wasserteilchen müssten auf einander prallen und sich zusammendrücken. Am Ende der Leitung kann aber auch nicht mehr Wasser abfliessen als nachgepumpt wird; sonst müsste mitten in der Röhre ein leerer Raum entstehen. Hieraus ist zu folgern: Ein unverzweigter, ideal isolierter elektrischer Strom führt pro Sekunde durch jeden Querschnitt die gleiche Elektricitätsmenge; in seinem ganzen Lauf herrscht dieselbe Stromstärke.[1]) Weder ist die Elektricität in einem Teile des Stromes dichter als in einem andern, noch kann mitten in dem fliessenden Strome eine Lücke entstehen. Im ganzen Stromkreis herrscht das gleiche J, aber nicht das gleiche E. Jede Stelle des Wasserstromes hat ein höheres Niveau als die Mündung, ein niedrigeres als die Quelle. Jeder Schritt vorwärts ist auch ein Schritt abwärts. In der Wasserleitung ist der Druck unter dem Pumpen-

[1]) Von den durch Kabel bewirkten Komplikationen ist hier natürlich abgesehen.

kolben der grösste, und allmählich wird er durch das Fliessen verzehrt. Gerade so mit der elektrischen Spannung. Die Elektricität liefernde Klemme hat die höchste, die sie ableitende die niedrigste Spannung. Alle dazwischen liegenden Punkte des Stromlaufs haben dazwischen liegende Spannungen. Der Transport der Elektricität durch den Draht zehrt ihre Spannung auf. Es findet gemeinsam mit dem Strömen, weil durch das Strömen, ein Nachlassen der Spannung, ein Spannungsabfall statt. An alien Stellen gleiches J, aber stete Abnahme von E durch den Kreislauf.

Diese beiden Thatsachen sehen Sie hier (Fig. 2) im hydraulischen Bilde vor sich. Ein Glascylinder steht durch eine seitliche, in der Nähe des Bodens gelegene Öffnung mit

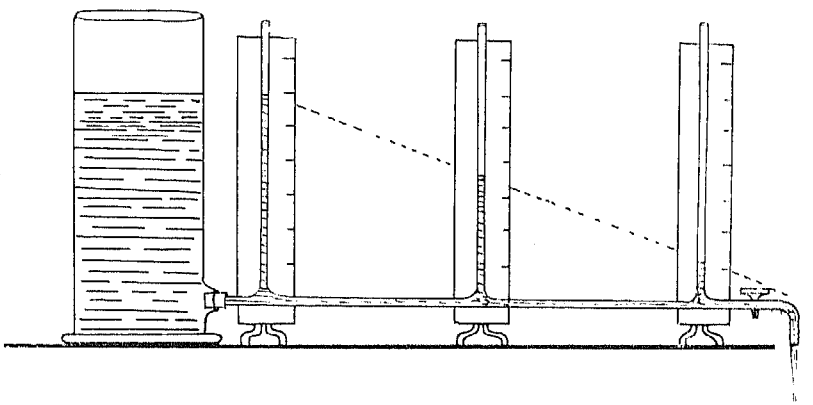


Fig. 2. Hydraulisches Abbild des elektrischen Stromes.

einer horizontalen Glasröhre in Verbindung. Diese horizontale Glasröhre trägt in von einander gleichen Abständen drei vertikale, die oben offen sind. Ist das freie Ende der horizontalen Röhre durch einen Hahn verschlossen, so steht nach dem Gesetz von den kommunizierenden Röhren das Wasserniveau in allen drei Vertikalröhren ebenso hoch wie im Cylinder. Wird der Hahn geöffnet, so fliesst durch jeden Querschnitt der Röhre in der Sekunde dieselbe Wassermenge. Man kann sie leicht messen, wenn man das während einer bestimmten Zeit aus der Röhre ausfliessende Wasser in einem Maasscylinder auffängt und die erhaltene Anzahl Kubikcentimeter durch die Dauer des Fliessens in Sekunden dividiert. Der Stand des

Wassers in den vertikalen Röhren zeigt den gleichmässigen Niveauabfall vom Cylinder bis zum Hahn an.

Um uns die Grundbegriffe der Lehre vom elektrischen Strome, wie sie im Ohmschen Gesetz ihren Ausdruck finden, recht klar zu machen, scheuen wir uns nicht, einen weiteren bildlichen Vergleich, und zwar aus dem Alltagsleben, zu betrachten: Ein Zimmer werde von einem geheizten Ofen über die Temperatur der äusseren Luft erwärmt. Sobald ein Fenster geöffnet wird, strömt die warme Luft aus dem Zimmer ins Freie. Das entgegengesetzte Strömen des gleichen Volumens kalter Luft ist zur Zeit für den Vergleich ohne Belang. Die warme Luft strömt so lange durch das Fenster hinaus, als sie draussen abgeführt und als innen der Ofen genug erwärmt und so fortwährend der Temperaturunterschied aufrecht erhalten wird. Ist es ja doch dieser Temperaturunterschied, welcher die Luftbewegung verursacht; man könnte ihn die aëromotorische Kraft nennen. Je grösser er, um so heftiger die Luftbewegung, ein um so grösseres Luftvolumen wird in einer bestimmten Zeit den Fensterquerschnitt passieren. Ein heisser Ballsaal wird durch ein in die Winterkälte hinaus geöffnetes Fenster in wenigen gefährlichen Augenblicken abgekühlt. Die Temperaturdifferenz von 30° C. oder mehr jagt die heisse Luft allzu schnell ins Freie. Im Frühjahr bei einer Temperaturdifferenz von vielleicht nur 10° braucht ein Zimmer wesentlich längere Zeit, um zu lüften, weil eben pro Sekunde nur ein kleineres Luftvolumen nach aussen entweicht. Sie fühlen das Analoge zwischen dem mechanischen und dem elektrischen Vorgang. Temperatur- und Spannungsdifferenz, Stärke der Luftströmung — d. h. pro Sekunde durch das Fenster entweichendes Luftvolumen — und Stärke der elektrischen Strömung — d. h. pro Sekunde durch den Querschnitt fliessende Elektricitätsmenge — sind Analoga. Das pro Sekunde beförderte Luftvolumen wächst mit der Grösse der durchströmten Fensteröffnung. Ein weit geöffnetes Fenster bewirkt schnellere Lüftung als eine kleine Ventilationsklappe. Will man die Leiterlänge mit dem Spannungsabfall in dem Bilde wiederfinden, so muss sich das ins Freie führende Fenster nicht im Zimmer selbst, sondern am Ende eines Ganges befinden, der mit dem Zimmer durch eine offene Thür verbunden ist. Die Lüftung beansprucht dann eine um so grössere Zeit, je länger der Gang und je

kleiner sein Querschnitt ist. Die den Gang hinunter strömende Luft ist wärmer, als die im Freien, und kälter, als die im Zimmer, und zwar werden mehrere auf dem Gang angebrachte Thermometer ein allmähliches Sinken der Temperatur vom Zimmer zum Fenster anzeigen.

Im Laufe der Vorlesungen werden zur leichteren Verständigung vielfach Skizzen zu zeichnen sein. In ihnen (Fig. 3) bedeuten zwei parallele verschieden lange Striche neben einander die beiden Klemmen verschiedener Spannung, und zwar soll der grössere Strich die die höher gespannte Elektricität zuführende Klemme, der kleinere die die niedrig gespannte ableitende Klemme darstellen. Die dazu senkrechte Linie bedeutet den Stromleiter und der an ihr angebrachte Pfeil die Stromrichtung. Das Kreuz stellt einen Ausschalter vor, welcher beim Umlegen seines Hebels die beiden Enden der metallischen Leitungsbahn auseinander führt und zwischen sie eine vom Strom nicht zu überschreitende Luftbrücke legt, also den Strom unterbricht oder öffnet. Ein Zurücklegen des Hebels stellt den metallischen Kreis wieder her und schliesst den Strom. Es wurde hier von Stromkreis gesprochen. In der That ist ein solcher geschlossener Kreis eigentlich ohne Anfang und Ende bei jedem elektrischen Strome vorhanden.[1]) Die beiden Klemmen stehen auch ausser durch den betrachteten Draht noch leitend in Verbindung; doch soll davon erst später die Rede sein.

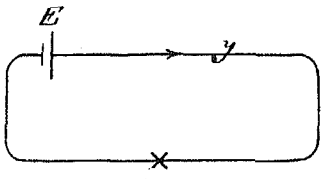


Fig. 3. Skizze eines Stromkreises.

Die Versuche, aus denen das Ohmsche Gesetz hergeleitet wird, eignen sich mehr zu Aufgaben im Laboratorium, als zur Vorführung im Hörsaal. Für uns kommen sie jetzt auch schon deshalb nicht in Betracht, weil Maasse für die betrachteten elektrischen Grössen noch nicht besprochen worden sind. Vielleicht wird Ihnen das Ohmsche Gesetz durch ein kleines Modell (Fig. 4) klarer, das ursprünglich einer elektrischen Treppenbeleuchtung nachgebildet ist, wie sie in sonst mit Gas be-

[1]) Eine Ausnahme davon wird später bei Gelegenheit der Funkentelegraphie besprochen werden.

leuchteten Wohnhäusern den spät nach Hause Kommenden der Benutzung von Streichhölzern überhebt. Im Treppenabsatze jedes Stockwerks ist eine kleine Glühlampe angebracht. Als Elektricitätsquelle dient eine gewöhnlich in der Pförtnerwohnung untergebrachte kleine Akkumulatorenbatterie. Dünne Kupferdrähte stellen die Verbindung zwischen Batterie und Lampen her. Die Leitung ist so lange unterbrochen, bis die aufgehende Hausthür einen Hebel umlegt und dadurch ein Uhrwerk auslöst. Dieses schliesst den Stromkreis der Lampe im Erdgeschoss und lässt sie ungefähr so lange brennen, bis man im ersten Stockwerk angekommen ist. Mit Hilfe eines Druckknopfes wird der Stromkreis der zweiten Lampe geschlossen, während die erste ausgeht u. s. f. Nun kommt es bei schlechten Anlagen wohl vor, dass die unterste Lampe schön hell, die im ersten Stockwerk schwächer und die im zweiten schlecht brennt, obgleich alle drei nach einander von derselben Elektricitätsquelle, also mit derselben Elektromotorischen Kraft gespeist werden.

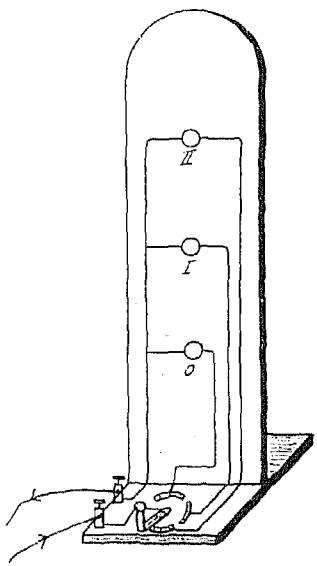


Fig. 4. Modell zur Demonstration des Ohmschen Gesetzes.

Die Helligkeit einer Glühlampe hängt von dem Strome ab, der sie durchfliesst. Trotz derselben Elektromotorischen Kraft und trotzdem die drei Lampen sich vollständig gleichen, also auch denselben Widerstand haben, werden sie von verschieden starken Strömen durchflossen. Das kann nur an dem verschiedenen Widerstand der Zuleitungen zu den drei Lampen liegen. In der That kommt dieser bei den kleinen Spannungen und den kleinen Lampenwiderständen, um die es sich hier handelt, schon in Betracht. Wenn w den Widerstand einer Lampe, w_0 denjenigen der kurzen Hin- und Rückleitung zum Erdgeschoss, w_I den schon längeren zum ersten Stockwerk und w_{II} den längsten zum zweiten Stockwerk bedeutet, so sind die drei Stromstärken:

$$J_0 = \frac{E}{w + w_0}; \quad J_I = \frac{E}{w + w_I}; \quad J_{II} = \frac{E}{w + w_{II}}.$$

Da w_{II} fast doppelt so gross als w_I und dieses mehr als doppelt so gross als w_0 ist, so wird $J_0 > J_I > J_{II}$. Im Modell haben wir dieselben kleinen Glühlampen und dieselbe Elektricitätsquelle wie in Wirklichkeit. Der Zuleitungsdraht dagegen besteht statt aus Kupfer aus Manganin, dessen spezifischen Widerstand zu 0,42 angegeben wurde. Auch hier brennen die Lampen ganz verschieden hell, wenn man sie durch Drehen der kleinen Kurbel nach einander einschaltet. Das Modell zeigt erstens, dass bei derselben Elektromotorischen Kraft eine Vergrösserung des Widerstandes den Strom schwächt, zweitens, dass der Widerstand eines Drahtes mit seiner Länge zunimmt, drittens, dass ein Material von grossem W_s, wie Manganin, schon in kurzen Leitungen denselben Widerstand hat, wie lange Leitungen an sich gut leitenden Kupfers. Deshalb sind eben die Kupferleitungen des Treppenhauses im Modell durch Manganindrähte ersetzt.

Wie lässt sich nun der Fehler der Anlage umgehen? Die Lampen werden dann genau gleich hell brennen, wenn $J_0 = J_I = J_{II}$, also $w_0 = w_I = w_{II}$ ist. Da alle drei Leitungen aus Kupfer bestehen, muss die grössere Länge von Zuleitung I und II durch einen grösseren Querschnitt wieder ausgeglichen werden, so dass sowohl bei I wie bei II der Quotient $\frac{l}{q}$ derselbe bleibt.

Aus dem Modell lässt sich noch etwas herauslesen: Das Gesetz $E = JW$ muss auch für den leuchtenden Faden oder Draht einer Glühlampe gelten. Da, wie angegeben, die Leuchtkraft von der Grösse des Stromes J abhängt, so auch von JW oder E, der Spannungsdifferenz, die zwischen den Enden des leuchtenden Fadens herrscht. Es kommt deshalb auf eins heraus, ob man sagt, die Leuchtkraft einer Lampe hänge von dem Strome ab, der sie durchfliesst, oder von der Spannungsdifferenz an ihren Klemmen. Das Dunklerbrennen von Lampe I und II beweist, dass zwischen ihren Klemmen nicht mehr der volle Spannungsunterschied vorhanden, dass auf dem Wege zur Lampe ein Teil der Spannung verloren gegangen ist, dass ein Spannungsabfall stattgefunden hat. Bis zur Lampe 0 ist dieser Spannungsabfall ganz klein, bis zur Lampe I schon merkbar und bis zur Lampe II störend gross.

Von einem solchen Spannungsabfall bekommt man sofort eine klare Vorstellung, wenn man ihn graphisch darstellt, d. h. auf-

zeichnet. Zu dem Ende trägt man in ein rechtwinkliges Achsenkreuz (Fig. 5) vom Schnittpunkt der Achsen O nach rechts die Länge der Zuleitungsdrähte in irgend einem Maassstabe auf, errichtet in gewissen Abständen Lote und macht diese so lang, als — nach dem dafür angenommenen Maassstabe — der

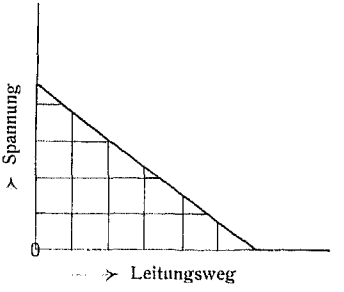


Fig. 5. Spannungsabfall in einem Leiter von gleichmässigem Widerstande.

Spannung an der betreffenden Stelle des Drahtes entspricht. Am Anfang herrscht die gesamte Spannungsdifferenz der Klemmen; am Ende ist sie aufgebraucht. In einem Leiter mit gleichmässigem Widerstande, d. h. aus demselben Material von gleichem Querschnitt, fällt die Spannung gleichmässig ab. Eine schräg abfallende gerade Linie stellt die Abhängigkeit zwischen zurückgelegtem Weg und vorhandener Spannung dar. Das Bild für den Spannungsabfall in einer Glühlampe und ihren Kupferzuleitungen kann natürlich nicht mehr durch eine einzige

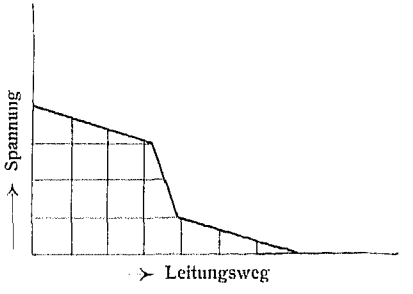


Fig. 6. Spannungsabfall in einer Glühlampe und ihren Zuleitungen.

gerade Linie dargestellt werden. Der Widerstand pro cm Leitungsweg ist in der Lampe viel grösser als in den Zuleitungen, also auch der Spannungsabfall $E = JW$. Das Diagramm sieht so aus (Fig. 6). Die stark geneigte Linie in der Mitte giebt

den Verlauf der Spannung auf dem Weg durch die Lampe, die beiden weniger geneigten Linien rechts und links den Verlauf in den beiden Zuleitungen an. Da jede von diesen aus Kupfer von gleichem Querschnitt besteht, so ist der Widerstand pro cm ihrer Länge, also der Spannungsabfall pro cm gleich. Die

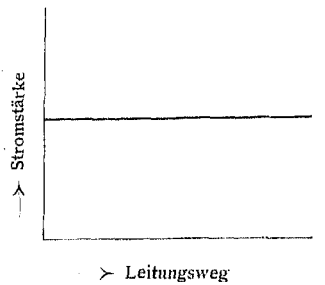


Fig. 7. Verlauf der Stromstärke in einer Glühlampe und ihren Zuleitungen.

Neigung der beiden den Spannungsabfall in den Zuleitungen darstellenden Linien muss mithin die gleiche, sie müssen einander parallel sein. Der Verlauf der Stromstärke in der Lampe und ihren Zuleitungen würde als eine horizontale gerade Linie zu zeichnen sein (Fig. 7); denn in jedem Punkte der Leitungsbahn ist die Stromstärke die gleiche.

2. Vorlesung.

Die elektrischen Maasseinheiten. Das Joulesche Gesetz.

Die Einheiten: Volt, Ohm und Ampere und Beispiele dafür aus der elektrotechnischen Praxis. — Elektricitätsmenge und ihre Einheiten: Coulomb und Amperestunde. — Verzweigungsgesetze. — Mechanische Arbeit und Leistung. — Meterkilogramm. — Erhaltung der Energie. — Elekrische Arbeit und Leistung. — Watt. — Watt und Pferdestärke. Kilowatt. — Kilowattstunde. — Der Konsument verbraucht Energie, nicht Strom. — Elektrischer Arbeitsverbrauch in Telegraphenämtern.

Ableitung und experimenteller Nachweis des Jouleschen Gesetzes. — Verlust an elektrischer Energie durch blosse Fortleitung und Mittel, ihn zu vermindern. — Transformation. — Die körperliche Vorstellung des Stromes erweist sich als unzureichend. — In jedem Leiter darf der Strom nur bis zu einer bestimmten Grenze ansteigen. — Kurzschluss. — Sicherungen. — Reissen eines Fernsprechdrahtes.

In der ersten Vorlesung sind die drei elektrischen Grundbegriffe, Elektromotorische Kraft oder Spannung, Widerstand, Stromstärke abgeleitet worden. Heute sind die für sie durch internationale Kongresse und in Deutschland durch Reichsgesetz gewählten Maasseinheiten zu besprechen. Nach Volta, der zuerst die Bedingungen für die Entstehung längere Zeit andauernder Elektromotorischer Kräfte erforschte, heisst die Einheit der Elektromotorischen Kraft oder der elektrischen Spannung ein Volt. Die Einheit des elektrischen Widerstandes erhielt nach dem Entdecker des Grundgesetzes den Namen des Ohm und nach einem noch mehrfach zu erwähnenden französischen Physiker, den das Reichsgesetz allerdings seines Accentes beraubte, wurde das Ampere die Einheit der elektrischen Stromstärke.

Beispiele aus der elektrotechnischen Praxis werden Ihnen die drei Maasse bald vertraut machen. Zwischen den Klemmen eines Daniell- oder eines Telegraphenelements herrscht ziemlich genau die Spannungsdifferenz von 1 Volt, zwischen denen einer Akkumulatorenzelle ungefähr die von 2 Volt. Die Batterie einer Hausklingelanlage hat zwischen ihren Klemmen z. B. 7 Volt,

die der neulich erwähnten Treppenbeleuchtung etwa 8 Volt, ein Telephoninduktor bei üblicher Drehgeschwindigkeit der Kurbel etwa 35 Volt, Batterien zum Telegraphieren haben z. B. 20, 40 oder mehr Volt Spannungsdifferenz. Zwischen zwei Drähten der gewöhnlichen Lichtleitung liegen 110, neuerdings lieber 220 Volt, zwischen der Oberleitung und den Schienen der Strassenbahn etwa 500 Volt. Die berühmte Anlage zur Übertragung der Arbeit des Neckarfalles in Lauffen nach der elektrotechnischen Ausstellung in Frankfurt a. M. hatte 30 000 Volt. Zwischen zwei Kugeln in der Entfernung von 1 mm springen, wie angegeben wird, bei etwa 4000 Volt, von 5 mm bei 18 000 Volt, von 10 mm bei 30 000 Volt Funken durch die Luft über. Grössere Elektricitätsmengen, die von Tausend oder einigen Tausend Volt durch den menschlichen Körper getrieben werden, wirken unbedingt tötlich. Auch schon wesentlich geringere Spannungen können unter besonderen Umständen, zumal wenn der Betreffende ohne viel Übergangswiderstand in den Stromkreis eingeschaltet ist, durch den den Körper durchfliessenden Strom zur Todesursache werden.

Nach der Grösse der benutzten Ströme pflegt man die Elektrotechnik in zwei Gebiete zu scheiden: in Schwach- und Starkstromtechnik. Die erstere umfasst den Inhalt dieser Vorlesungen, zu dem sich noch Signalvorrichtungen und einige andere Dinge gesellen. Hier kommen Ströme in Betracht, die nur geringe Bruchteile eines Ampere ausmachen. Die Starkstromtechnik dagegen beschäftigt sich mit der Theorie und Fabrikation von Anlagen, in denen Ströme weit höherer Grössenordnungen bis zu Tausenden von Ampere benutzt werden. Während man auf ein Mikrophon einen Strom von etwa 0,2 Ampere, auf einen Morseapparat durchschnittlich 0,013 = 13 Tausendstel Ampere = 13 Milliampere und auf ein Telephon Ströme rechnet, die auf Zehntel und Hundertstel von Milliampere herabgehen, braucht eine gewöhnliche Glühlampe schon 0,5 Ampere, der kleine Elektromotor am Typendrucktelegraphen — je nachdem er zwischen Leitungen von 110 Volt oder 65 Volt liegt — 0,25 oder 0,43 Ampere. Eine Bogenlampe brennt mit 6 bis 8 oder mehr Ampere. Ein Strassenbahnwagen von der grossen in Berlin üblichen Form gebraucht durchschnittlich etwa 25 bis 30, bei der Anfahrt etwa 40 Ampere. Der schwer-

fällige, elektrische Versuchszug der Berliner Wannseebahn nimmt bei der Anfahrt einen Strom auf, der bis zu 1600 Ampere ansteigt.

Das Ohm ist nach seiner gesetzlichen Definition der Widerstand einer Quecksilbersäule von 106,3 cm Länge und 1 mm² Querschnitt (bei 0 °). Ebenso wie alle anderen elektrischen Maasseinheiten beruht auch das Ohm auf dem absoluten Maasssystem, welches von grösstem wissenschaftlichen Interesse ist, dessen Kenntnis Ihnen praktisch aber wenig nützen wird. Da es überdies nur durch ein eingehendes Studium verständlich wird, thun Sie besser, sich mehr mit den Maassen selbst, als mit ihrer Herleitung zu beschäftigen. Ehe man den elektrischen Maasseinheiten das absolute System zu Grunde legte, gab als erster Werner Siemens eine Widerstandseinheit, seine berühmte Siemens-Einheit *(S. E.)* heraus. Sie war der Widerstand einer Quecksilbersäule von 1 m Länge und 1 mm² Querschnitt (bei 0°), also unserer jetzigen Einheit, dem Ohm, sehr ähnlich, nur etwa um 6 % kleiner. In der Telegraphentechnik kommen öfter noch Widerstandsangaben nach *S. E.* vor. Man braucht diese Angaben nur um etwa 6 % zu verkleinern, um sie in Ohm ausgedrückt zu haben. Man sieht jetzt auch den Grund ein, warum der spezifische Widerstand des Quecksilbers etwas — 6 % — kleiner als 1 ist. Er würde genau gleich 1 sein, wenn wir noch nach Siemens-Einheiten rechneten. Um uns von der Grösse des Ohm eine Vorstellung zu machen, berechnen wir mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes den Widerstand eines eisernen Telegraphendrahtes von 1 km Länge und 5 mm Durchmesser. Der spezifische Widerstand kann zu 0,13 angenommen werden, d. h. ein Draht aus gleichem Material von 1 m Länge und 1 mm² Querschnitt hat 0,13 Ohm Widerstand. Es war

$$W = W_s \frac{l}{q} = 0{,}13 \frac{1000^{m}}{2{,}5^2\,\pi} = 6{,}6 \text{ Ohm.}$$

Wie gross ist der Widerstand eines Telegraphendrahtes aus demselben Material von 4 mm Durchmesser und 140 km Länge, etwa der Entfernung von Berlin und Magdeburg?

$$W = W_s \frac{l}{q} = 0{,}13 \frac{140000}{2^2\,\pi} = 140 \,.\, 10{,}4 = 1450 \text{ Ohm.}$$

Der spezifische Widerstand der Bronze der Fernsprechdrähte ist 0,019 = $^1/_{53}$. Ein Kilometer dieses Drahtes von 5 mm Durchmesser hat folglich, wie man leicht nachrechnen kann, nur 0,96 Ohm, ein solcher von 4 mm Durchmesser 1,51 Ohm. Noch viel kleiner ist der Widerstand des Fahrdrahtes der elektrischen Bahn durch seinen grossen Querschnitt von 50 mm^2; er geht bis auf etwa $^1/_3$ Ohm pro Kilometer herab. Ausserordentlich gross sind die Widerstände von Elektromagnetspulen, in denen grosse Längen dünnen Drahtes aufgewickelt sind; so haben die des Farbschreibers 560 Ohm, die des Hughesapparates 1200 Ohm Widerstand.

Die Definition des Ohm wurde eben angeführt, diejenige des Ampere werden Sie später kennen lernen. Von drei Grössen, die durch eine Gleichung verbunden sind, brauchen und dürfen nur zwei festgelegt werden; die dritte ergiebt sich dann von selbst. Unsere drei Maasse sollen dem Ohmschen Gesetz Genüge leisten. Da Ohm und Ampere definiert sind, muss das Volt — in Übereinstimmung mit dem Reichsgesetz — diejenige Elektromotorische Kraft sein, „welche in einem Leiter, dessen Widerstand 1 Ohm beträgt, einen elektrischen Strom von 1 Ampere erzeugt." Mathematisch würde die Beziehung der drei Einheiten so zu schreiben sein:

$$1 \text{ Volt} = 1 \text{ Ampere} \,.\, 1 \text{ Ohm},$$

eine rein mathematische Form, bei der man sich freilich nichts denken kann.

Dem Ampere, dem Maass für die Stromstärke, schliesst sich das Coulomb als die Einheit der Elektricitätsmenge an, das seinen Namen ebenfalls zu Ehren eines französischen Physikers trägt. Stromstärke war Elektricitätsmenge pro Sekunde. Bezeichnet man die Elektricitätsmenge mit Q (von Quantum) und die Zeit mit t (von tempus), so ist

$$J = \frac{Q}{t} \quad \text{und} \quad Q = J \,.\, t.$$

Wird der Querschnitt eines Leiters pro Sekunde von der Elektricitätsmenge 1 Coulomb durchflossen, so herrscht in ihm die Stromstärke 1 Ampere

$$1 \frac{\text{Coulomb}}{\text{Sekunde}} = 1 \text{ Ampere}.$$

Herrscht in einem Leiter auf die Dauer von t Sekunden die Stromstärke von 1 Ampere, so sind durch seinen Querschnitt t Coulomb geflossen. Die letzte Gleichung ergiebt auch einen anderen Namen für das Coulomb, den der Amperesekunde. Eine gewöhnliche Glühlampe ist von einer Elektricitätsquelle zwei Stunden lang gespeist worden. Wie gross ist die gelieferte Elektricitätsmenge? Die Stromstärke war 0,5 Ampere; also sind pro Sekunde 0,5 Coulomb, pro Stunde 0,5 . 60 . 60 und in zwei Stunden 2 . 0,5 . 60 . 60 = 3600 Coulomb oder Amperesekunden = 1 Amperestunde geliefert worden. Die Amperestunde ist das praktisch gebräuchliche Maass für Elektricitätsmengen. Die in der Schwachstromtechnik gebrauchten Elektricitätsmengen sind naturgemäss nur klein. Als Durchschnitt für den täglichen Bedarf einer Telegraphenleitung werden 0,06 Amperestunden = 0,06 . 3600 = rund 200 Coulomb angegeben. Eine für den Telegraphenbetrieb bestimmte Sammlerzelle wird deshalb keine grosse Elektricitätsmenge aufzuspeichern haben; man ist mit 12 Amperestunden zufrieden, während die Batterien grosser Kraftwerke das Hundert- oder Tausendfache erfordern.

Die Betrachtung der elektrischen Maasseinheiten angenehm zu unterbrechen, seien an dieser Stelle kurz die Gesetze der Stromverzweigung behandelt. Wurde doch bis jetzt immer nur von einem unverzweigten Stromkreise gesprochen. Ein unverzweigter Leiter verband die beiden verschieden gespannten Klemmen. Allerdings scheint dieser Fall der in der Telegraphie übliche zu sein. Später werden wir das Irrige dieser Ansicht kennen lernen und es dann angenehm empfinden, wenn uns die Verzweigungsgesetze bekannt sind. Sie sind übrigens sehr einfach und ergeben sich aus dem Bilde der Wasserleitung von selbst. Ich zeichne das Schema (Fig. 8) für eine Stromverzweigung. Im Punkte A gabelt sich die Strombahn in zwei Teile, die sich in B wieder vereinigen. Entsprechend zeigt dieses Schema (Fig. 9) eine Teilung des Leiters in drei Zweige. Dieselbe Elektricitätsmenge, welche pro Sekunde den Weg $E\,A$ und den Weg $B\,E$ zurücklegt, muss auch die beiden

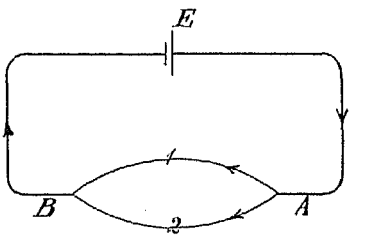


Fig. 8. Einfache Stromverzweigung.

oder die drei Zweige passieren. Die Anzahl Coulomb, die pro Sekunde durch den unverzweigten Leiter zum Punkte A hingelangen, fliessen durch die Zweige fort und vereinigen sich beim

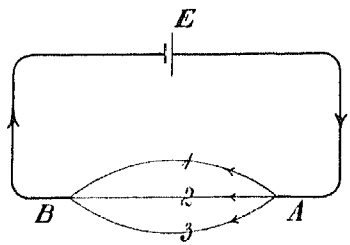


Fig. 9. Stromverzweigung mit drei Zweigen.

Punkte B wieder zu gemeinschaftlichem Flusse. Die Summe der zwei oder der drei Zweigströme i_1 und i_2 oder i_1, i_2 und i_3 ist gleich dem ungeteilten Strome J.

$$i_1 + i_2 = J \text{ oder}$$
$$i_1 + i_2 + i_3 = J.$$

Dieses erste der — nach ihrem Entdecker — Kirchhoffsche genannten Verzweigungsgesetze wird Ihnen klar sein, sobald sie diese drei Messinstrumente (Fig. 10) betrachten. Es sind Stromzeiger. Das Prinzip ihrer Einrichtung werden wir später kennen

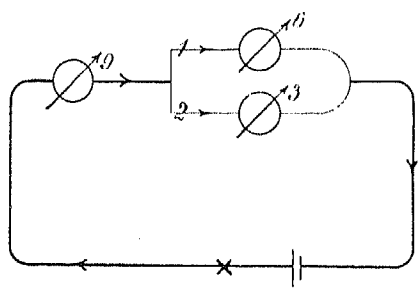


Fig. 10. Demonstration des ersten Kirchhoff'schen Gesetzes: Der unverzweigte Strom ist gleich der Summe der Zweigströme.

lernen. Für jetzt genügt es, dass sie die sie durchfliessende Stromstärke in Ampere angeben. Das eine ist in den unverzweigten Teil eines Stromkreises, die beiden andern sind je in einen der beiden Zweige eingeschaltet. Sie sehen, wie die in der einen Leitung zusammen herrschenden 9 Ampere sich in 6 + 3 Ampere spalten.

Das zweite Verzweigungsgesetz betrifft die gegenseitige Grösse der Zweigströme. Es sagt aus, dass diese sich wie die Leitungsfähigkeiten der Zweige, also umgekehrt wie ihre Widerstände verhalten.

$$i_1 : i_2 = L_1 : L_2 = \frac{1}{W_1} : \frac{1}{W_2} .$$

Der besser leitende Zweig führt den grösseren Strom. So war es auch bei unserm Versuche. Die Widerstände der beiden Zweige sind absichtlich so abgeglichen, dass der Zweig 1 den doppelten Widerstand hat, als der Zweig 2 und er infolgedessen nur von halb soviel Coulomb pro Sekunde durchflossen wird. Bei drei Zweigen gilt ganz entsprechend die Gleichung

$$i_1 : i_2 : i_3 = \frac{1}{W_1} : \frac{1}{W_2} : \frac{1}{W_3} .$$

Findet die Gabelung eines Leiters in zwei Zweige von gleichem Widerstande statt, so sind die Zweigströme gleich.

Um den Gesamtwiderstand W zweier Leitungszweige festzustellen, bedenke man, dass ihre Leitfähigkeiten sich zu der Gesamtleitfähigkeit addieren:

$$L_1 + L_2 = L \text{ oder}$$

$$\frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2} = \frac{1}{W} , \text{ woraus sich}$$

$$W = \frac{W_1 \cdot W_2}{W_1 + W_2} \text{ ergiebt.}$$

Bei gleichen Widerständen der Zweige ist

$$L = 2 L_1$$

$$W = \frac{W_1}{2} .$$

Der Widerstand ist derselbe, als ob eine Leitung von doppeltem Querschnitt vorhanden wäre.

Dass die Ströme sich umgekehrt wie die Widerstände verhalten, können Sie sich auch an unserm Glühlampenmodell klar machen. Die drei Klemmen, die über verschiedene Widerstände zu den Lampen führen, werden dann gemeinschaftlich an einen Draht gelegt, und dieser Verzweigungspunkt wird mit der einen Klemme der Akkumulatorenbatterie verbunden. Der von ihr kommende Strom teilt sich also in die drei Zweige von verschiedenem Widerstande. Auch jetzt verhalten sich die Helligkeiten der Lampen wie vorhin. Die Lampe II, welche in dem

Zweige vom grössten Widerstande liegt, wird vom kleinsten Strome durchflossen. Alle drei Lampen liegen jetzt, wie man sagt, parallel oder nebeneinander, oder eine liegt zur anderen im Nebenschluss, gerade wie im Schema (Fig. 8 und 9), die beiden oder die drei Zweige und wie (in Fig. 10) die beiden Stromzeiger, die 3 und 6 Ampere angeben. Die beiden Stromzeiger dagegen, welche von 9 und 6 oder die, welche von 9 und 3 Ampere durchflossen werden, heissen hintereinander oder in Reihe geschaltet.

Wir kehren jetzt zur Besprechung der elektrischen Maasseinheiten zurück. In derselben Beziehung wie Elektricitätsmenge und Stromstärke stehen die beiden Begriffe Arbeit und Leistung zu einander. Das Maass für eine mechanische Arbeit ist das Meterkilogramm, abgekürzt mkg. Die Arbeit eines Armes beträgt 1 mkg, wenn er eine Masse von 1 kg 1 m hoch oder 0,1 kg 10 m oder irgend eine Masse so hoch hebt, dass das Produkt der kg und der m = 1 ist. Die Arbeit, welche der Chemiker Wislicenus bei seiner berühmten Besteigung des Faulhorn vollbringen musste, lässt sich leicht durch Multiplikation seines Körpergewichtes von 76 kg mit der erstiegenen Höhe von 1956 m zu 148 656 mkg berechnen. Es sei noch hinzugefügt, dass man im mehr abstrakt wissenschaftlichen Sinne den Ausdruck Arbeit durch Energie ersetzt. So nennt man das Gesetz mit Vorliebe das Gesetz von der Erhaltung der Energie. Es sagt ja bekanntlich aus, dass keinerlei Arbeit oder Energie aus nichts entstehen, noch verloren werden könne. Scheinbar verschwundene Energie finde sich bei näherem Zusehen in einer anderen Form und in einer der der scheinbar verschwundenen Energie äquivalenten Menge wieder. Deshalb giebt es ebenso wie mechanische-, auch elektrische- und Wärmearbeit. Wandelt sich mechanische Arbeit in Wärme um, so entsteht immer für 425 verschwundene mkg 1 Calorie, d. i. bekanntlich die Wärmemenge, welche 1 kg Wasser um 1 ° C erwärmt. Ebenso lässt sich auch die elektrische Energie in Wärme verwandeln. Wir werden diesen Vorgang noch in der heutigen Vorlesung betrachten und die den eben genannten 425 mkg entsprechende Äquivalentzahl bestimmen.

Für viele Fälle der Praxis ist der Begriff der Arbeit *(A)* weniger wichtig, als der der Leistung *(L)*, d. h. Arbeit pro Sekunde.

$$L = \frac{A}{t} \text{ und } A = L \,.\, t.$$

Die Einheit der Leistung ist mithin 1 mkg pro Sekunde $= 1 \frac{\text{mkg}}{\text{Sekunde.}}$

Die bekannte Einheit für Maschinenleistungen, welche über ein Gebiet von kleinen Bruchteilen von Eins bis zu vielen Tausend variiert vorkommt, ist die Pferdestärke. Sie ist gleich 75 mkg pro Sekunde.

$$1\ PS = 75 \frac{\text{mkg}}{\text{Sekunde.}}$$

Dasselbe Verhältnis wie zwischen mechanischer Arbeit und Leistung waltet nun auch zwischen elektrischer Arbeit und Leistung ob. Wie das Herabfallen einer mechanischen Masse von einer Höhe die mechanische, so bedeutet das Herabsinken einer Elektricitätsmenge von einer Spannung eine elektrische Arbeit. Eine elektrische Arbeit A ist das Produkt aus Elektricitätsmenge Q und Spannung E.

$$A = Q \,.\, E.$$

Durch Division mit der Zeit t erhält man die elektrische Leistung L als Produkt von Spannung und Strom

$$L = \frac{A}{t} = \frac{Q \,.\, E}{t} = J \,.\, E.$$

Entsprechend dem Meterkilogramm ist die Einheit der elektrischen Arbeit EQ das Voltcoulomb und die Einheit der elektrischen Leistung EJ das Voltampere, das kürzer nach dem Namen des Mannes, dessen Erfindung die Menschen erst zu grossen technischen Leistungen im modernen Sinne befähigt hat, das Watt genannt wird. 1 Watt wird geleistet, wenn die Elektricitätsmenge 1 Coulomb pro Sekunde den Spannungsabfall 1 Volt erleidet, d. h. also wenn die Elektromotorische Kraft 1 Volt in einem Leiter den Strom von 1 Ampere erzeugt. Fliesst der vorhin als für den Morseapparat normal angegebene Strom von 13 Milliampere durch einen Leiter, so müsste dieser an seinen Klemmen die Spannungsdifferenz von $\frac{1}{0{,}013}$ = ungefähr 77 Volt haben, wenn in ihm gerade 1 Watt geleistet werden sollte. Der kleine Elektromotor am Hughesapparat soll, wie angegeben wurde, bei 110 Volt 0,25 Ampere, bei 65 Volt 0,43 Ampere beanspruchen. Er nimmt dann eine elektrische

Leistung von $110 \cdot 0{,}25 = 27{,}5$ Watt oder von $65 \cdot 0{,}43 = 27{,}9$ Watt auf.

Es fehlt uns noch der rechnerische Übergang von der mechanischen zur elektrischen Leistung. Er wird durch die Beziehung gegeben:

$$1 \frac{\text{mkg}}{\text{Sekunde}} = 9{,}81 \text{ Watt},$$

ein Satz, der sich aus dem absoluten Maasssystem ergiebt und hier als richtig hingenommen werden muss. Es ist dann

$$1\ PS = 75 \frac{\text{mkg}}{\text{Sekunde}} = 75 \cdot 9{,}81 = 736 \text{ Watt} = 0{,}736 \text{ Kilowatt},$$

worin 1 Kilowatt = 1000 Watt. Man sieht, ein Kilowatt ist etwa gleich drei Vierteln einer Pferdestärke. Die von der Statistik zu etwa 300 000 Kilowatt angegebene Leistung von ungefähr 800 der wichtigsten deutschen Elektricitätswerke würde etwas mehr als 400 000 PS ausmachen. Hiervon kommen allein etwa 64 000 Kilowatt auf die Maschinen der „Berliner Elektricitätswerke".

Die t Sekunden andauernde Leistung von 1 Watt giebt in Summa t Voltcoulomb, welches Maass vorhin als Einheit der elektrischen Arbeit genannt wurde. Aus den eben abgeleiteten Gleichungen

$$L = \frac{A}{t} = \frac{Q \cdot E}{t} = J \cdot E$$

ergiebt sich:

$$E\,Q = \underbrace{E \cdot J}_{\text{Watt}} \cdot t$$

$$\text{Volt} \cdot \text{Coulomb} = \text{Watt Sekunde},$$

so dass Voltcoulomb und Wattsekunde die gleiche elektrische Arbeit bezeichnen. Die Praxis rechnet nach Kilowattstunden, dem Tausendfachen der Arbeit, welche — bei der Leistung von einem Watt — in einer Stunde zu Stande kommt. Die Kilowattstunde ist mithin = 1000 . 3600 Wattsekunden. Sie ist das Maass, in welchem die elektrische Energie verkauft wird. Denn elektrische Energie, und nicht elektrischen Strom, behält der Konsument für sich; fliesst doch der Strom in derselben Stärke, in welcher er durch das eine Kabel anlangt, durch das andere wieder ab. Das Werk erhält seine gesamte Elektricitätsmenge unvermindert wieder zurück; keine Amperestunde fehlt daran. Es ist deshalb falsch, von Elektricitätskonsum oder von Strompreisen

zu sprechen. Was der Konsument wie eine Ware kauft und nützlich verwertet, was ihm auch entwendet werden kann, ist die elektrische Arbeit, welche die sein Haus durchfliessende Elektricitätsmenge dadurch leistet, dass sie ihre Spannung hergiebt, die elektrische Arbeit, zu messen durch $EQ = E \,.\, J \,.\, t$, praktisch in Kilowattstunden. Ganz dem entspricht die mechanische Arbeit, die ein Mühlrad dem treibenden Bache entnimmt. Die von oben auf das Mühlrad zu- und die nach unten von ihm abfliessende Wassermenge ist die gleiche. Aber jedes Kilogramm Wasser erleidet beim Durchgang durch die Mühle einen Fall, und das Produkt aus Wassermenge und Höhe, zu messen in mkg, ist die dem Wasser entnommene, von dem Müller nützlich verwertete Arbeit.

Das praktische Maass der elektrischen Arbeit, die Kilowattstunde, würde hier beim Experimentieren verbraucht worden sein, wenn unsere Apparate z. B. zehn Stunden lang 100 Watt aufgenommen hätten, also bei der vorhandenen Spannung von etwa 100 Volt von 1 Ampere durchflossen wären. Die jährliche elektrische Arbeit des Berliner Haupttelegraphenamts wird zu dem ausserordentlich gering scheinenden Betrag von 200 Kilowattstunden, die derjenigen in Hamburg, Köln, Frankfurt a. M. zu etwa 60 bis 70 angegeben. Eine gewöhnliche Glühlampe nimmt die elektrische Leistung 110 Volt . 0,5 Ampere = 55 Watt auf. Könnte sie ein ganzes Jahr unverändert und ohne Unterbrechung brennen, so würde in ihr während dieser Zeit eine Arbeit von 55 . 24 . 365 Wattstunden = 418,8 Kilowattstunden verbraucht werden. Das mächtige Berliner Amt mit seiner ausserordentlich grossen Zahl verkehrsreicher Leitungen beansprucht also noch nicht die Hälfte der Arbeit einer einzigen Glühlampe. Das liegt eben an den ausserordentlich kleinen in der Telegraphie ausreichenden Strömen.

Die nun beendeten Betrachtungen über die elektrischen Maasseinheiten haben gezeigt, dass der Transport eines Coulomb bei der Spannung von einem Volt während einer Sekunde die Leistung von einem Watt oder, wenn von der Zeit abgesehen wird, die Arbeit von einer Wattsekunde in sich schliesst. Diese Arbeit von $EQ = E \,.\, J \,.\, t$ muss zum Fliessen des elektrischen

Stromes aufgewendet werden. Wo bleiben alle diese Wattsekunden? Scheinbar verschwinden sie. Aber das Gesetz von der Erhaltung der Energie lehrt, dass sie nur als elektrische Arbeit verschwinden und, in eine andere Energieform verwandelt, wieder auftreten. Die Erinnerung an den Eisendraht mit den Papierreiterchen sagt uns, dass diese neue Energieform die Wärme ist. Beim Fliessen eines elektrischen Stromes entsteht Wärme. Die Menge der verzehrten elektrischen Arbeit und der dafür entwickelten Wärme stehen natürlich in fester Beziehung zu einander. Die entwickelte Wärmemenge M ist proportional der verschwundenen elektrischen Arbeit:

$$M \propto E \,.\, J \,.\, t.$$

Setzt man statt E den aus dem Ohmschen Gesetz stammenden Wert $J \,.\, W$ ein, so wird

$$M \propto J^2 \, W \,.\, t.$$

Die Uebergangszahl, die von Watt zu Wärmemenge führt, kann durch folgenden Versuch festgestellt werden.

Ein cylindrisches Glasgefäss (Fig. 11) wird gewogen, zu zwei Dritteln mit reinem Wasser gefüllt und wiederum gewogen. Die Differenz beider Gewichte ergiebt die Wassermenge. In

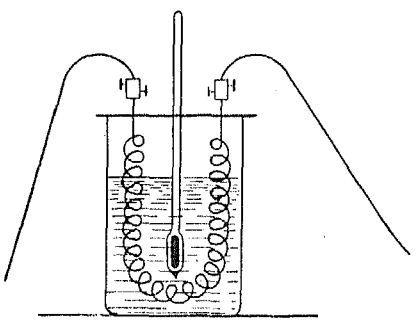


Fig. 11. Versuch zur Bestimmung des elektrischen Wärmeäquivalentes.

das Wasser wird, durch den Deckel gehalten, eine Eisendrahtspirale und ein Thermometer hineingesenkt. Nachdem man die Temperatur des Wassers und den Stand der Uhr abgelesen, schickt man durch die Spirale einen unveränderlichen Strom von bekannter Grösse. Der Strom erwärmt die Spirale, welche, besonders wenn mit einer Federfahne umgerührt wird, die

erzeugte Wärmemenge an das Wasser abgiebt und dessen Temperatur steigert. Nachdem z. B. 20 Minuten vergangen sind, wird der Strom unterbrochen und nochmals die Temperatur abgelesen. Also sind n g Wasser um a^0 C erwärmt worden. Da diejenige Wärmemenge, welche 1 g Wasser um 1^0 C erwärmt, bekanntlich ziemlich genau gleich einer kleinen Calorie (dem tausendsten Teil der vorhin definierten Calorie) ist, so beträgt die bei dem Versuche entwickelte Wärmemenge $M = n \cdot a$ kleine Calorien. Andererseits ist die Zeit t, die Stromstärke J, der Widerstand der Drahtspirale W bekannt, so dass die Übergangsfaktor c berechnet werden kann.

$$M \infty J^2 W t \qquad \text{ist soviel wie}$$
$$M = c J^2 W t.$$

Der Versuch ergiebt, wenn er sorgfältig angestellt wird, $c = 0{,}24$ und

$$\overbrace{M}^{\text{Wärmemenge in kleinen Calorien}} = \overbrace{0{,}24}^{\text{El. Wärmeäquivalent}} \overbrace{J^2}^{\text{Quadrat der Stromstärke}} \overbrace{W}^{\text{Widerstand}} \overbrace{t.}^{\text{Zeit}}$$

Diese Gleichung ist von dem Engländer Joule durch den Versuch gefunden und heisst nach ihm das **Joulesche Gesetz.** Der Übergangsfaktor $c = 0{,}24$ ist die Wärmemenge, welche der Strom 1 Ampere erzeugt, wenn er eine Sekunde lang einen Leiter vom Widerstande 1 Ohm durchfliesst. Sie entsteht mithin auch, wenn 1 Coulomb den Widerstand 1 Ohm passiert. Er bildet den Übergangsfaktor von der elektrischen- zur Wärmearbeit und heisst deshalb mit Recht das elektrische Wärmeäquivalent.

Durch das blosse Fliessen eines elektrischen Stromes tritt ein Verlust an elektrischer Arbeit ein, der sich in Wärme umsetzt. In den elektrischen Heizapparaten oder Lampen wird diese Umsetzung ausserordentlich gesteigert und die in grosser Menge entstehende Wärme ausgenutzt. In vielen anderen Fällen ist der Verlust an elektrischer Arbeit nachteilig, und man muss, da die Fortleitung des Stromes nicht entbehrt werden kann, auf Mittel sinnen, den Verlust zu verringern. Die Verkleinerung des Leitungswiderstand ist nach dem Jouleschen Gesetze ein solches Mittel. Denn dass in der That die beim Durchfliessen eines Leiters entwickelte Wärme, also der eintretende Verlust an Arbeit vom Widerstand des Leiters abhängt, zeigt Ihnen diese

Kette (Fig. 12), welche abwechselnd aus gleich grossen Gliedern von Silber und von Platin besteht. Beide Arten Glieder werden jetzt von dem gleichen Strome durchflossen, und trotzdem wird in denen aus Platin vom spezifischen Widerstande 0,09 nahezu die doppelte Wärmemenge entwickelt, als in denen aus Silber vom spezifischen Widerstande 0,017. Sie sehen, die Platinglieder

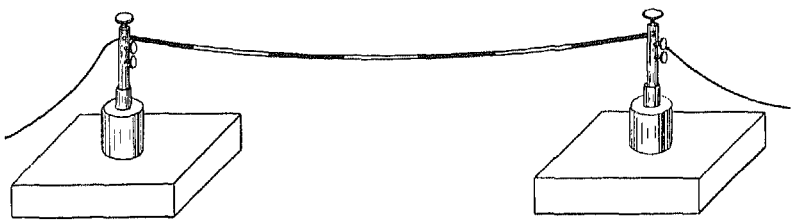


Fig. 12. Platin-Silber-Kette zum Beweise der Abhängigkeit der Wärmeentwicklung vom Widerstande.

sind bis zur hellen Rotglut erhitzt, die Silberglieder bleiben dunkel. Freilich lässt der Unterschied der spezifischen Wärmen von Platin (0,032) und Silber (0,056) den vorhandenen grossen Unterschied in der Wärmeentwicklung als eine noch bedeutendere Temperaturdifferenz erscheinen.

Die Wärmeentwicklung, mithin der Verlust an elektrischer Energie, ist also dem Widerstande proportional. Will man den Widerstand verkleinern, so ist das, wie aus der Gleichung

$$W = W_s \frac{l}{q}$$

hervorgeht, nur auf zweierlei Art möglich; denn l, die Entfernung der beiden durch den Leiter zu verbindenden Orte, ist als unveränderlich gegeben. Es bleibt nur die Vergrösserung des Querschnittes q und die Verkleinerung des spezifischen Widerstandes W_s.

Mechanische-, wirtschaftliche- und Schönheitshindernisse beschränken die Querschnittsvergrösserung, die Verwendung dickerer Leitungen; aber ein wenig hilft sie aus. Ein wirksameres Hilfsmittel ist die Verkleinerung von w_s. Statt Eisen, dessen spezifischer Widerstand zu ungefähr $^1/_{10}$ angegeben wurde, werden oberirdische Leitungen aus Kupfer mit einem geringen Zusatz von Silicium, aus der sogenannten Siliciumbronze gebaut. Dieser Zusatz erhöht zwar den spezifischen

Widerstand des Materials ein wenig über den des Kupfers von etwa 0,018 = rund $^1/_{55}$ auf 0,019 = $^1/_{53}$, welche Zahlen schon früher angegeben wurden. Durch ihn gewinnt aber das Material die für Freileitungen notwendige Festigkeit. Für Kabel wird reines Leitungskupfer verwendet.

Aber die so erreichte Verkleinerung des Widerstandes setzt den Arbeitsverlust bei telephonischen Übertragungen noch nicht genügend herab. Es ist ein anderer Weg einzuschlagen, den die Gleichung

$$A = EQ = E \,.\, J \,.\, t$$

oder wenn wir uns nur an die Arbeit in einer Sekunde halten, die Gleichung

$$L = EJ$$

weist. Die in der Sekunde zu übertragende Leistung ist gleich dem Produkt von Spannung und Strom, während die bei der Übertragung zu verlierende Leistung nach dem Jouleschen Gesetz überhaupt nicht direkt von der Spannung, sondern nur von dem Quadrat der Stromstärke abhängt. Dieselbe Leistung wird deshalb mit ganz verschiedenen Verlusten elektrisch transportiert werden können, je nachdem in dem Produkt $J \,.\, E$ der Faktor J oder der Faktor E relativ gross ist. Der Verlust wird ausserordentlich verkleinert werden können, wenn es gelingt, den Faktor J klein und den Faktor E gross zu machen, d. h. die Spannung auf Kosten des Stromes zu vergrössern, statt der vorhandenen eine kleinere, aber entsprechend höher gespannte Elektricitätsmenge zu übertragen. Diese Transformation, d. h. die Umwandlung der eine elektrische Leistung zusammensetzenden beiden Faktoren: Spannung und Strom ist leicht auszuführen, wie Sie in der Vorlesung über die Induktionserscheinungen erfahren werden. So leicht sie auszuführen, so unmöglich ist sie auf Grund der körperlichen Anschauungsweise des elektrischen Stromes einzusehen. Diese körperliche Anschauungsweise ist und bleibt eben nur ein schlechtes Bild, dem Anfänger die elektrischen Grundbegriffe klar zu machen und einzuprägen. In ihr mehr zu sehen, wäre ein Rückfall in die Irrtümer vergangener Jahrhunderte und nach Aufstellung des Gesetzes von der Erhaltung der Energie undenkbar.

Man wird sich jetzt vorstellen können, eine wie grosse Rolle die elektrische Seite der Jouleschen Gleichung: der Verlust an elektrischer Arbeit in der Ökonomie elektrischer Übertragungen spielt. Die rechte Seite der Gleichung, welche die dem aus dem elektrischen Verlust entstehende Wärme angiebt, hat eine gleich grosse Bedeutung und nicht nur für den Fall, dass sie in Heizapparaten und Lampen nützlich verwendet wird. Gerade die unerwünschten Wärmewirkungen des elektrischen Stromes erfordern die besondere Aufmerksamkeit des Technikers, weil in der etwaigen Erzeugung hoher Hitzegrade eine Quelle steter Gefahr vorliegt. Deshalb ist jedem Leiter ein bestimmter Maximalwert des ihn durchfliessenden Stromes vorgeschrieben. Dieser Maximalwert wird in jedem einzelnen Falle durch das Material des Leiters und der Isolation, die Abkühlungsverhältnisse und die Stromdauer gegeben; so darf z. B. ein isolierter Kupferdraht von 1 mm^2 Querschnitt dauernd nicht mehr als 4 Ampere, ein solcher von 2,5 mm^2 nicht mehr als 10 Ampere führen. Ströme von einer über diese Maximalwerte hinausgehenden Grösse bringen Gefahr für den Leiter und seine Umgebung mit sich. Handelt es sich um Leiter, die mit Gespinsten und gummi- oder harzartigen Körpern isoliert sind, so werden diese Materialien zersetzt (trocken destilliert). Bei verhältnismässig wenig erhöhten Temperaturen werden sie, wie der Ausdruck der Praxis lautet, angeschmort. Heftigere Erwärmungen lassen, selbst wenn sie nur kurze Zeit andauern, die Zersetzungsprodukte des Isolationsmaterials mit heller Flamme verbrennen und bilden eine ernste Brandgefahr.

Es ist deshalb grosse Aufmerksamkeit darauf zu verwenden, dass jedem Leiter nur solche Ströme zugeführt werden, für die er dimensioniert ist. Doch ist mannigfaltige Gelegenheit sowohl dafür vorhanden, dass der eine Leitung durchfliessende Strom plötzlich zu unerlaubter Grösse anschwillt, als dass von aussen fremde starke Ströme in eine nur für schwache bestimmte Leitung gelangen. Der erste Fall liegt beim Kurzschluss vor. Elektrische Leitungen werden nur verlegt, damit der Strom irgend eine Arbeit verrichtet, z. B. in Lampen Wärme und Licht erzeugt, in einem Morseapparat einen Wechsel magnetischer Wirkungen hervorruft. Tritt nun zufälliger und unbeabsichtigter Weise, etwa nach Durchscheuern der Isolation, der Fall ein, dass

sich die den Strom fort- und die ihn zurückführende Leitung elektrisch berühren, so entsteht ein Kurzschluss. Der Strom umgeht den langen, ihm eigentlich vorgeschriebenen und Widerstand bietenden Weg. Es tritt Stromschluss auf einer wesentlich kürzeren Strecke, eben Kurzschluss ein. Die Elektromotorische Kraft der Stromquelle ist unverändert; ordnungsgemäss ist ein grosser Widerstand vorhanden, und der nach $J = \frac{E}{W}$ entstehende Strom ist nur klein. Jetzt wird durch die unmittelbare Berührung von Hin- und Rückleitung der Widerstand der Verbrauchsapparate, z. B. der Lampen fast vollständig vermieden. Das noch gebliebene W ist ganz klein, mithin bei unverändertem E das J ausserordentlich gross. Die durch den Strom entwickelte Wärme ist nun nach Joule dem Quadrat der Stromstärke proportional. Der Kurzschluss hat also eine ganz ausserordentlich heftige Wärmeentwicklung und damit Temperatursteigerung des Leiters und seiner Umgebung zu Folge und wird oft genug die Ursache von Bränden. Wie ausserordentlich heftig die Wärmeentwicklung mit der Stromstärke zunimmt, geht aus dieser Kurve, einer Parabel (Fig. 13), hervor. In der Horizontalen sind die Stromstärken und in der Vertikalen die in dem Widerstande von 1,7 Ohm, dem Widerstand der bei der Bestimmung des elektrischen Wärmeäquivalentes benutzten Eisenspirale, pro Sekunde entwickelten Calorien aufgetragen. Es entsprechen sich

Stromstärken	Pro Sekunde entwickelte Calorien
2	1.6
4	6.5
6	14.7
8	26.1
10	40.8
12	58.7
16	104.4
20	163.2

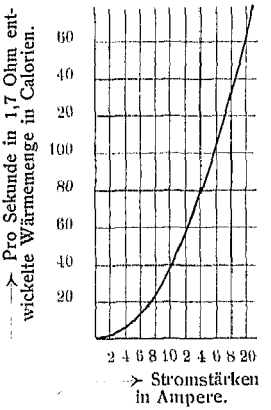


Fig. 13.

Sie sehen, wie ausserordentlich steil die Kurve ansteigt. Das einzige Mittel, die vom Kurzschluss drohende Gefahr im letzten Augenblick zu beschwören, sind exakt wirkende Vor-

richtungen, die den gefährdeten Stromkreis in demselben Augenblick unterbrechen, da der zu starke Strom zu fliessen beginnt. Die eine Gruppe dieser Vorrichtungen findet in der Elektrotechnik allgemeine Anwendung. Es sind die Sicherungen, eine geistvolle Erfindung von Edison. Jede Starkstromleitung trägt dicht hinter ihrer Abzweigungsstelle von einer stärkeren einen Bleistreifen. Steigt nun durch einen Unfall, wie der Kurzschluss einer ist, die Stromstärke in der Leitung über das ihr bestimmte Maass hinaus, so schmilzt die Joulewärme plötzlich und augenblicklich den Bleistreifen durch und unterbricht dadurch den Stromlauf, so dass weitere üble Folgen verhindert werden und nur an Stelle der durchgeschmolzenen oder „durchgebrannten" Sicherung eine neue einzusetzen ist.

Auch in der Schwachstromtechnik kommen Sicherungen zur Anwendung, wenn auch nicht aus Blei und in Ausführungsformen, die Sie später in der Vorlesung über die telephonischen Hilfsapparate kennen lernen werden. Zu Kurzschlüssen ist in der Schwachstromtechnik verhältnismässig wenig Gelegenheit. Dagegen kann leicht genug der vorhin als zweiter genannte Fall eintreten, dass von aussen fremde starke Ströme in die schwache Leitung hinein gelangen. So ist es nie ganz zu verhindern, dass hin und wieder einmal — besonders bei starkem Wind oder Schneefall — ein Fernsprechdraht reisst und auf einen unter ihm befindlichen Fahrdraht der elektrischen Strassenbahn fällt. Die an 500 Volt betragende Spannung des Fahrdrahtes hat dann Gelegenheit, sich durch den Fernsprechdraht über die an dessen Ende liegenden Apparate zur Erde auszugleichen und so an den Apparaten beschäftigte Personen unmittelbar zu gefährden. Ausserdem bewirkt natürlich die hohe Spannung einen grossen Strom und dieser eine heftige Wärmeentwicklung. Schon mehrfach sind aus dieser Ursache ganze Fernsprechämter abgebrannt, wie z. B. im Jahre 1898 das in Zürich. Zwar sind eine Reihe von Vorrichtungen im Gebrauch, welche eine Berührung des Starkstrom- mit dem Fernsprechdraht, auch wenn dieser reisst, verhindern sollen. Dieselben werden später besprochen werden. Sie sind aber, wenigstens zum Teil, recht unvollkommen und den besten und zuverlässigsten Schutz bilden immer Sicherungen nach dem Edisonschen Prinzip.

3. Vorlesung.

Magnetismus.

Der Magnet. — Pole. — Hufeisenmagnet. — Magnetisches Magazin. — Magnetnadel. — Nord- und Südpol. — Magnetisches Grundgesetz. — Die Erde verhält sich wie ein grosser Magnet. — Magnetische Influenz. — Herstellung eines Dauermagneten durch Streichen. — Elementarmagnete. — Coërcitivkraft. — Kraftlinienbilder. — Die Kraftlinie als Weg eines nordpolaren Eisenflitterchens. — Permeabilität. — Zählen von Kraftlinien. Kraftliniendichte als Maass der Feldstärke. — Definition der Permeabilität. — Magnetisierende Kraft H und erreichte Magnetisierung B.

Nachdem in den beiden vergangenen Vorlesungen die Grundgesetze des elektrischen Stromes besprochen worden sind, haben wir uns jetzt der Besprechung der magnetischen Erscheinungen zuzuwenden.

Man versteht unter einem Magneten bekanntlich ein Stück Stahl, welches im Stande ist, kleine Eisenstückchen anzuziehen. Diese Fähigkeit wird einem Etwas zugeschrieben, das man als den Träger der magnetischen Eigenschaften ansieht und Magnetismus nennt. Der Magnetimus ist nicht gleichmässig über den ganzen Körper des Stahlstabes verteilt, sondern ist bei einem normal magnetisierten Stab an zwei Stellen nahe seinem Ende, den Polen, angehäuft. Die Pole sind gewissermassen magnetische Schwerpunkte. Sie treten z. B. in die Erscheinung, wenn man den Stabmagneten in Eisenfeile wälzt (Fig. 14). An ihm bleibt dann ein dichter Bart von Eisenteilchen hängen, der

Fig. 14. Stahlmagnet mit Bart aus Eisenfeile.

nach der Mitte zu dünner wird und in der Mitte, der neutralen Zone, fast ganz verschwindet. Aus dem Stabmagneten erhält man eine andere, häufig benutzte Form: den Hufeisenmagneten, wenn man sich die beiden Hälften des Stabes um seine Mitte

gebogen denkt. Beim Stabmagneten ist zu einer Zeit gewöhnlich nur ein Pol anziehend thätig; beim Hufeisenmagneten unterstützen sich beide, so dass er eine grössere Last, und zwar die dreifache und mehr tragen kann, als ein Stabmagnet gleicher Magnetisierung und gleichen Gewichtes. Häufig setzt man die Hufeisenmagnete aus vorher und einzeln magnetisierten Lamellen oder Blättern zusammen und erhält so ein magnetisches Magazin (Fig. 15). Das vom Hufeisen getragene Stück Eisen heisst Anker. Wenn es dem Magneten vorgelegt ist, bewahrt dieser seinen Magnetismus besser als sonst.

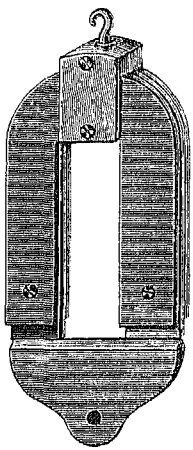


Fig. 15.
Hufeisenmagnet, aus Lamellen zusammengesetzt und mit Anker.

Eine dritte Form des Magneten ist die Magnetnadel (Fig. 16): ein dünnes magnetisches Stahlblech von der Form eines lang gestreckten Rhombus schwebt mittelst eines Hütchens aus Achat auf einer harten Stahlspitze, so dass es sich frei in der Horizontalen drehen kann. Es besteht nun die ebenso bekannte, wie merkwürdige Thatsache, dass die Nadel von dieser Freiheit keinen Gebrauch macht. Sie schwingt zwar, wenn sie angestossen worden ist, hin und her, kehrt aber deutlich immer wieder in eine bestimmte Gleichgewichtslage zurück. In dieser Gleichgewichtslage zeigt die längere Diagonale des Rhombus — die magnetische Achse — nahezu die Nordsüdrichtung an. Die Abweichung der magnetischen Achse von der wahren Nordsüdrichtung heisst Deklination. Sie wechselt nach Zeit und Ort an Grösse und Richtung. Die durch die magnetische Achse der Nadel gelegte vertikale Ebene heisst der magnetische Meridian des betreffenden Ortes. Die horizontal schwingende Magnetnadel ist das Urbild des Kompass. Schon daraus geht die ungeheure Bedeutung der magnetischen Erscheinungen für die menschliche Kultur hervor.

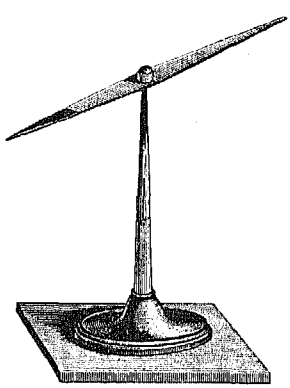


Fig. 16. Magnetnadel.

Wie das Verhalten der Magnetnadel zeigt, sind die beiden Pole eines Magneten nicht gleichwertig. Der eine — bei der Nadel ist er blau angelassen — zeigt, von der Deklination abgesehen, nach Norden, der andere nach Süden. Man ist gewohnt, den nach Norden zeigenden den Nordpol, den anderen den Südpol zu nennen. Ahmen wir den Kompass der alten Chinesen nach und lassen unsern Magnetstab auf einem Kork in einer Schale mit Wasser schwimmen (Fig. 17), so stellt sich der Stab in die Richtung des magnetischen Meridians ein. Auch der Stab hat also nicht zwei gleichwertige Pole, sondern einen Nord- und einen Südpol, die, wie man bei näherem Zusehen bemerkt, durch ein eingeschlagenes N und S bezeichnet sind. Mit Nadel und Stab kann man nun leicht das magnetische Grundgesetz demonstrieren. Wie Sie sehen, zieht der Nordpol des Stabes den Südpol der Nadel heftig zu sich hin, während deren Nordpol vor demselben Stabende flieht, so dass sich die Nadel bequem um ihre Achse herumjagen lässt. Umgekehrt stösst der Südpol des Stabes den Südpol der Nadel ab und zieht ihren Nordpol an. Das Resultat der vier Versuche ist: Gleichnamige Magnetpole stossen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an. Dies Gesetz klärt in alien Fällen über die Richtung der Bewegung auf. Die Kraft, welche Stab-Pol und Nadel-Pol auf einander ausüben, ist von ihrer Entfernung r abhängig, und zwar, wie Coulomb, der schon früher genannte Physiker, durch Messung gezeigt hat, dem Quadrat der Entfernung umgekehrt proportional. Sie hängt ausserdem von der Stärke der Pole, d. h. der in ihnen wirksamen Menge Magnetismus m_1 und m_2 ab, und zwar ist sie gleich deren Produkt, so dass die anziehende oder abstossende Kraft zweier in der Entfernung r von einander befindlichen Magnetpole von der Polstärke m_1 und m_2

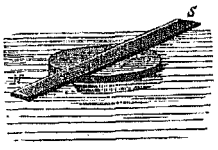


Fig. 17.
Schwimmender Magnetstab.

$$F = \frac{m_1 \, m_2}{r^2}$$ ist, ein Gesetz, welches

dem Newtonischen über die Gravitation gleicht.

Die gegenseitige Einwirkung zweier Magnete auf einander bietet eine Erklärung der an sich sehr merkwürdigen Fähigkeit

der Nadel, die Himmelsrichtung anzuzeigen. Man braucht nur anzunehmen, dass unsere Erde sich wie ein grosser zweipoliger Magnet verhält. Dann muss sie im Norden einen magnetischen Südpol haben, damit nach dem Grundgesetz der Nordpol der Nadel dorthin gezogen werde. Hiermit im Widerspruch steht aber die gewöhnliche Ausdrucksweise, dass im hohen Norden, auf der nordamerikanischen Halbinsel Boothia Felix, der magnetische Nordpol liegt. Dann muss der nach Norden zeigende Pol der Nadel ein Südpol sein. Physikalisch wäre das richtig, widersprüche aber dem Gefühl und der Sprachgewohnheit. Wir machen es deshalb entweder wie die Engländer und nennen den Pol der blau angelassenen Hälfte der Nadel den Nord-suchenden oder bezeichnen gewohnter aber inkonsequenter Weise beide Pole: den im Norden befindlichen der Erde und den dorthin zeigenden der Nadel als Nordpole, müssen uns dann aber stets ihres magnetischen Gegensatzes bewusst bleiben. Der magnetische Südpol der Erde harrt übrigens bekanntlich noch seiner Entdeckung.

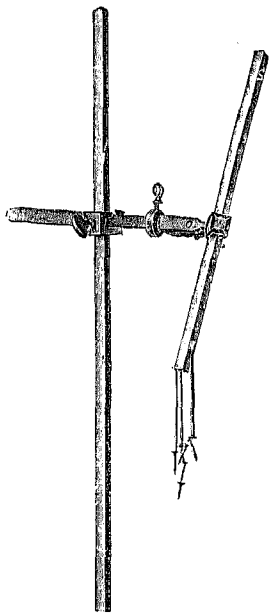


Fig. 18.
Nagelkette zur Demonstration der magnetischen Influenz.

Eine weitere magnetische Erkenntnis werden Sie aus dem folgenden Versuche (Fig. 18) schöpfen. Taucht man einen Magnetstab in ein mit eisernen Nägeln gefülltes Kästchen und zieht ihn wieder empor, so sieht man den eingetaucht gewesenen Pol mit einer Kette von Nägeln behangen, und zwar hängen Nägel nicht nur am Magneten selbst, sondern an Nägeln, die selbst erst vom Magneten oder von anderen Nägeln getragen werden. Die ursprünglich unmagnetischen Nägel sind in den Stand gesetzt, andere ursprünglich ebenfalls unmagnetische zu tragen. Jeder einzelne Nagel ist selbst zu einem Magneten geworden. Zur Erklärung des Versuches wird angenommen, dass ein Magnetpol in einem benachbarten Eisenstück an dessen zugewandtem Ende einen neuen ihm selbst entgegengesetzten Pol,

am abgewandten einen gleichnamigen Pol erzeugt oder, wie man sagt, influenziert. Jeder Nagel wird zu einem Magneten, der die ihm zugewandten Pole der Nachbarmagnete mit entgegengesetzten Polen anzieht. Die Annahme einer magnetischen Influenz macht auch die magnetische Anziehung einleuchtender. Der anziehende Magnetpol erregt, influenziert in dem ursprünglich unmagnetischen Eisen einen ihm entgegengesetzten Pol, und beide ziehen sich dann nach dem Grundgesetz an. Wird der ursprüngliche Magnet entfernt, so verschwindet auch der Magnetismus des angezogenen Eisens fast vollständig wieder. Trotzdem der erste Nagel unverändert seine Lage beibehält, fällt bei Fortnahme des Magneten — wie Sie sehen — die ganze bis dahin angezogene Kette von Nägeln herab. Ihr Magnetismus ist vorübergehend und an die Anwesenheit des Stahlmagneten gebunden.

Mit Hilfe eines Magneten kann auch ein neuer Magnet, der seinen Magnetismus nicht vorübergehend, sondern dauernd beibehält: ein neuer Dauermagnet hergestellt werden. Dann muss aber das Material des zu magnetisierenden Stabes Stahl sein. Die Magnetisierung geschieht in der Weise, dass man den einen Pol des Magneten auf die Mitte des unmagnetischen Stahlstabes aufsetzt und einige Male nach dem einen, z. B. dem rechten Ende hin streicht (Fig. 19). Darauf thut man dasselbe

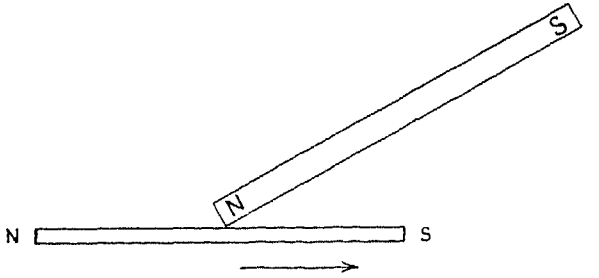


Fig. 19. Herstellung eines Dauermagneten durch Streichen.

mit dem anderen Pole und nach der anderen Seite hin. Jedes Ende trägt dann, wie man leicht mit der Nadel prüfen kann, einen Pol, welcher dem nach ihm streichenden entgegengesetzt ist.

Die Möglichkeit, durch Streichen neue Magnete zu erzeugen, findet eine Erklärung in der Anschauung der Elementarmagnete, deren Verständnis durch Anstellung eines einfachen

Versuches erleichtert wird. Wir haben gesehen, dass das Coulombsche Gesetz die gegenseitige Anziehung je eines Poles zweier verschiedener Magnete behandelt, andererseits aber nur Magnete mit zwei Polen kennen gelernt. Es fragt sich, giebt es überhaupt einpolige Magnete? Versuchen wir, einen solchen herzustellen. Hier ist ein dünner Stahlstab. Dass er unmagnetisch, wird dadurch erwiesen, dass seine beiden Enden die Magnetnadel anziehen. Durch Streichen verwandele ich den Stab in einen Magneten. Das eine Ende seiner Enden — zur Unterscheidung werde ihm ein Stückchen Papier aufgesetzt[1]) — stösst jetzt den Nordpol der Nadel ab, zieht ihren Südpol an. Der bezeichnete Pol ist also ein Nordpol. Das andere Ende trägt entsprechend den Südpol. Das Stäbchen ist ein gewöhnlicher zweipoliger Magnet. Wir versuchen, die beiden Pole zu trennen und kneifen das Stäbchen in der Mitte mit der Beisszange durch. Nun sollte auf der einen Hälfte ein Nord-, auf der andern ein Südpol isoliert sein. So meinen wir; aber der Prüfstein, die Magnetnadel, zeigt, dass wir irren. An der Bruchstelle sind zwei neue Pole entstanden (Fig. 20), so dass

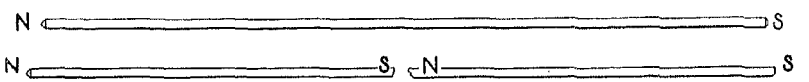


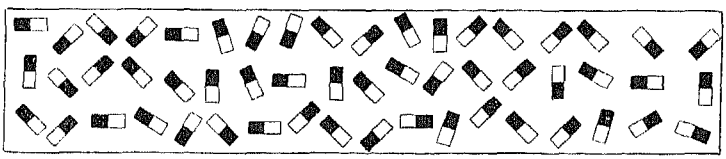
Fig. 20. Ein Magnetstab zerfällt beim Zerschneiden in zwei zweipolige Magnete. An der Trennungsstelle entstehen zwei einander entgegengesetzte Pole.

jede Stabhälfte wieder Nord- und Südpol trägt. Es gelingt in der That nicht, einen Magnetpol zu isolieren, und das Coulombsche Gesetz kann so ohne Weiteres nicht für zwei auf einander wirkende Magnete gelten, da es ja nur die gegenseitige Wirkung zweier einzelner Pole behandelt. Die Unmöglichkeit, einen Magnetpol zu isolieren, findet durch die Anschauung der Elementarmagnete eine einleuchtende Erklärung. Diese Anschauung sieht schon in den kleinen Teilchen, aus den ein Magnet wie jeder andere Körper besteht, Magnete. In der That zeigt die nähere Betrachtung, dass kleine gleichgerichtete Magnete, wie sie hier die Abbildung (Fig. 21b) schematisch zeigt, die Wirkung eines einzigen grossen Magneten haben würden. Es ist dabei gleichgiltig, ob die Teilchen wirklich die chemischen Molekeln

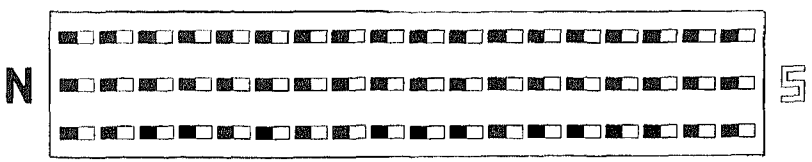
[1]) In Fig. 20 fortgelassen.

sind, über deren Grösse bei festen Körpern übrigens kaum etwas bekannt ist, oder ob sie Elemente einer anderen Grössenordnung darstellen, ob wir mithin von Molekular- oder von Elementarmagneten reden wollen. Diese kleinen Magnete sollen als solche auch schon im unmagnetischen Stahl oder weichen Eisen vorhanden sein. Nur liegen sie dort wirr, ungeordnet, einer die Wirkung des anderen aufhebend, durcheinander (Fig. 21a).

Fig. 21. Schematische Darstellung der Elementarmagnete



a) im unmagnetischen Eisen,



b) in einem Magneten.

Obgleich in seinem Inneren aus Magneten zusammengesetzt, vermag ein solcher Stab nach aussen nicht magnetisch zu wirken; denn die Wirkung eines jeden Poles wird durch die eines entgegengesetzten aufgehoben. Beim Magnetisieren zieht nun der eine streichende Pol die Elementarmagnete an den ihm selbst entgegengesetzten Polen nach der einen Seite; der andere Pol thut desgleichen. Die Elementarmagnete werden gleichgerichtet und unterstützen sich gegenseitig. Aus dem unmagnetischen Stahle ist dauernd ein Magnet geworden. Aber nur Stahl wird dauernd magnetisch, nicht so weiches Eisen. Zwar nimmt dieses, wie der Versuch mit der Nagelkette zeigte, schnell, so gut wie augenblicklich Magnetismus an, seine Teilchen sind sofort gerichtet; aber ebenso schnell verliert es ihn wieder. Stahl ist magnetisch zäher. Es kostet Arbeit, ihn magnetisch zu machen. Einmal ein Magnet, behält er aber seinen Magnetismus sehr lange bei. Man spricht von einer grossen Coërcitivkraft des Stahles, einer kleinen des weichen Eisens, indem man unter

Coërcitivkraft die Fähigkeit, dauernd magnetisch zu werden, versteht. Als Ursache der verschiedenen Coërcitivkraft nimmt man an, dass im weichen Eisen die Elementarmagnete leichter drehbar sind, als im Stahl. Sie sind magnetisch gehorsamer und folgen dem streichenden Magneten schnell, fallen aber bei dessen Abwesenheit eben so schnell wieder in ihren alten Zustand zurück. Wir werden später sehen, eine wie grosse Bedeutung diese und ihnen verwandte Dinge für die Technik besitzen.

Das Kapitel der magnetischen Erscheinungen dürfen wir nicht abschliessen, ohne die moderne Anschauungsweise des Magnetismus: die **Kraftlinien** besprochen zu haben. Ein Kraftlinienbild lässt sich leicht erzeugen, indem man einen Magnetstab mit einer Glasplatte oder einer Pappe bedeckt und Eisenfeile darauf streut. Diese ordnen sich dann unter unsern Augen in bestimmten regelmässigen Kurven an (Fig. 22), welche

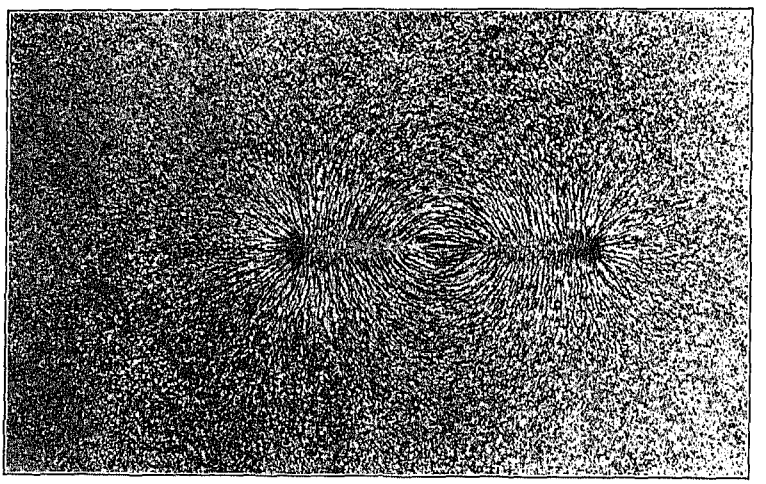


Fig. 22. Kraftlinienbild eines Magnetstabes.

Kraftlinien heissen. Die Kraftlinien liefern ein Bild von der Verteilung der magnetischen Kräfte in der Umgebung des Magneten, von der Natur des magnetischen Feldes, wie man die Umgebung des Magneten als das Feld seiner Wirksamkeit nennt. Das magnetische Feld, mit anderem Ausdruck das Kraftfeld, ist natürlich nicht auf die Ebene der Glasplatte oder Pappe beschränkt, sondern umgiebt den Magneten räumlich,

nach allen drei Dimensionen. Man definiert eine Kraftlinie eines Magneten als den Weg, den ein von seinem Nordpole abgestossenes und seinem Südpole angezogenes Eisenflitterchen nehmen würde. Streng genommen sollte dieses Flitterchen, damit es vom Ort bewegt und nicht nur gedreht wird, nur einen Nordpol tragen, was wir allerdings als praktisch unmöglich erkannt haben. Wie Sie aber aus diesem Lichtbilde (Fig. 23) sehen, stellt sich die kleine Magnetnadel, die ich jetzt vom Nord- zum Südpole bewege, in die Richtung der Kraftlinien ein. Alle Kraftlinien gehen vom Nordpole aus und kehren nach ihrer Wanderung durch den Raum sämtlich zum Südpole zurück. Zwar scheinen sie zum Teil ohne Umkehr in den Raum hinaus zu schweifen. Wenn man aber ihren Lauf mit Eisenfeile genügend weit verfolgt, sieht man, dass auch sie zum Südpol zurückkehren.

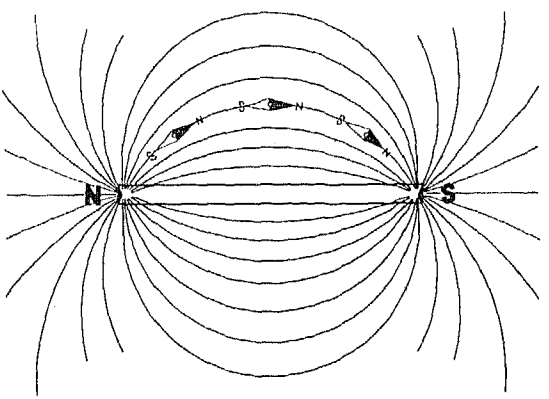


Fig. 23. Eine Magnetnadel stellt sich in die Richtung der Kraftlinien des Magnetstabes.

Jetzt bringe ich ein Stück Eisen — etwa von der Form und Grösse eines Zweimarkstückes — in die Nähe des Magneten. Sie sehen (Fig. 24), die Kraftlinien ändern ihren ursprünglichen Lauf und werden zum Eisen hingelenkt, so dass sie, die sonst verhältnismässig weit von einander entfernt sind, sich an den Kanten der Eisenscheibe eng zusammendrängen. Sie tauchen in das Eisen hinab und sind so lange auf dem Bilde nicht zu sehen. In der That saugt Eisen die Kraftlinien in sich hinein. Es hat, wie man die Eigenschaft nennt, eine grosse Permeabilität, eine grosse Aufnahmefähigkeit oder Leitfähigkeit für Kraftlinien, ein Begriff, der in seiner Art an die elektrische Leitfähigkeit

erinnert. Das Eisen lenkt die Kraftlinien von ihrem ursprünglichen Wege ab; aber an ihrer schliesslichen Rückkehr zum Südpol des Magneten wird dadurch nichts geändert. Immer verlaufen sie vom Nordpol durch den Raum zum Südpol.

Bis hierher ist die Kraftlinienanschauung leicht verständlich, wenn man auch einige Zeit braucht, um sich in sie hineinzuleben und ihre grosse Bedeutung zu erkennen. Dagegen scheint es auf den ersten Anblick geradezu widersinnig, Kraftlinien zählen zu wollen. Denn offenbar hängt ihre Zahl ganz von derjenigen der

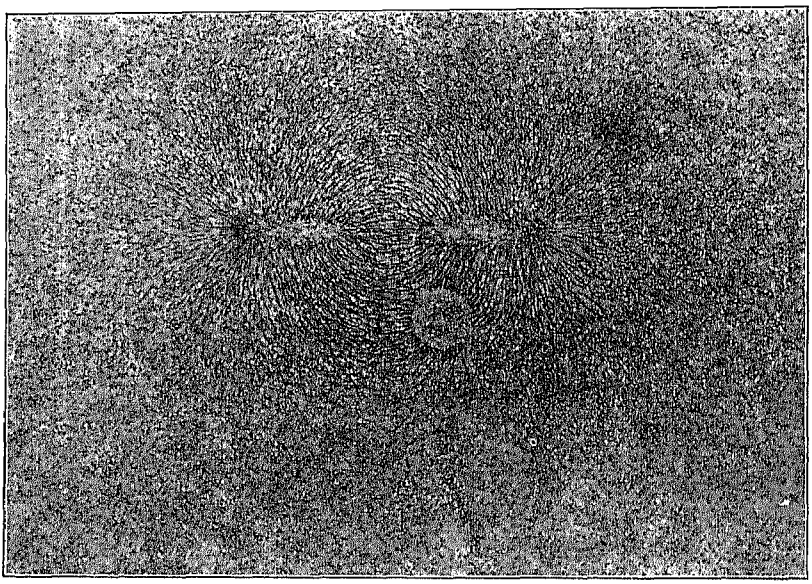


Fig. 24. Magnetstab und Eisenstäbe.
Eisen lenkt die Kraftlinien von ihrem gewohnten Wege ab und saugt sie in sich hinein.

Eisenflitterchen ab, die den Weg vom Nord- zum Südpol zurücklegend gedacht, oder hier im Bilde von der Menge der Eisenfeilspähne, die aufgestreut werden. Andererseits steht, wie der Augenschein lehrt, die Dichtigkeit, mit der die Kraftlinien neben einander verlaufen, in Beziehung zu der Stärke der an der betreffenden Stelle des Feldes herrschenden magnetischen Kräfte oder kurz der Feldstärke. Man könnte die Dichtigkeit der Kraftlinien als der Feldstärke proportional und als deren Maass ansehen. Nähme man z. B. für ein Feld einer gewissen

Stärke an, dass auf einen Quadratcentimeter senkrecht zu den Kraftlinien geführter Schnittfläche so und so viele Kraftlinien kämen, so entspräche der doppelten Feldstärke die doppelte, der halben die halbe Kraftliniendichte. Zu jeder Feldstärke gehörte dann eine bestimmte Kraftliniendichte, d. h. Kraftlinienzahl pro Quadratcentimeter senkrechter Schnittfläche. Diese Schnittfläche könnte einem Kabelquerschnitt ähnlich gedacht werden. Die Anzahl der Adern entspräche dann der der Kraftlinien. Voraussetzung bleibt aber immer, dass irgend ein magnetisches Feld von bekannter Stärke als von einer bestimmten Anzahl Kraftlinien (pro Quadratcentimeter senkrechter Schnittfläche) durchzogen angenommen wird. Über beider gegenseitige Beziehung ist eine — willkürliche — Verabredung zu treffen. Ist das geschehen, so kann auch jede andere Feldstärke durch eine Kraftliniendichte gemessen werden. Die Annahme ist die: Dem Felde der Stärke Eins entspricht eine Kraftlinie pro Quadratcentimeter, der Feldstärke fünfundzwanzig also fünfundzwanzig Kraftlinien pro Quadratcentimeter.

Die Bedeutung der Kraftliniendichte leuchtet ein, wenn man bedenkt, dass im Eisen die Linien viel dichter bei einander verlaufen, als daneben. Vermöge seiner grossen Permeabilität, so sagten wir, sauge das Eisen die Kraftlinien des umgebenden Luftraumes in sich hinein. Bei derselben magnetischen Ursache ist die Liniendichte im Eisen grösser, und zwar sehr viel grösser, als in der Luft oder anderen unmagnetischen Materialien. Es entsteht mithin ein Maass für die Permeabilität, indem wir — auf eine hier nicht zu erörternde Weise — messen, wieviel mal grösser die Kraftliniendichte im Eisen ist, als sie es bei Abwesenheit von Eisen an derselben Stelle des Feldes wäre. Die Permeabilität L ist als diejenige Zahl zu definieren, welche angiebt, wieviel mal so gross die Feldstärke im Eisen ist, als in der Luft. Sie ist der Quotient aus der Kraftliniendichte in Eisen und derjenigen in Luft. So erzeugt z. B. ein magnetisches Feld von $50 \frac{\text{Kraftlinien}}{\text{Quadratcentimeter}}$ in einem bestimmten Eisen $15000 \frac{\text{Kraftlinien}}{\text{Quadratcentimeter}}$. Die Permeabilität dieses Eisens (bei der vorliegenden Feldstärke) ist also $L = \frac{15000}{50} = 300$.

Die in Kraftlinien zu messende Feldstärke lässt ganz die Ursache des Feldes: den Magneten vergessen. Wie das Magnetfeld entstanden, wird zur späteren Frage. Man betrachtet die Kraftlinien in der Luft, als ob sie die ursprüngliche Ursache der Magnetisierung des im Felde befindlichen Eisens wären. Thatsächlich ist das von Kraftlinien durchsetzte Eisen ein Magnet. Die Eintrittsstelle der Linien bildet einen Süd-, die Austrittsstelle einen Nordpol, eine Erscheinung, die wir schon als magnetische Influenz kennen gelernt haben. Die Kraftliniendichte in Luft wird als Magnetisierende Kraft angesehen. Sie hat die Kraftliniendichte im Eisen, die Magnetisierung zur Folge. Das ist wohl zu merken und sei deshalb wiederholt: Kraftliniendichte in Luft, Ursache, Magnetisierende Kraft; Kraftliniendichte in Eisen, Folge, erreichte Magnetisierung. Wir können dieses schwierige Kapitel vorläufig abschliessen, wenn wir die international gebräuchlichen Abkürzungen H für Kraftlinienzahl in Luft, Magnetisierende Kraft und B für Kraftlinienzahl in Eisen, erreichte Magnetisierung anführen. Die Permeabilität L ist dann der Quotient $\frac{B}{H}$.

$$L = \frac{B}{H}.$$

Durch die Kraftlinienanschauung ist allerdings keine neue physikalische Thatsache gewonnen. Aber sie lässt die magnetischen Dinge einheitlich und klar erscheinen und macht sie der Rechnung zugänglicher. Die Grundlagen der Telegraphie und Telephonie lassen sich wissenschaftlich nicht mehr anders betrachten. Auch hier zeigt sich, dass die Betrachtung der Kraftlinien das wichtigste Kapitel der Elektrotechnik bildet.

4. Vorlesung.

Elektromagnetismus.

Der Oerstedsche Versuch und die Ampèresche Schwimmregel. — Die Wirkung von Magnet und Leiter ist gegenseitig. — Amperewindungen. — Der Elektromagnet. — Polarität. — Konstruktion des Hufeisenelektromagneten. — Kraftlinien. — Die Spule ohne Eisenkern. — Kraftlinien um Stromleiter. — Stärke des Spulenfeldes. — Die Spule verhält sich wie ein Magnet. — Spulenmodell. — Elektrodynamisches. — Grundgesetz des magnetischen Kreises. — Hinkender und polarisierter Elektromagnet. — Remanenz und Hysteresis. — Hysteresiskurve.

Der Elektromagnetismus, mit dessen Grundbegriffen wir uns in der heutigen Vorlesung zu beschäftigen haben, ist eins der interessantesten und grossartigsten Gebiete der Physik. Zumal für Sie, meine Herren, giebt es kein wichtigeres Kapitel; schon allein deshalb, weil der Hauptteil aller Telegraphenapparate ein Elektromagnet ist. Ich bitte Sie, deshalb Ihre ganze Aufmerksamkeit dem Versuche zuzuwenden, mit dessen Hilfe der dänische Professor Oersted im Jahre 1820 die erste elektromagnetische Thatsache entdeckte (Fig. 25).

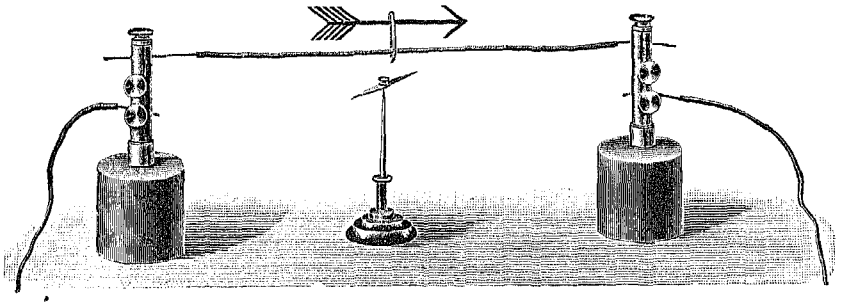


Fig. 25.
Oerstedscher Versuch: Ablenkung der Magnetnadel durch einen Strom-führenden Leiter.

Sie sehen eine Magnetnadel und über ihr, aber ohne jede elektrische Verbindung, parallel mit der Ebene des magnetischen Meridians, einen Leitungsdraht ausgespannt, der über einen

Regulierwiderstand [1]) hinweg mit einer Stromquelle verbunden ist: In dem Augenblick, in welchem der Stromlauf geschlossen wird, sehen Sie die Magnetnadel die Ebene des magnetischen Meridians verlassen, einige Male hin und herschwingen und in einer neuen Lage zu Ruhe kommen. Eine Verkleinerung des Widerstandes bei derselben Spannung, also eine Vergrösserung des Stromes, lässt die Nadel sich weiter und weiter von ihrer ursprünglichen Lage entfernen, in die sie bei Aufhören des Stromflusses sofort zurückkehrt. Umkehrung der Stromrichtung bewirkt Umkehrung des Ablenkungssinnes der Nadel: Die blau angelassene Spitze, die eben auf Sie hinzeigte, wendet sich mir zu. Eine Erhöhung des Nadelstandpunktes durch einen untergestellten Holzklotz, so dass jetzt der Draht nicht mehr über, sondern unter der Nadel vorbeiführt, lenkt das Nordende wieder zu Ihnen. Der Sinn der jedesmaligen Ablenkung ist vorauszusagen, wenn man ein von dem Ihnen schon bekannten Ampère aufgestelltes Gesetz, die Ampèresche Schwimmregel, im Gedächtnis behält. Sie lautet: Denkt man sich mit dem Strome schwimmend, den Kopf nach vorn, das Gesicht

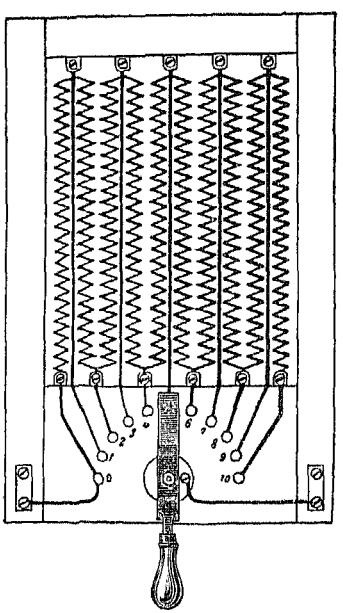


Fig. 26. Regulierwiderstand.

[1]) Regulierwiderstände werden in der Elektrotechnik ganz ausserordentlich häufig gebraucht. Sie dienen dazu, einem von derselben und unveränderten Elektromotorischen Kraft gelieferten Strome bequem eine gerade gewünschte Grösse zu geben. Dieser für den Unterricht gebaute Widerstand hier (Fig. 26) zeigt Ihnen, wie durch einfaches Drehen eines Handgriffes eine grössere oder kleinere Zahl von Drahtrollen in den Stromkreis eingeschaltet, dadurch dessen Gesamtwiderstand vermehrt oder vermindert und der fliessende Strom verkleinert oder vergrössert werden kann.

der Magnetnadel zugekehrt, so wird ihr Nordpol stets nach links abgelenkt. Hierin sind, wie man leicht prüfen kann, sämtliche möglichen Fälle einbegriffen.

Ein stromführender Leiter wirkt also auf die Magnetnadel. Auch das Umgekehrte ist der Fall. Ein feststehender Magnet lenkt einen in einem Ampèreschen Gestell (Fig. 27) beweglich

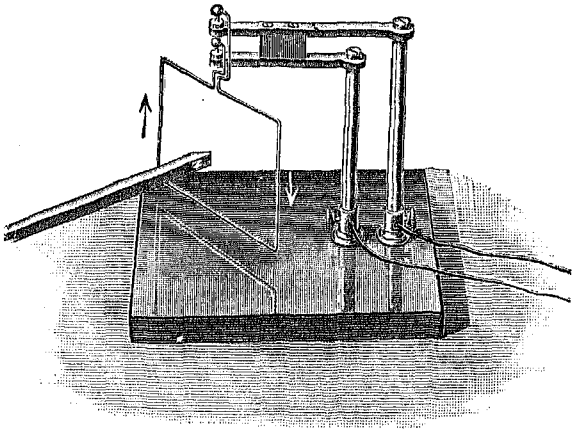


Fig. 27. Umkehrung des Oerstedschen Versuches.

aufgehängten stromführenden Leiter ab: Zwei mit Quecksilber gefüllte Näpfchen, die auf Messingsäulen angebracht sind, vermitteln den Stromübergang zu einem Aluminiumbügel, auch wenn er sich bewegt. Sobald ein Stabmagnet in die Nähe dieses Stromleiters gebracht wird, verändert er seine Richtung; also ist die Wirkung von Magnet und Stromleiter gegenseitig.

Die Ampèresche Schwimmregel legte den Sinn der Ablenkung der Magnetnadel fest. Wie der Oerstedsche Versuch zeigte, ist die Grösse der Ablenkung durch die im Leiter herrschende Stromstärke, durch die Anzahl der fliessenden Ampere bedingt. Jetzt lassen wir, wie vorher, den Leiter über der Nadel vorbeigehen und führen ihn ausserdem unter ihr zurück. Es tritt dann zu der ursprünglichen ablenkenden Kraft eine neue hinzu, und zwar verstärken sich beide, wie aus dem Versuch und der Ampèreschen Schwimmregel hervorgeht. Wird mithin der Draht in vielfachen einander parallelen Windungen um die Nadel herumgeführt, so tritt eine Vervielfachung der Wirkung ein. Wie sich also zeigt, hängt unter sonst gleichen

Umständen die Grösse der ablenkenden Kraft nicht nur von der Zahl der Ampere, sondern auch davon ab, wie oft diese Ampere die Nadel umfliessen, mithin — mathematisch gesprochen — vom Produkte von Stromstärke und Windungszahl: den Amperewindungen, einem elektrotechnisch ausserordentlich wichtigen Begriff, der uns noch wiederholt begegnen wird. Die ablenkende Kraft ist proportional den Amperewindungen. Die Ablenkung der Magnetnadel durch den Strom ist deshalb so wichtig, weil sie die erste Thatsache war, die zwei bis dahin getrennte und für völlig verschieden gehaltene Gebiete der Physik, die Elektricität und den Magnetismus, mit einander verknüpfte. Praktische Anwendung findet sie zum Bau von Messinstrumenten, über welche, wie schon erwähnt wurde, später Einiges mitzuteilen sein wird.

Eine andere elektromagnetische Thatsache hat nun praktisch die allergrösste Bedeutung. Der stromführende Leiter lenkt nicht nur einen Dauermagneten ab, sondern er vermag, unmagnetisches Eisen zu magnetisieren, in ihm Magnetismus zu erregen. Bewickelt man einen Stab aus unmagnetischem (weichen) Eisen mit vielen Windungen isolierten Leitungsdrahtes, oder bringt man den Stab in eine — etwa auf eine Holzröhre, den Spulenträger, gewickelte — fertige Spule, und schickt durch deren Windungen Strom, so wird der Eisenstab für die Dauer des Stromflusses zum Magneten: zum **Elektromagneten.** Die

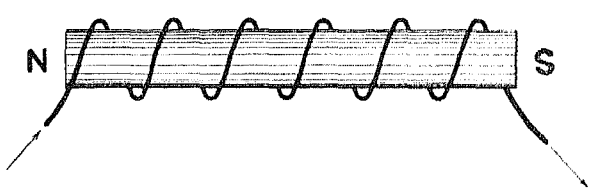


Fig. 28. Schema eines stabförmigen Elektromagneten.

Lage der Pole dieses Elektromagneten ergiebt sich mit Hilfe der Magnetnadel oder aus einer zweiten, der ersten ähnlichen Schwimmregel: Man denke sich in der Richtung des Stromes den Eisenkern umschwimmend, das Gesicht ihm zugewandt; dann entsteht zur Linken der Nordpol, zur Rechten der Südpol (Fig. 28). Eine andere, gebräuchlichere Regel, die im Resultat mit der eben gegebenen natürlich übereinstimmt, lässt von aussen

auf die Pole sehen und sagt aus: Man sieht den Südpol des Elektromagneten in der Richtung des Uhrzeigers, den Nordpol in der entgegengesetzten vom Strome umflossen (Fig. 29).

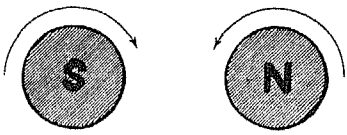


Fig. 29. Uhrzeigerregel für die Polarität eines Elektromagneten.

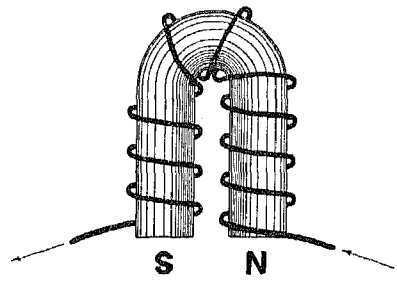


Fig. 30. Schema eines hufeisenförmigen Elektromagneten.

Wie man sich leicht vorstellen kann, hängt die Stärke eines Elektromagneten unter sonst gleichen Verhältnissen erstens von der Stärke des fliessenden Stromes und zweitens von der An-

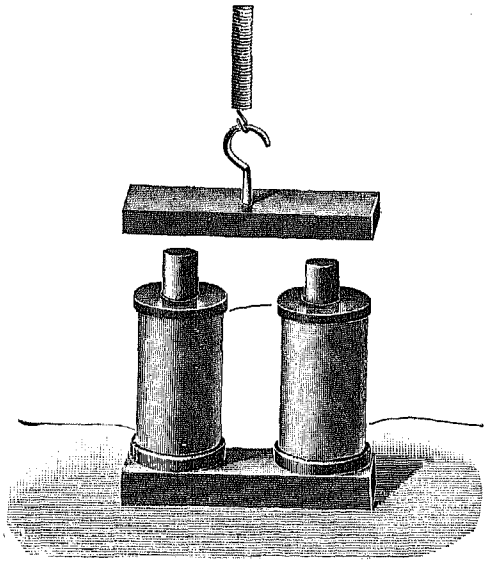


Fig. 31. Schema eines technischen Elektromagneten.

zahl von Malen ab, welche dieser Strom den Magneten umkreist. Die Stärke eines Elektromagneten ist den Amperewindungen seiner Spule proportional, eine Thatsache, auf Grund

deren jeder Elektromagnet, mag er nun einer Dynamomaschine oder einem Telegraphenapparate angehören, berechnet werden kann.

Einfache stabförmige Elektromagnete kommen in der Technik ebenso wenig, wie stabförmige Dauermagnete vor. Aus gleichem Grunde wird in beiden Fällen die Hufeisenform bevorzugt (Fig. 30). Der Hufeisenelektromagnet wird in der Technik gewöhnlich aus zwei zylindrischen Kernen und einer sie verbindenden Grundplatte, dem Joche, aufgebaut (Fig. 31). Die Kerne bewickelt man meist nicht direkt mit Draht, sondern schiebt ihnen fertige, auf einen Träger gewickelte Spulen auf. Dadurch wird die Fabrikation erleichtert; auch lässt sich ein Joch bequemer an den Apparaten befestigen, wenn es gerade, als wenn es halbkreisförmig gebogen ist. Die Wicklungsführung geht aus dieser Zeichnung (Fig. 32)

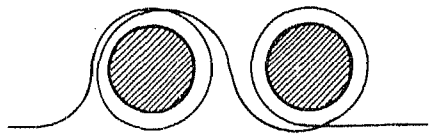


Fig. 32. Wicklungsschema für Elektromagnetspulen.

hervor. Man kann die Richtigkeit der Wicklung prüfen, indem man sich das Hufeisen zum Stabe zurückgebogen denkt und sieht, wie die Windungen einander folgen.

Die Versuche, welche mit dem Dauermagneten angestellt wurden, lassen sich mit dem Elektromagneten in Folge seiner grossen Polstärke schöner und leichter wiederholen. Das gilt besonders von den Kraftlinienbildern. Auch was Theoretisches über Kraftlinien gesagt wurde, ist auf den Elektromagneten zu übertragen; strahlt doch auch der Elektromagnet Kraftlinien in den umgebenden Raum aus und erzeugt dort ein magnetisches Feld, dessen Stärke in Kraftlinienanzahlen pro Quadratcentimeter senkrechter Schnittfläche gemessen wird. Der früher entwickelte Begriff der Permeabilität lehrte die Rolle, welche das Eisen bei magnetischen Erscheinungen spielt. Es liegt der Gedanke nahe, dass auch das Eisen des Elektromagneten nur den Beruf hat, Kraftlinien in sich zu vermehren, eine auch ohne Eisen — nur dann in geringerem Maasse — vorhandene Wirkung zu verstärken. Mit anderen Worten heisst das: schon

die Stromdurchflossene Spule allein, ohne Eisenkern erzeugt Kraftlinien. Dann muss es auch ein einfacher gerader Stromleiter thun. Dies ist, wie der folgende Versuch (Fig. 33) zeigt, thatsächlich der Fall Ein vertikaler Leiter durchsetzt eine horizontale durchlöcherte Glas- oder Papptafel. Aufgestreute Eisenfeilspähne ordnen sich in konzentrischen Kreisen um den

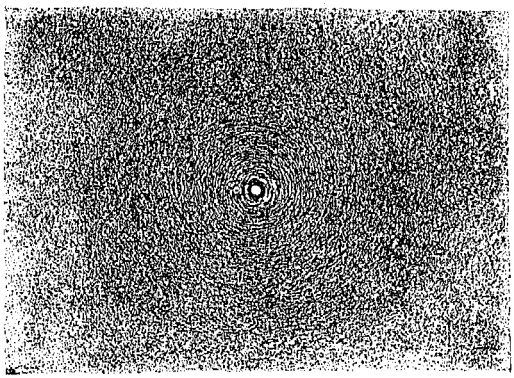


Fig. 33. Kraftlinien um einen geraden Leiter.

Leiter als Mittelpunkt. Die Kraftlinien bilden um den Leiter concentrische Ringe. Ist der Leiter selbst ringförmig gebogen, wie die Windung einer Spule, so geben die

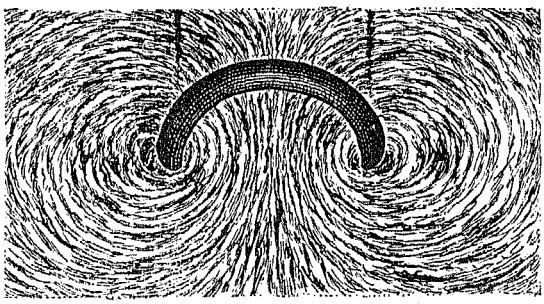


Fig. 34. Kraftlinienbild auf einer eine Windung schneidenden Ebene.

Kraftlinien in einer durch die Mitte gelegten Ebene dieses Bild (Fig. 34), während sich auf einer Ebene, die zu der Windung parallel ist, die Eisenfeile so anordnet (Fig. 35). Der Verlauf der Kraftlinien um eine Windung wird Ihnen klar, wenn Sie

sich beide Bilder (Fig. 34 und 35) räumlich combinieren. Bei einer Spule scheinen sich die Kraftlinien der einzelnen Windungen zu vereinigen, und die Gesamtwirkung ist so, als

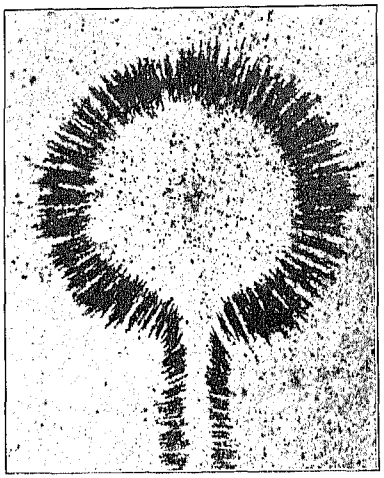


Fig. 35. Kraftlinienbild einer Windung auf einer zu ihr parallelen Ebene.

ob die Spule parallel zu ihrer Achse von einem Bündel einander paralleler Kraftlinien durchsetzt wäre, die sich ausserhalb der Spule schlössen. Hier (Fig. 36) haben Sie eine Glas-

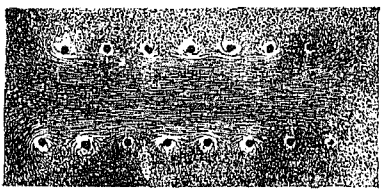


Fig. 36. Die Kraftlinien einer Spule.

platte, durch deren Löcher eine Spule aus Kupferdraht gewunden war. Wir haben dann Eisenfeilspähne gestreut und sie in der von ihnen eingenommenen Lage auf eine einfache Weise festgehalten. Schliesslich wurde die Spule wieder herausgewunden. Sie sehen das parallele Bündel gerader Linien, welches die Spule durchzieht. Eine von Strom durchflossene Spule erzeugt also auch ohne Eisenkern Kraftlinien. Um es zu wiederholen: das Eisen hat nur den Beruf, durch seine grosse Permea-

bilität die Kraftlinien dichte zu vervielfältigen. Die Kraftliniendichte in der Spule ohne Eisen ist in der uns bekannten Weise H, im Eisen B zu nennen. Beide sind wie früher durch die Gleichung

$$L = \frac{B}{H}$$

verbunden, worin L die Permeabilität bezeichnet. Wovon wird das H abhängen? Sicherlich von der fliessenden Stromstärke J und der Windungszahl n, also den Amperewindungen $J\,n$. Diesen ist H proportional; es ist aber, wie hier nur ohne weiteren Beweis angegeben werden kann, umgekehrt proportional dem Kraftlinienweg l. Je länger der Weg ist, durch den die Kraftlinien hindurchgedrückt, hindurchgespritzt werden müssen, umso kleiner wird unter sonst gleichen Umständen H. Es besteht also das Gesetz

$$H \sim \frac{n\,J}{l}.$$

Bei einer Spule ohne Eisenkern lassen sich leicht noch andere magnetische Wirkungen, als die Entstehung von Kraftlinienbildern zeigen. Man braucht zum Beispiel nur den Enden einer mit ihrer Achse zum magnetischen Meridian senkrechten Spule Magnetnadeln gegenüberstellen (Fig. 37). Im Augenblick

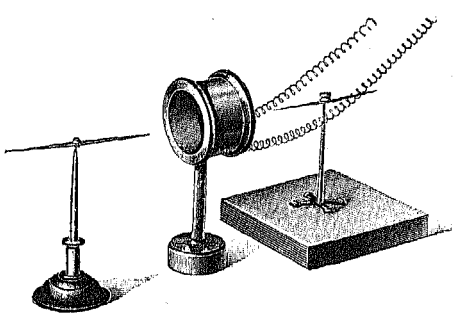


Fig. 37. Magnetische Wirkung einer Strom-durchflossenen Spule.

des Stromschlusses drehen sich die Nadeln parallel zur Spulenachse herum. Der Ablenkungssinn ist derselbe wie vorher, als wir den Elektromagneten, d. h. eine Spule mit Eisenkern benutzten. So wird z. B. zu diesem linken Spulenende der Nord-

pol der Nadel hingezogen. Das Spulenende wirkt also wie ein Südpol. In der That ist es in der Richtung des Uhrzeigers vom Strome umflossen. Wenn sich eine Spule wie ein Magnet verhält, dessen magnetische Achse mit der ihrigen zusammenfällt, so sollte eine bewegliche und Strom-durchflossene Spule sowohl der Einwirkung eines Dauermagneten wie auch der des Erdmagnetismus folgen. Um das zu zeigen, wird sie aus dünnem Aluminiumdraht ohne Spulenträger gewunden und in das Ampèresche Gestell gehängt. Sie verhält sich dann thatsächlich wie eine Magnetnadel: sie wird von einem Dauermagneten abgelenkt und stellt sich auch in die Ebene des magnetischen Meridians ein.

Um Ihnen die magnetischen Eigenschaften einer Spule auch bei Abwesenheit von Eisen, also die Kraftlinien-bildende Natur der Strom-durchflossenen Windungen recht ins Gedächtnis einzuprägen, habe ich hier dieses Modell (Fig. 38) gebaut.

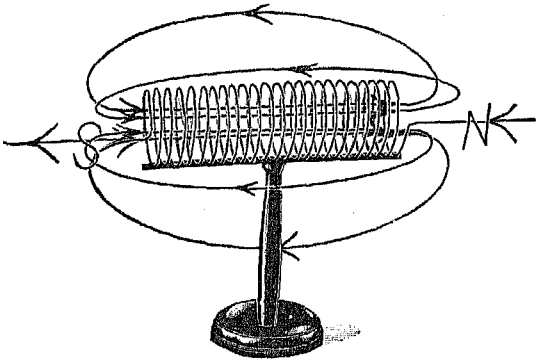


Fig. 38. Modell der Kraftlinien einer Spule.

Sie sehen aus dickem Aluminiumdraht eine Spule gewickelt, welche in der Richtung der Aluminiumpfeile vom Strom durchflossen zu denken ist. Die Spule verhält sich wie ein Magnet, dessen Nordpol von Ihnen aus rechts, dessen Südpol links liegt, was durch die Buchstaben *S* und *N* bezeichnet ist. In der That sieht man bei der seitlichen Ansicht der Spule den Südpol im Sinne des Uhrzeigers, den Nordpol im entgegengesetzten Sinne von Strom umflossen. Das von der Spule erzeugte Bündel von Kraftlinien ist durch die vier rot lackierten

(in der Figur erscheinen sie schwarz) Bügel dargestellt, die gerade und parallel durch das Spuleninnere verlaufen und sich aussen um die Spule im Bogen schliessen. Ausserhalb verlaufen sie, wie die an ihnen befestigten Pfeile andeuten, vom Nord- zum Südpole also von rechts nach links und kehren im Inneren von rechts nach links zurück.[1]) Bei dieser Gelegenheit sei darauf hingewiesen, dass man in Analogie mit der Spule auch dem Körper des Dauermagneten Kraftlinien zuschreibt, die eng nebeneinander vom Süd- zum Nordpol zurückführen und den magnetischen Kreis schliessen.

Es ist uns jetzt geläufig geworden, dass Spulen sich wie Magnete verhalten. Zwei Spulen sollten sich deshalb auch gegenseitig beeinflussen. Ein einem Südpole gleichwertiges Spulenende zieht dasjenige Ende einer zweiten Spule an, das einem Nordpole entspricht. Bei der Daraufsicht von vorn wird das erste Ende im Uhrzeigersinne, das zweite ihm entgegen von Strom umflossen, wie es die schematische Zeichnung (Fig. 29) wiedergab. Das hindert aber nicht, dass beide Ströme parallel und gleichgerichtet fliessen, wenn die Spulenenden sich gegenüberstehen. Um das zu sehen, muss man im Geiste die eine Windung vor die andere klappen. Danach müssen sich Leiter anziehen, wenn sie von gleichgerichteten Strömen durchflossen werden. Um dieses Gesetz zu erweisen, schicke ich durch zwei biegsame Metallbänder gleichgerichtete Ströme. Sie sehen, wie beide Bänder auf einander zustreben. Sobald aber der Strom des einen Bandes umgekehrt wird, werden sie beide aus einander getrieben. Hiermit ist ein deutlicher Beweis dafür geliefert, dass parallele, von gleich gerichteten Strömen durchflossene Leiter sich anziehen, von ungleich gerichteten durchflossene sich abstossen. Diese Erscheinungen gehören eigentlich nicht mehr in den Elektromagnetismus, sondern in ein anderes Kapitel der Elektricitätslehre: die Elektrodynamik. Sie finden auch in der Schwachstromtechnik keine direkte Anwendung; doch haben sie theoretisch eine so grosse Bedeutung, dass sie hier nicht wohl übergangen werden konnten. In so fern gehören sie aber auch in den

[1]) Das Modell kann, ebenso wie der Glühlampenapparat der ersten Vorlesung, vom Mechaniker Albert Herbst in Berlin O. bezogen werden.

Elektromagnetismus, als man sich die Anziehung und Abstossung der Ströme auf Anziehung und Abstossung ihrer magnetischen Kraftlinien zurückgeführt denken kann; kann man doch auch alle magnetischen oder elektromagnetischen Anziehungen und Abstossungen auf solche von Kraftlinien zurückführen. Hier ist ein fixiertes Kraftlinienbild (Fig. 39) zweier Magneten, von denen

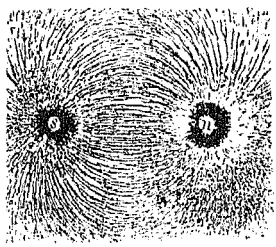


Fig. 39. Kraftlinienbild benachbarter ungleichnamiger Magnetpole.

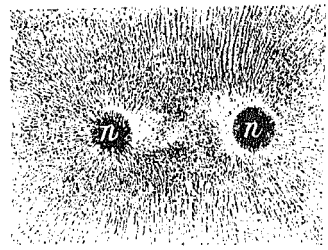


Fig. 40. Kraftlinienbild benachbarter gleichnamiger Magnetpole.

der Nordpol des einen dem Südpole des andern benachbart ist. Sie sehen die Kraftlinien von einem Pole zum anderen hinstreben. Sie suchen die Pole zu verbinden, ihre Entfernung zu verkürzen. Betrachtet man dagegen das Kraftlinienbild, bei dem gleichnamige Pole benachbart sind (Fig. 40), so scheinen die Kraftlinien sich gegen einander zu sträuben und die Pole weiter von einander entfernen zu wollen. Ganz ähnlich machen es die Kraftlinienringe, die zwei Leiter umgeben, je nachdem sie von gleich- oder von entgegengesetzt gerichteten Strömen durchflossen werden. Das letztere haben Sie auch schon an dem Kraftlinienbild gesehen, dass eine Strom-führende Windung auf einer sie senkrecht schneidenden Ebene erzeugte (vgl. Fig. 34).

Schon in der vorigen Vorlesung wurde vom magnetischen Kreise gesprochen, der natürlich ebenso wie beim Dauermagneten auch beim Elektromagneten besteht, hier nur die entsprechend höhere Wichtigkeit besitzt. Die gesamte einen Kreis durchfliessende Kraftlinienzahl N ist gleich der $\frac{\text{Kraftlinienzahl}}{cm^2}$ B, multipliziert mit der Grösse des Eisenquerschnittes in Quadratcentimetern q, wie aus der Definition von B folgt.

$$N = B \,.\, q.$$

Es war $B = L \,.\, H$ und

$$H \infty \frac{n\,J}{l},$$

woraus sich die Beziehung ergiebt

$$N \infty L \frac{q}{l} \,.\, n\,J.$$

die offenbar an das Ohmsche Gesetz erinnert und deshalb das Ohmsche Gesetz des Magnetismus genannt wird. Seine Aehnlichkeit mit dem elektrischen Gesetz ist aber einigermassen äusserlich und deshalb seine Bezeichnung als Grundgesetz des magnetischen Kreises vorzuziehen. Die Gesamtzahl der erreichten Kraftlinien oder, wie man auch sagt, der Kraftfluss hängt von der Grösse $n\,J$, den Amperewindungen ab, welche das Treibende des Flusses darstellen. Im Gedanken an die Elektromotorische nennt man sie deshalb die Magnetomotorische Kraft. Kraftfluss und Magnetomotorische Kraft werden durch die Grösse $L \frac{q}{l}$ von der Art einer Leitfähigkeit verknüpft. Die Permeabilität entspricht der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit. Länge und Querschnitt wirken in gleicher Weise auf das magnetische, wie auf das elektrische L.

Die Gleichung heisst:

$$N \infty L \frac{q}{l} \,.\, n\,J.$$

Der reciproke Wert des magnetischen Ausdrucks $L \frac{q}{l}$ heisst mit Recht der magnetische Widerstand des Eisenweges: $\frac{1}{L} \frac{l}{q}$. Je grösser der magnetische Widerstand eines Kreises, umso weniger Kraftlinien werden von derselben Magnetomotorischen Kraft, der gleichen Anzahl Amperewindungen durch ihn hindurch getrieben. Bei alien Elektromagneten wird man deshalb bedacht sein, den magnetischen Widerstand zu verkleinern. Man erreicht das vor allem — und das ist das Wichtigste — dadurch, dass man die Kraftlinien, wo immer nur möglich, durch Eisen gehen und sie nur kurze Luftbrücken überschreiten lässt.

Denn der Luftwiderstand ist L mal so gross, wie der des Eisens. Den Widerstand des Eisenweges selbst setzt man dadurch herab, dass man Eisen von hoher Permeabilität und grossem Querschnitt verwendet und auch den Eisenweg nicht unnütz lang macht. Soll die von einer bestimmten Magnetomotorischen Kraft hervorgerufene Kraftlinienanzahl verkleinert werden, wie z. B. beim Schwächungsanker des Hughesapparates, so ist es nur nötig, den Widerstand des magnetischen Kreises zu erhöhen, indem man den Querschnitt des Eisenweges verringert oder statt Eisen Luft in den Kraftlinienweg einschaltet.

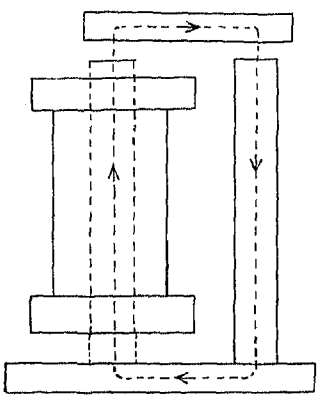


Fig. 41. Schema eines hinkenden Elektromagneten.

Mit der Kenntnis des magnetischen Kreises ausgerüstet, werden Sie jetzt auch an demjenigen Elektromagneten nichts Verwunderliches finden, den man nach französischem Vorbilde hinkend nennt, dessen Verwendung in den Klappenschränken später zu besprechen ist. Der hinkende Elektromagnet (Fig. 41) enthält eine Erregerspule nur auf einem Schenkel, daher sein Name. Der andere Schenkel ist frei und dient nur als eiserner Leitungsweg für die Kraftlinien. Dieser Elektromagnet wirkt ebenso gut wie ein zweispuliger, sofern nur genügend Amperewindungen vorhanden sind.

Es sind noch verschiedene andere Formen von Elektromagneten in der Schwachstromtechnik in Gebrauch, von denen wir aber jetzt im allgemeinen Teil der Vorlesungen nur den ausserordentlich wichtigen **polarisierten Elektromagneten** erwähnen. Er ist eine Kombination von Dauermagnet und Elektromagnet (Fig. 42) und dient nicht dazu, unmagnetisches Eisen magnetisch zu machen, sondern einen dauernd vorhandenen magnetischen Zustand elektromagnetisch zu verstärken oder zu schwächen. Mit den Polen eines Stahlmagneten sind (in unserm Falle rechtwinklig gebogene) Kerne aus weichem Eisen, die Polschuhe, verbunden und, wie wir zu Anfang sagten, durch Influenz dauernd magnetisch. Die Polschuhe haben schon eine Polarität. Ausserdem sind sie mit Spulen um-

geben. Je nach der Richtung, in welcher ein Strom diese Spulen durchfliesst, wird der influenzierte Magnetismus elektromagnetisch verstärkt oder geschwächt. Vom Standpunkt des magnetischen Kreises müssen wir sagen, der ursprünglich im Stahlmagneten vorhandenen Magnetomotorischen Kraft gesellt sich eine neue der Spule hinzu. Je nachdem diese neue der alten gleichgerichtet ist, sind es auch die Kraftlinien verschiedenen Herkommens und verstärken sich oder heben sich auf. Es wird noch genügende Gelegenheit sein, sich mit der Wirkungsweise der polarisierten Elektromagnete genau vertraut zu machen. Hier sollte nur das allgemeine Prinzip erwähnt werden.

Dagegen bleibt uns, ehe wir das Kapitel des Elektromagnetismus abschliessen, eine Reihe von Erscheinungen zu betrachten, die für die Starkstromtechnik die allergrösste Bedeutung haben, aber auch in unserem Gebiete ihren Einfluss lebhaft äussern. Das sind die Erscheinungen der **Remanenz** und **Hysteresis.**

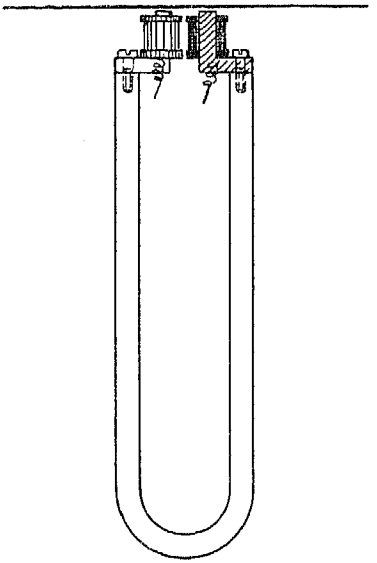


Fig 42. Polarisierter Elektromagnet des alten Siemensschen Telephons.

Die Remanenz besteht darin, dass in jedem Eisen auch dem mit der kleinsten Coërectivkraft etwas, ein wenig Magnetismus zurückbleibt, sobald das Eisen einmal magnetisiert war. Deshalb lässt, wie Sie sehen, ein Elektromagnet seinen Anker nicht fallen, wenn der Stromfluss unterbrochen wird. Der zurückbleibende, der remanente Magnetismus genügt, um den Anker zu tragen. Wird der Anker jetzt abgerissen und durch die Erschütterung auch die Remanenz zum grossen Teil vernichtet, so ist der Elektromagnet ohne neue Erregung nicht mehr im Stande, den Anker zu tragen. Der im Eisenkern durch die Magnetomotorische Kraft der Spule erzeugte Magnetismus verschwindet zwar zum grossen Teil, aber nicht vollständig mit dem Verschwinden der Ursache.

Der Strom hat die Elementarmagnete gerichtet. Noch nach seiner Unterbrechung behalten sie ihre künstliche Lage bei, bis Erschütterungen sie vernichten. Die Remanenz, der noch im Eisen verbleibende Rückstand von Kraftlinien, kann natürlich auch dadurch vernichtet werden, dass ein dem ersten entgegengesetzt gerichteter Strom eine der alten Magnetisierung entgegengesetzte bewirkt. Es wird dann eine gewisse Zahl neuer, entgegengesetzt gerichteter Kraftlinien dazu verbraucht, den Rest der in der ursprünglichen Richtung verlaufenden aufzuheben. Erst wenn die remanenten Linien unschädlich gemacht sind, tritt eine Magnetisierung im neuen Sinne ein. Zu der Ummagnetisierung wird eine kleine Zeit gebraucht. Die erreichte Magnetisierung B hinkt der magnetisierenden Kraft H nach, etwa wie ein Wald am heissen Sommertage nicht gleichzeitig mit dem freiem Felde die wechselnden Tagestemperaturen annimmt, sondern erst einige Zeit braucht, bis er nachfolgt, so dass er des Mittags angenehm kühl, des Abends verhältnismässig warm ist. Die zeitliche Differenz hat der magnetischen Erscheinung, welche von Warburg, dem jetzigen Professor der Physik an der Berliner Universität, entdeckt worden ist, den Namen der Hysteresis = Späterkommen eingetragen.

Die zeitliche Differenz beim Ummagnetisieren besitzt praktisch keine Bedeutung. Dagegen ist die Thatsache von der allergrössten Wichtigkeit, dass zur Überwindung der Remanenz, zwar nicht zum Aufrechterhalten, aber zum Hervorrufen eines magnetischen Zustandes ein Arbeitsaufwand erforderlich ist. Beim Magnetisieren durch Streichen wird dieser vom Oberarmmuskel des Streichenden bestritten. Beim Magnetisieren durch den Strom wird im ersten Moment elektrische Arbeit verloren. Die Entmagnetisierung, die Überwindung der Remanenz kostet ebenfalls Arbeit und das Magnetisieren im neuen Sinne desgleichen. Ein beträchtliches Arbeitsquantum erfordert deshalb eine Magnetisierung, wenn sie fortwährend ihren Richtungssinn wechselt. Das ist der Fall, wenn ein Eisenkern von einem Wechselstrome umflossen wird. Wenn auch die Besprechung des Wechselstromes späteren Vorlesungen vorbehalten bleiben muss, so können Sie sich doch leicht vorstellen, dass ein Wechselstrom seine Richtung periodisch und ausserordentlich oft in der Sekunde ändert. Die Magnetomotorische Kraft einer Spule pulsiert dann in demselben

Tempo, wenn auch gegen den erregenden Wechselstrom ein wenig verzögert, hin und her, und es tritt ein fortwährendes Ummagnetisieren des Eisenkerns ein. Das ist nicht eine seltene, etwa nur für den theoretischen Versuch herbeizuführende Erscheinung. Im Gegenteil, sie kommt praktisch ausserordentlich häufig, um nur ein Beispiel zu nennen, im Telephon vor. Auch dort umfliessen Wechselströme die Eisenkerne und magnetisieren sie in stets wechselnder Richtung. Die zum fortwährenden Ummagnetisieren notwendige Arbeit geht als elektrische verloren und erscheint als Wärme wieder. Die magnetischen Elementarteilchen reiben sich gleichsam bei ihrer Drehung und werden dadurch warm. Die auf diese Weise gebildete Wärme kann in schlecht konstruierten Starkstromapparaten so hohe Temperaturen erzeugen, dass sie nach kurzem Betriebe schleunigst ausgeschaltet werden müssen, um nicht ganz zu verderben.

Für unsere Zwecke ist weniger die Entstehung von Wärme, als der Verlust an elektrischer Arbeit das Wesentliche. Er ist auf das kleinste erreichbare Maass herabzudrücken, was durch Verwendung möglichst weichen, magnetisch folgsamen Eisens erreicht wird. Die Elementarteilchen müssen der richtenden magnetischen Kraft mit geringer Reibung folgen. Remanenz, Coërectivkraft und damit auch die Hysteresisarbeit sind dann klein.

Die drei Begriffe: Remanenz, Coërectivkraft und Hysteresisarbeit müssen, wie man sofort herausfühlt, in naher Beziehung zu einander stehen. Eine Zeichnung wird diese Beziehung deutlich machen. Wir halten uns an den praktischen Fall, dass ein Fabrikant einer Prüfungsbehörde seine Eisensorte zur magnetischen Untersuchung übersendet, um auf Grund desselben einen Verkauf abzuschliessen. Zu dem Ende wird das Eisen durch einen herumgesandten Strome magnetisiert, dessen Stärke man mittelst eines Regulierwiderstandes sprungweise von Null ansteigen lässt. Jeder Strom hat ein magnetisches Feld bestimmter Stärke zur Folge, und dieses Feld verursacht als magnetisierende Kraft H in dem zu untersuchenden Eisen eine bestimmte Magnetisierung B. Gemessen werden beide Grössen, wie bekannt, in Kraftliniendichten. H sind wieder Kraftlinien pro cm^2 in Luft, B in Eisen. Nach ver-

schiedenen, hier nicht zu besprechenden Methoden wird zu jeder Kraftliniendichte in Luft: H die zugehörige in Eisen: B bestimmt. Den wesentlichsten Teil des Prüfungsattestes bildet die Magnetisierungs- oder Hysteresiskurve, eben die jetzt zu entwerfende Zeichnung. In ein Achsenkreuz werden (Fig. 43) vom Schnittpunkte O nach rechts die für H gewonnenen Zahlen

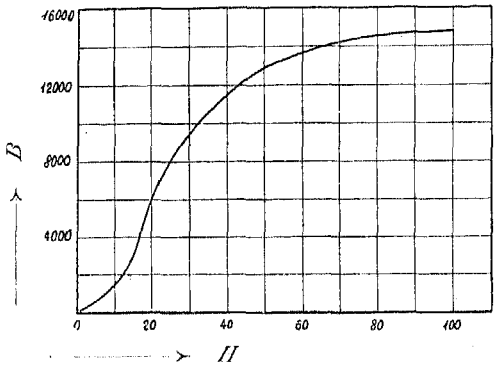


Fig. 43. Jungfräuliche Magnetisierungskurve.

und nach oben die für B eingetragen. Die Schnittpunkte der Lote zu einander gehöriger Werte von B und H werden mit einander verbunden und ergeben eine gekrümmte Linie, welche für alle in Betracht kommenden magnetisierenden Kräfte die bei dem vorliegenden Eisen erreichten Magnetisierungen oder mit anderen Worten die Abhängigkeit zwischen B und H angiebt.

Geht man jetzt mit der magnetisierenden Stromstärke wieder abwärts (Fig. 44), so bekommt man bei demselben H wie vorher, nicht wieder dasselbe B; sondern alle B sind neuerdings grösser, als zuvor. Ja, trotzdem schliesslich mit Unterbrechung des magnetisierenden Stromes das H zu O geworden sein muss, ist noch ein B vorhanden, eben unsere Remanenz (Fig. 43, Linie $O\,A$). Diese remanente Kraftlinienzahl ist dem Eisen nur durch eine entgegengesetzt gerichtete, vom Schnittpunkt nach links als $-H$ einzutragende magnetisierende Kraft auszutreiben. Die Remanenz ist erst verschwunden, $B = O$ geworden, wenn $-H$ zu $O\,C$ angewachsen ist. $O\,C$ bedeutet mithin diejenige entmagnetisierende Kraft, welche aufgewendet werden muss, um dem Eisen seinen Magnetismus bis auf die letzte Kraftlinie zu

entziehen. Diese entmagnetisierende Kraft $O\,C$ ist nach dem Satze über die Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung dieselbe wie die, mit welcher das Eisen seinen Magnetismus festhält, d. h. die Coërcitivkraft. Nun wird in der neuen Richtung weiter magnetisirt. Die Coërcitivkraft ist überwunden. Im Eisen treten Kraftlinien der neuen Richtung auf. Zu jedem $-H$ gehört ein $-B$. Ist die Stärke des magnetisierenden Stromes bis zu dem höchsten Werte angestiegen, den er vorher in der umgekehrten Richtung erreicht hatte, so lassen wir ihn wieder abnehmen. Abermals geht die Kurve einen neuen Weg. Bei A_1 ist keine magnetisierende Kraft, aber noch ein Rest von Kraftlinien im

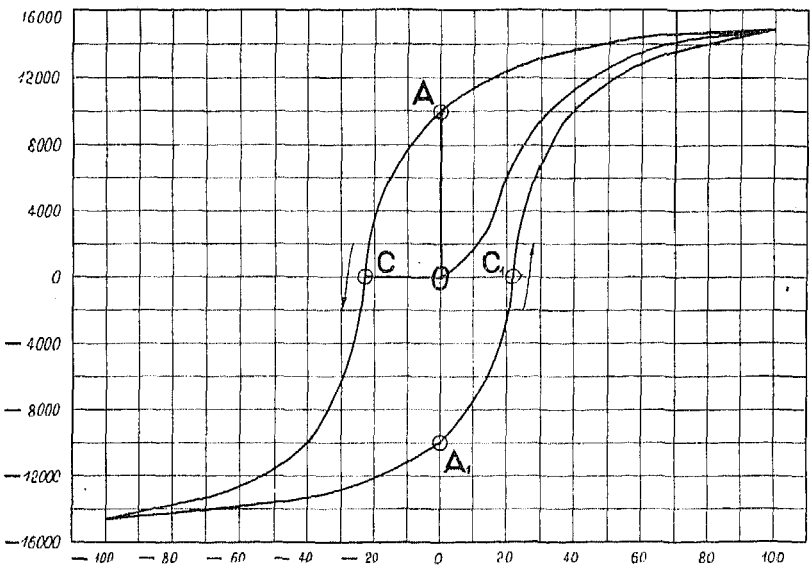


Fig. 44. Hysteresiskurve.

Eisen, die alte Remanenz nur im anderen Richtungssinne, vorhanden. Bei C_1 hat ein H der ursprünglichen Richtung das $-B$ zu O gemacht. Weiteres Anwachsen des positiven Magnetisierungsstromes führt zur positiven Spitze empor. Ein vollständiger Cirkel ist durchlaufen worden. Die entstandene Seepfeerd-artige Kurve giebt den Verlauf der Magnetisierung an. Der zuerst gefundene Ast der Kurve (welcher in Fig. 43 allein dargestellt ist) gilt nur für Eisen, welches noch niemals von

einem magnetisierenden Strome umflossen worden ist. Deshalb wird sie als die jungfräuliche Kurve bezeichnet. Alle späteren Magnetisierungen verlaufen auf der gefundenen Schleife oder ihr ähnlichen.

Je weicher das Eisen, umso kleiner mithin die Remanenz OA oder OA_1, und die Coërektivkraft OC oder OC_1, und umso mehr wird sich die Schleife der jungfräulichen Kurve nähern. Hieraus lässt sich entnehmen, dass die von der Magnetisierungskurve oder -schleife eingeschlossene Fläche ein Maass für die zur Magnetisierung aufgewendete —, die Hysteresisarbeit abgiebt. Daher ihre Bezeichnung als Hysteresiskurve oder -schleife. Das lässt sich streng beweisen. Für unseren Zweck genügt es aber, wenn Sie verstanden haben, dass Dauermagnete aus Stahl, Elektromagnetkerne aus weichem Eisen zu machen sind, und dass in allen Fällen, indenen die Kerne von veränderlichen oder gar von Wechselströmen umflossen werden, auf weiches Eisen mit schlanker Hysteresiskurve ganz besonders Wert zu legen ist.

5. Vorlesung.

Induktion.

Magnet- und Ankerinduktion. — Voltainduktion. — Richtung des induzierten Stromes. Lenzsches Gesetz. — Die Induktion als Folge von Kraftlinienänderungen. — Wirbelströme. Unterteilung von Spulenkernen. — Selbstinduktion. Bifilare Wickelung. — Ruhmkorffscher Funkeninduktor. Transformator. Öffnungsfunke. Unterbrecher. — Wechselspannung und Wechselstrom. — Induktanz und Scheinbarer Widerstand. — Transformation. Übersetzungsverhältnis und Windungszahlen. Verluste im Transformator.

In der letzten Vorlesung wurde gezeigt, wie leicht es gelingt, durch den elektrischen Strom magnetische Erscheinungen hervorzurufen. Heute liegt die umgekehrte Aufgabe vor: mit Hilfe eines Magneten soll elektrischer Strom erzeugt werden. Dies geschieht auf dem von Faraday berühmten Andenkens gezeigten Wege der Magnetinduktion.

Den gewünschten Strom nachzuweisen, dient ein Gavanoskop, wie es in der Telegraphie angewandt wird, oder besser noch in der hier vor Ihnen stehenden Form mit weithin sichtbarem Zeiger (Fig. 45). Ein Magnetstab, auf dem senkrecht jener Zeiger sitzt, ist von Drahtwindungen umgeben. Sobald Strom dieselben durchfliesst, wird der Magnet aus seiner ursprünglichen Gleichgewichtslage in eine neue gedreht, und der Zeiger verlässt den Nullpunkt der hinter ihm befindlichen Skala. Die Stellung des Zeigers giebt mithin an, ob der Leiterkreis, in den das Instrument eingeschaltet ist, von Strom durchflossen wird oder nicht. Die Klemmen des Galvanoskops sind nun mit denen einer Spule verbunden, derselben Spule, die zu den elektromagnetischen Versuchen gedient hat. Neulich machte ein durch die Spule fliessender Strom einen Eisenkern magnetisch. Wie die Nullstellung des Galvanoskops anzeigt, ist das Umgekehrte nicht der Fall. Ein in der Spule befindlicher Dauermagnet erzeugt keinen Strom. Aber in demselben Augenblick, in dem der Magnet bewegt wird, zuckt der Zeiger des Galvanoskops.

Bei schnellem Herausziehen des Magneten aus der Spule tritt sogar für den Augenblick eine heftige Ablenkung nach der einen Seite der Skala hin ein (Fig. 45). Ein Hineinstossen des Magneten in die Spule bewirkt eine ebenso heftige Zeigerbewegung nach der andern Seite. Das Herausziehen und

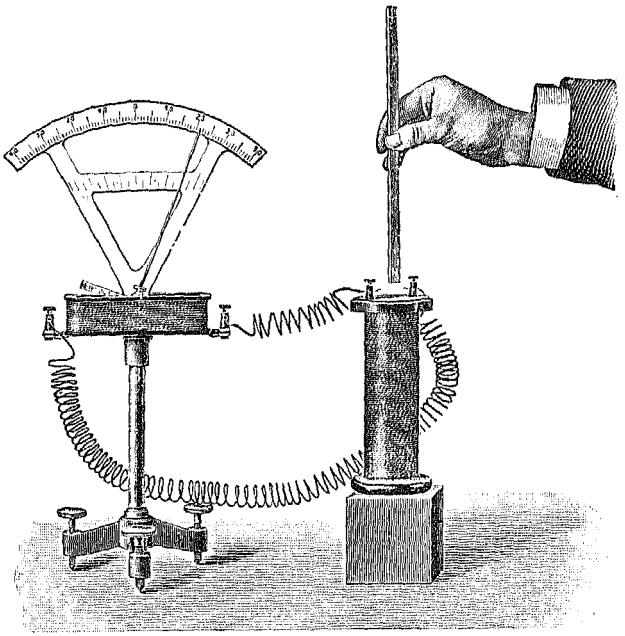


Fig. 45. Magnetinduktion.[1])

Hineinstossen wird in regelmässigem Wechsel fortgesetzt. Das Resultat ist ein regelmässiges Hin- und Herpendeln des Zeigers, verursacht durch elektrische Stromstösse, welche in demselben Takte wie der von meiner Hand geführte Magnet ihre Richtung wechseln. Festhalten des Magneten und Bewegung der Spule bewirkt die gleiche Erscheinung. Es kommt auf die gegenseitige Bewegung von Spule und Magnet an.

Eine der Magnetinduktion ähnliche Erscheinung zeigt sich, wenn man dem ruhig in der Spule stehenden Magneten einen

[1]) Um eine unmittelbare Einwirkung des Magnetstabes auf die Galvanoskopnadel auszuschliessen, ist in Wirklichkeit das Galvanoskop von der Spule weiter entfernt, als es in der Abbildung sein konnte.

Anker aus weichem Eisen vorlegt. Die Bewegung des Ankers zum Magneten erzeugt in der Spule einen Stromstoss in einem Sinne, die vom Magneten fort einen Stromstoss im entgegengesetzten Sinne. Auf dieser Art der Induktion beruht das Telephon. Sie mag deshalb von der Magnetinduktion als Ankerinduktion besonders unterschieden werden. Sie lässt sich auch mit dem von uns neulich benutzten hufeisenförmigen Elektromagneten zeigen, dessen Remanenz auf diese Weise schlagend nachgewiesen ist.

Eine dritte Gruppe von Induktionserscheinungen ist die theoretisch den beiden beschriebenen Arten nahe verwandte, aber bei anderer Versuchsanordnung (Fig. 46) eintretende Voltainduktion. Der empfangende Stromkreis bleibt derselbe wie

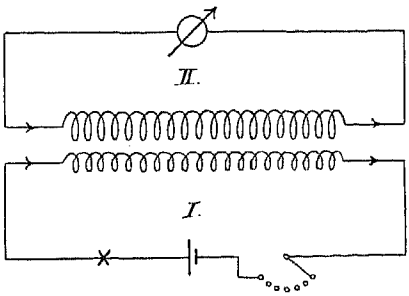


Fig. 46. Voltainduktion.

vorher; aber statt des induzierenden Magneten ist ein induzierender Stromkreis vorhanden. Dieser gebende oder primäre Kreis enthält eine Elektricitätsquelle, eine der empfangenden oder sekundären ähnliche Spule, schliesslich noch einen Ausschalter und einen Regulierwiderstand. (Von ihm sind in der schematischen Fig. 46 nur der Hebel und die Kontaktknöpfe angedeutet.) Primärer und sekundärer Leiter sollen einander recht benachbart sein. Deshalb ist die eine Spule (die primäre) mit kleinerem Durchmesser gewickelt, als die andere, und beide werden in einander gesteckt. Die primäre, von Strom durchflossene Spule steht jetzt in der sekundären, deren Enden zu den Klemmen des Galvanoskops führen. Dessen Nadel zeigt den Nullpunkt der Skala an. Das unveränderte Fliessen eines

Stromes ruft also in einem benachbarten Leiter keine Induktion hervor. Wird dagegen eine der Spulen bewegt, oder die Stärke des primären Stromes geändert, oder wird er ganz unterbrochen oder erst geöffnet, dann entstehen im sekundären Kreise Ströme. Deren Richtung ist dieselbe beim Annähern, Verstärken, Schliessen des primären Stromes einerseits und den drei entgegengesetzten Thätigkeiten: Entfernen, Schwächen, Öffnen andererseits. Abwechselndes Nähern und Entfernen einer Spule oder periodisches Verstärken und Schwächen oder Schliessen und Öffnen des primären Stromes erzeugt, wie bei der Magnetinduktion, **sekundäre Stromstösse wechselnder Richtung.**

In der Art ihrer Wirkung gleicht die Voltainduktion ganz der Magnetinduktion. Wie Sie beobachtet haben, ist aber bei unserer Versuchsanordnung der Voltainduktionsstrom schwächer, als der durch den Magneten induzierte. Die Nadelausschläge nehmen wesentlich an Grösse zu, wenn beide Spulen in ihrer gemeinsamen Mitte einen Kern aus weichem Eisen enthalten. Gewissermassen sind dann Magnet- und Voltainduktion vereinigt. Die induzierende Wirkung des sich ändernden Stromes wird durch die eines sich ändernden Magneten unterstützt. In der That wird der Eisenkern durch den primären Strom magnetisch und begleitet jede Änderung dieses Stromes mit einer Änderung seines Magnetismus. Der Voltainduktion durch Verschwinden (Entstehen) eines Stromes gesellt sich so eine Magnetinduktion durch sehr schnelles Entfernen (Nähern) eines Magneten hinzu. Beide unterstützen sich.

Zu einem Versuch über die Richtung des Induktionsstromes werden zweckmässig nicht zwei Spulen, sondern zwei gerade, parallel neben einander ausgespannte Leiter benutzt. Jetzt ist die Induktionswirkung naturgemäss wesentlich schwächer. Um sie trotzdem weithin sichtbar zu machen, dient als verfeinertes Galvanoskop ein Spiegelgalvanometer. Die Einrichtung beider Instrumente ist im Grunde sehr ähnlich. Hier ist der abzulenkende Magnet nur besonders leicht gebaut und trägt keinen schweren Zeiger, sondern einen kleinen Spiegel, der einen Lichtstrahl auf die grosse Skala dort an der Wand reflektiert. Schon ganz kleine Ablenkungen des Magneten zeigt der gewichtslose und einige Meter lange Lichtzeiger auf der Skala an. Mit dem Spiegelgalvanometer sind deshalb schon ganz schwache

Ströme nachzuweisen. Die Richtung des ablenkenden Stromes geht daraus hervor, ob der Lichtschein sich vom Nullpunkt der Skala nach ihrer rechten oder linken Seite zu bewegt. Der Versuch ergiebt, dass beim Öffnen, Schwächen, Entfernen des primären Stromes der sekundäre ihm gleich — beim Schliessen, Verstärken und Nähern entgegengesetzt gerichtet ist.[1])

Es ist interessant, dass die Richtung des Induktionsstromes aus dem Gesetz von der Erhaltung der Energie gefolgert werden kann. Zum Beispiel muss die Energie, die als elektrische bei der Bewegung eines der Leiter induziert wird, als mechanische vom Arm des Experimentierenden aufgewendet werden. Wenn Arbeit entstehen soli, muss die Bewegung des Leiters dem bewegenden Arm ein Mehr an Arbeit kosten, das auf Rechnung der Induktion zu setzen ist. Der Induktionsstrom muss die ihn erzeugende Bewegung zu hemmen suchen; so sagt das nach seinem Entdecker genannte Lenzsche Gesetz aus, das allerdings nur einen Spezialfall des Gesetzes von der Erhaltung der Energie bildet. Die gegenseitige Annäherung der Stromleiter wird elektrodynamisch gehemmt, wenn induzierender und induzierter Strom sich abstossen. Das ist, wie wir aus der vorigen Vorlesung wissen, bei entgegengesetzt gerichteten Strömen der Fall. Beim Nähern entsteht folglich, wie es auch der Versuch thatsächlich gezeigt hat, ein dem primären entgegengesetzt gerichteter Strom. Auch dem Entfernen beider Leiter von einander sollen induzierender und induzierter Strom elektrodynamisch entgegenarbeiten. Das thun sie, wenn sie sich anziehen. Anziehung findet statt zwischen gleichgerichteten Strömen. Folglich sind beim Entfernen der Stromleiter induzierender und induzierter Strom gleichgerichtet, was ebenfalls der Versuch bestätigt.

Die scharfe Trennung der Induktionserscheinungen in einzelne Gruppen geschieht nur zur Erleichterung des Verständnisses. Sie ist der fortgeschrittenen Erkenntnis ein unnützes

---

[1]) Die in Fig. 46 durch Pfeile bezeichnete Richtung des sekundären Stromes gilt mithin für Öffnen, Schwächen, Entfernen des primären.

Gängelband. Bei allen Arten der Induktion ist ein Kraftfeld vorhanden, ein von Kraftlinien erfüllter Raum. Es ist gleichgiltig, ob die Kraftlinien einem Dauermagneten oder einem Strom-durchflossenen Drahte ihre Entstehung verdanken. Alle Arten der Induktionserscheinungen fallen nun unter den allgemeinen Satz: In einem Leiter findet Induktion statt, sobald die Anzahl der ihn schneidenden Kraftlinien zu- oder abnimmt. Schärfer gefasst, heisst das Induktionsgesetz: Schneiden Kraftlinien wechselnder Anzahl einen Leiter, so wird in ihm eine Elektromotorische Kraft induziert, deren Richtung dem Sinne und deren Grösse der Grösse (der Heftigkeit) der Änderung entspricht. So wird bei der Magnetinduktion die Zahl der die Spule schneidenden Kraftlinien schneller geändert, wenn der Magnet schneller bewegt wird. Dementsprechend ist dann auch die Induktion grösser, wie der weitere Ausschlag des Galvanoskops anzeigt. Ebenso steht es mit der Schnelligkeit der Unterbrechung bei der Voltainduktion. Eine schnelle Unterbrechung bewirkt eine heftigere Änderung der Kraftlinienzahl und damit eine grössere Elektromotorische Kraft der Induktion. Wird ein starker Strom in derselben Zeit unterbrochen, wie ein schwacher, so ist auch die Änderung, mithin die induzierte Elektromotorische Kraft grösser. Es ergiebt sich auch jetzt, warum das Eisen so ausserordentlich verstärkend wirkt. Seine grosse Permeabilität, die Fähigkeit, die Kraftlinien des umgebenden Raumes in sich zu vervielfältigen, vervielfältigt auch die Grösse der Kraftlinienänderung und damit die Induktion.

Eine weitere Induktionserscheinung soll Ihnen dieser Versuch (Fig. 47) hier zeigen. Zwischen den kreisförmig ausgehöhlten Polschuhen eines Elektromagneten ist ein Hohlcylinder, eine Trommel aus dickem Kupferblech drehbar gelagert. Diese Kupfertrommel kann durch eine Zahnradübersetzung (die ebenso, wie die Lager in Fig. 47 fortgelassen ist) in schnelle Drehung versetzt werden, wie es jetzt geschieht. Der Elektromagnet ist, wie Sie beachten wollen, noch nicht erregt. Sobald nun der Schalthebel des Erregerstromkreises umgelegt wird und Strom die Magnetschenkel umkreist, wird die Kupfertrommel heftig gebremst. Sie bemerken, welche grosse Arbeit mein Arm leisten muss, um die Trommel durchzuziehen. Dabei

wird sie, wie deutlich zu fühlen ist, beträchtlich warm, wenn man sie trotz der Bremsung weiterdreht. Die mechanische Arbeit des drehenden Armes verschwindet, und dafür erscheint Wärme. Die Umwandlung der einen Energieform in die andere findet nicht unmittelbar statt, sondern als Zwischenstadium tritt elektrische Arbeit auf. Versuchen wir, dieses Auftreten aus den uns bekannten Thatsachen zu erklären. Die Erscheinung tritt nur bei erregtem Elektromagneten ein. Sie ist an das

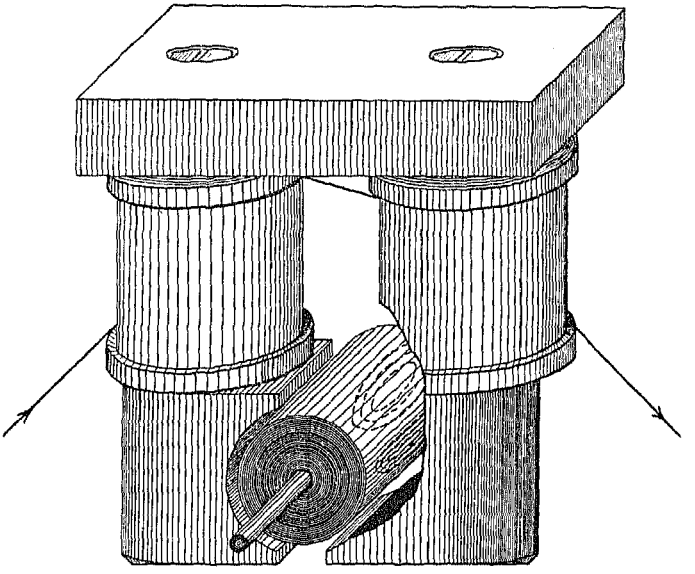


Fig. 47. Induktion von Wirbelströmen.

Vorhandensein des Kraftlinienstromes gebunden, der sich von einem Polschuh zum andern durch Luftraum und Kupfertrommel ergiesst. Nehmen Sie an, dass während dieses Weges die Kraftlinien parallel neben einander und annähernd gleich dicht verlaufen, so wird zwar die Trommel als Ganzes, mag sie sich drehen oder nicht, von derselben unveränderten Kraftlinienzahl geschnitten. Betrachten Sie jetzt aber die Trommel in ihren einzelnen Teilen. Denken Sie sich z. B. parallel zur Achse aus dem Cylindermantel einen schmalen Streifen herausgeschnitten und verfolgen Sie diesen Streifen auf seinem Wege durch das

Magnetfeld. Es ist klar, dass der Streifen bald — vor der Mitte der Polschuhe — in seiner ganzen Breite senkrecht von Kraftlinien geschnitten wird, bald — in seiner höchsten und tiefsten Stellung — den Kraftlinien parallel läuft. Es ist dann weiter klar, dass ein solcher Streifen, da er von Kraftlinien wechselnder Anzahl geschnitten wird, zum Sitze Elektromotorischer Kräfte werden muss. Nur ist derem Ausgleich kein deutlich bestimmter Weg vorgeschrieben, wie bei einem dünnen Draht, der sich zu einem Leitungskreis schliesst. Deshalb wirbeln in dem sich drehenden Kupferblech die Induktionsströme durch einander, und daher ihr Name: Wirbelströme. Ihre Bahn ist nur insoweit bestimmt, als sie koncentrisch die Schnittpunkte der Kraftlinien mit dem Cylindermantel umfliessen. (Vgl. die punktierten Linien in Fig. 47.) Die kurzen Strecken Kupferblech haben einen sehr geringen elektrischen Widerstand, so dass die induzierten Wirbelspannungen grosse Wirbelströme im Gefolge haben; daher die Erwärmung der Kupfertrommel. Auch hier setzen sich nach dem Lenzschen Gesetze die induzierten Ströme der sie erzeugenden Bewegung entgegen; daher die Bremsung.

Wirbelströme werden nun nicht nur in solchen Fällen, wie dem eben besprochenen, induziert, sondern auch in vielen anderen, so in dem eisernen Kerne aller Spulen, welche von Strömen wechselnder Stärke oder von solchen wechselnder Stärke und Richtung durchflossen werden. Denn auch ein solcher Kern stellt einen Leiter vor, der von Kraftlinien wechselnder Anzahl geschnitten wird. Da, wie Sie sich erinnern wollen, die Kraftlinien einer Spule ein gerades, zur Spulenachse paralleles Bündel bilden, und da die Wirbelströme die Kraftlinien umkreisen, verlaufen die im Kerne induzierten Wirbelströme parallel den Spulenwindungen. Es ist deshalb unzulässig, solche Spulen, die von Strömen wechselnder Stärke oder von Strömen wechselnder Stärke und Richtung durchflossen werden, mit massiven, aus einem Stück bestehenden Eisenkernen zu versehen. Die Kerne müssen aufgeschlitzt sein, wie z. B. beim Farbschreiber, oder unterteilt, d. h. aus einzelnen Blechen oder Drähten zusammengesetzt. Durch die natürliche Oxyd-, die sogenannte Zunderschicht, einen Lackanstrich oder eine Papiereinlage wird verhindert, dass von einem Draht oder einem Blech zum andern Wirbelströme über-

treten. Die Unterteilung ist so zu machen, dass die Wirbelströme nicht den einzelnen Draht oder das einzelne Blech entlang verlaufen, sondern dass die trennenden Schichten senkrecht zu den induzierten Wirbelspannungen liegen und so den Wirbelströmen, die entstehen möchten, der Weg verlegt wird. Wenn der zu verhindernde Lauf der Wirbelströme parallel den Spulenwindungen gerichtet ist, müssen in Induktionsspulen (wie z. B. dem Ruhmkorff oder den Induktionsrollen der Telephonie) die Kerndrähte wie das Kraftlinienbündel verlaufen. Die isolierenden Schichten laufen neben den Kraftlinien her. Sie verlangen nicht, von diesen durchsetzt zu werden. Der magnetische Widerstand des Kernes wird deshalb durch die Unterteilung nicht erhöht.

In der Reihe der Induktionserscheinungen fehlt noch die letzte: die Selbstinduktion. Ein Leiter, der von einem Strome wechselnder Stärke durchflossen wird, induziert Elektromotorische Kräfte nicht nur in fremden, ihm benachbarten Leitern, sondern auch in dem ihm am meisten benachbarten: in sich selbst. Ein Strom, der zu fliessen anfängt, induziert in seiner eigenen Strombahn eine seiner eigenen entgegengesetzt gerichtete Spannung, welche ein sofortiges Fliessen des Stromes in der vollen, dem Ohmschen Gesetze entsprechenden Stärke verzögert. Man erhält den Eindruck, als ob der Fortbewegung von Elektricitätsmengen gerade so, wie der mechanischen Massen, eine Trägheit entgegenwirkte, eine Anschauung, mit der auch die Richtung des Selbstinduktionsstosses bei Stromunterbrechung übereinstimmt. Denn ein erlöschender Strom erzeugt eine der seinigen gleich gerichtete Elektromotorische Kraft, welche der Unterbrechung zum Trotz sein Fliessen zu verlängern sucht.

Die Selbstinduktion ist am grössten in einem zur Spule gewickelten Leiter. Hier kann jede Windung auf ihr Nachbarwindungen induzierend wirken. Das ist bei einem gerade ausgespannten Draht nicht möglich. Ein solcher hat auch nur eine kleine Selbstinduktion. Die Erscheinung wird verständlich, wenn man daran denkt, dass jeder Strom — ringförmig um den Leiter als Achse — Kraftlinien erzeugt, deren Anzahl sich mit dem Entstehen und Verschwinden des Stromes ändert. Jeder Leiter befindet sich deshalb bei Änderungen des ihn durchfliessenden Stromes in einem zwar von ihm selbst

erzeugten, aber deshalb doch nicht weniger vorhandenen Kraftfeld wechselnder Grösse, und es werden deshalb Spannungen in ihm induziert. Bei der Spule schneiden die von einer Windung erzeugten Kraftlinien die Nachbarwindungen. Ihre Änderung ruft hier also eine viel grössere Selbstinduktion hervor, als bei einem geradem Leiter, dessen Kraftlinien nicht wohl benachbarte Leiterteile schneiden können. Die Selbstinduktion hängt deshalb ausser von der Heftigkeit der Stromänderung noch von der geometrischen Gestalt des Leiters ab. Die Selbstinduktion einer Spule wird durch einen in ihr enthaltenen eisernen Kern aus bekanntem Grunde ganz wesentlich verstärkt. Bei Selbst- und Voltainduktion ist die Richtung der induzierten Spannung die gleiche. Beide sind, um es zu wiederholen, der des sich ändernden Stromes beim Schliessen entgegengesetzt, beim Unterbrechen ihr gleichgerichtet.

Mit der zuerst fremdartig erscheinenden Selbstinduktion werden Sie durch einen Versuch vertrauter werden. Die Selbstinduktion einer Eisen-erfüllten Spule von vielen Win-

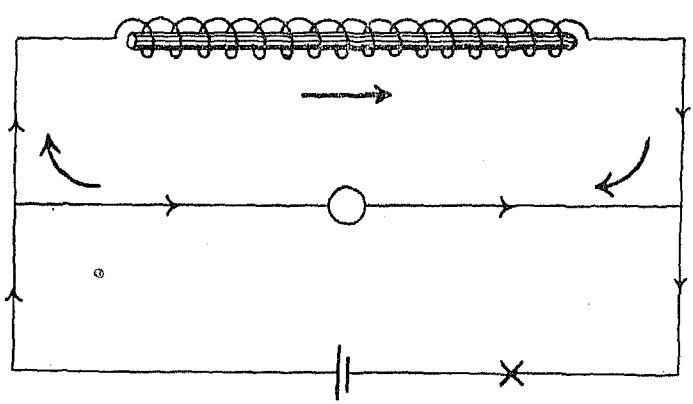


Fig. 48. Selbstinduktion einer Eisen-erfüllten Spule.

dungen soll einen Stromstoss erzeugen und durch ihn eine Glühlampe zum hellen Aufleuchten bringen. Die Spule, eine Stromquelle und ein Ausschalter bilden, wie das angezeichnete Schema (Fig. 48) ergiebt, einen Stromkreis, in den die Glühlampe als Brücke parallel zur Spule eingeschaltet ist. Das Ganze wird in der Richtung der kleinen Pfeile von einem Strome

durchflossen, der gerade hinreicht, um die Lampe in schwaches Glühen zu versetzen. Im Augenblick der Stromunterbrechung wird die Spule vermöge ihrer Selbstinduktion zum Sitze einer Spannung, welche in der Spule der ursprünglichen Spannung gleichgerichtet ist. Die Spule mit Selbstinduktion oder, wie man sie in der Ausdrucksweise des Tages abgekürzt nennt: die Selbstinduktion ist für den Augenblick der Änderung als eine Elektricitätsquelle anzusehen. Sie schickt in der Richtung der drei grossen stark gezeichneten Pfeile einen Stromstoss durch die Lampe und bringt sie zum kurzen, hellen Aufleuchten.

Man kann einer Spule ihre Selbstinduktion nehmen, indem man das Entstehen von Kraftlinien in ihr verhindert. Dieses wird dadurch erreicht, dass man die Spule gleichsam in zwei Hälften teilt, von denen die eine Kraftlinien der einen Richtung, die andere solche der entgegengesetzten erzeugt. Beide Gruppen von Kraftlinien heben sich dann so gut wie vollständig auf. Diese bifilare Wicklung habe ich Ihnen hier durch eine Skizze (Fig. 49) anschaulich zu machen versucht. Sie sehen

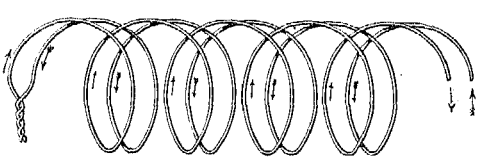


Fig. 49. Schema der bifilaren Wicklung.

zwei von einander getrennte Drähte, die an dem einen ihrer beiden (von Isolation[1]) befreiten) Enden zusammengedreht und gemeinsam mit einander zu einer Spule gewickelt sind. Die Pfeile geben die Richtung des die Drahtwindungen durchfliessenden Stromes an. Sie sehen, dass die beiden Windungen jedes einzelnen Windungspaares in entgegengesetzter Richtung vom Strome durchflossen werden. Der gefiederte Pfeil bezeichnet die Stromrichtung in den Windungen des hinteren Drahtes, der ungefiederte in denen des vorderen. Wie die Pfeile zeigen, fliesst in beiden Windungen jedes Windungspaares der Strom in entgegengesetzter Richtung. Mag mithin die Strom-

[1]) In der Skizze ist der Einfachheit halber die Isolation fortgelassen.

stärke sein, welche sie will, die Kraftlinien heben sich paarweise auf, und wo kein Kraftfeld, da keine Induktion. Dass diese bifilar gewickelte Spule hier keine Selbstinduktion hat, ist *leicht zu zeigen*, indem sie an Stelle der Spule[1]) mit Selbstinduktion von vorhin (Fig. 48) geschaltet wird. Die Lampe glüht so matt, wie eben. Bei Stromunterbrechung geht sie aber ohne Aufleuchten einfach aus. Bifilar gewickelte Spulen können nur als Widerstandsrollen dienen. Für alle Wirkungen, zu denen ein magnetisches Feld notwendig ist, sind sie verdorben. Sie können keine elektromagnetischen, elektrodynamischen oder induktorischen Erscheinungen hervorrufen.

In der weiteren Besprechung der Induktionserscheinungen ist jetzt der Apparat zu beschreiben, der nach seinem ersten

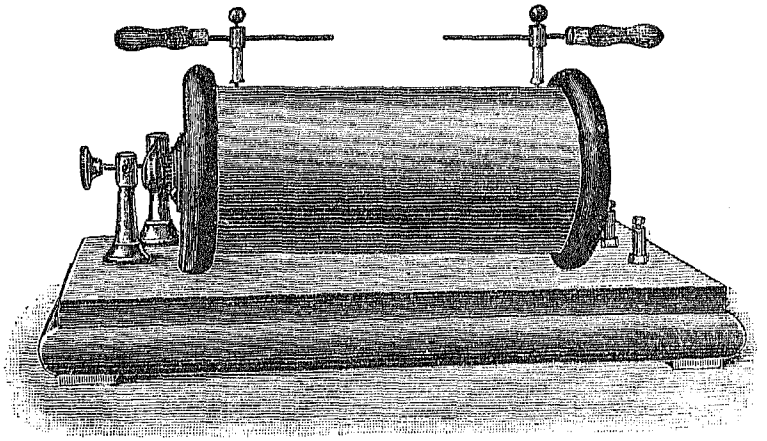


Fig. 50. Funkeninduktor. Etwa $^1/_4$.

Erbauer Ruhmkorffscher Funkeninduktor, Induktorium oder kurz Ruhmkorff genannt wird und das Urbild einer ganzen Klasse elektrischer Apparate oder Maschinen, der Transformatoren geworden ist. Sie sehen hier (Fig. 50) einen Funkeninduktor vor sich, wie er dazu dient, im Kleinen hochgespannte Elektricität zu erzeugen. Diese ist im Stande,

[1]) Der Versuch wird mit einer einzigen Spule angestellt, welche sowohl auf gewöhnliche, wie auf bifilare Wicklung geschaltet werden kann.

in Form eines **Funkens** die isolierende Luftschicht zwischen den etwa 10 cm entfernten Spitzen zu durchbrechen, eine Erscheinung, die bei diesem grösseren Induktor und nach Verdunkelung des Hörsaales zum prächtigen Schauspiele wird. Unter Licht- und Schallentwicklung, unter Blitzen und Knattern durchbricht die von glühenden Metallteilchen getragene Elektricität gewaltsam die lange Luftschicht, wozu — wie schon früher (S. 16) angegeben wurde — sehr grosse Spannungsdifferenzen notwendig sind. Dieses Lichtbild (Fig. 51) zeigt Ihnen einen Ruhmkorff, wie er in Funkentelegraphenämtern benutzt und dort zweckmässig an der Wand befestigt wird.

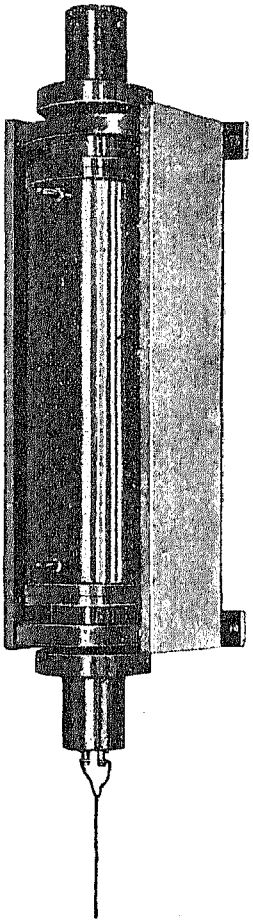


Fig. 51. Ruhmkorff zur Funkentelegraphie. Etwa $^1/_{10}$.

Der elektrische Funke ist mit der Ausdehnung der elektrischen Bahnen zu einer alltäglichen Erscheinung geworden. Die Bahnmotoren enthalten, wie alle elektrischen Maschinen, Spulen mit grossen Windungszahlen und eisernen Kernen und besitzen daher eine sehr grosse Selbstinduktion. Wird deshalb durch das Abgehen der Kontaktrolle oder des Bügels von der Oberleitung oder durch Schmutz zwischen Rädern und Schienen der Stromkreis unterbrochen, so entsteht eine Selbstinduktionsspannung von solcher Grösse, dass sie sich über den Luftzwischenraum hinweg in Form eines Funkens ausgleicht. Ein solcher Öffnungsfunke entsteht beim Öffnen aller eine Selbstinduktion enthaltenden Stromkreise.

Wir kehren jetzt zur Besprechung des Funkeninduktors zurück. Aus dem angezeichneten Schema (Fig. 52) entnehmen Sie, dass der Apparat aus zwei in einander steckenden Spulen, der primären inneren *(I)* und der secundären äusseren *(II)* und

einem Bündel Drähten aus weichem Eisen als Kern besteht. Die secundäre Spule endigt in zwei starke Messingdrähte, deren zugespitzte Enden durch zwei isolierende Handgriffe genähert und entfernt werden können. Die primäre Spule ist mit einer dreizelligen Accumulatorenbatterie und dem Unterbrecher, einem Leiterteil, verbunden, der durch eine pendelnde Bewegung den Stromkreis abwechselnd schliesst und unterbricht. Der Unterbrecher kann sehr verschieden gebaut sein, z. B. einen Kupferstift enthalten, den ein kleiner Elektromotor abwechselnd in Quecksilber taucht und aus ihm herauszieht. Bei kleineren Induktorien geschieht die Unterbrechung mit einem Wagnerschen Hammer (Fig. 50, 52, 53), wie er auch bei den gewöhnlichen Weckern verwandt wird. In den Stromlauf ist ein kleiner Hammer eingeschaltet, dessen Kopf aus weichem Eisen und dessen Stiel aus Uhrfederstahl besteht. Der Kopf steht dem

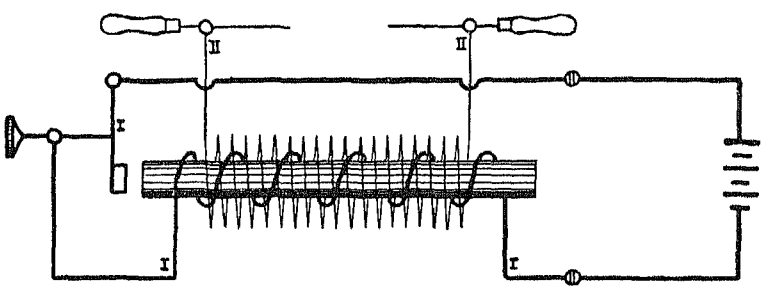


Fig. 52. Schema eines Funkeninduktors. Strom geschlossen.

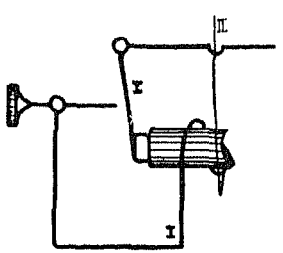


Fig. 53. Dasselbe. Strom unterbrochen.

Drahtbündel gegenüber, das als Eisenkern in den Spulen steckt, und wird von ihm bei geschlossenem Stromkreise elektromagnetisch angezogen. Dadurch entfernt sich der Hammer von einem Kontaktstift, gegen den er vorher anliegt, und unterbricht den Strom (Hammerstellung in Fig. 53). Der Eisenkern verliert

seinen Magnetismus, und der federnde Hammer kehrt zum Kontaktstift zurück (Fig. 52). Der Strom wird geschlossen, und der Kreislauf: Magnetisierung des Kernes, Hammeranziehung, Stromunterbrechung, Rückkehr des Hammers zum Kontaktstift, Stromschluss wiederholt sich fortgesetzt. Der Hammer öffnet und schliesst selbstthätig den Strom [1])

Die Unterbrechung des primären Stromes ruft nun einen ihm gleich gerichteten, das Schliessen einen ihm entgegengesetzt gerichteten Induktionsstoss in der sekundären Spule hervor. Durch abwechselndes Öffnen und Schliessen des primären Stromes werden mithin sekundäre Stromstösse wechselnder Richtung erzeugt. Um es mit anderem Ausdruck zu wiederholen: Die vom primären Strom erzeugten Kraftlinien ändern sich mit ihm im gleichen Tempo. Sie schneiden den sekundären Leiter und induzieren in ihm Spannungen, die dem zunehmenden primären Strom entgegengesetzt -, dem abnehmenden gleich gerichtet sind. Das wird besonders deutlich, wenn man die Vorgänge in den beiden Wicklungen in gewohnter Weise aufzeichnet. Freilich ist hervorzuheben, dass beide Zeichnungen (Fig. 54 I und II) durchaus nicht die wirklichen Verhältnisse wiedergeben, sondern nur dem Unterricht dienende Schemata sind. In ein Achsenkreuz wird horizontal der in jedem Augenblick herrschende Wert der veränderlichen primären Stromstärke J_1 und horizontal die zugehörige Zeit t eingetragen.

Für die Dauer des unveränderten Fliessens ergeben sich horizontale Linien in bestimmtem Abstande von der horizontalen Achse, für die der vollzogenen Unterbrechung Teile dieser Achse selbst. Während des Unterbrechens und Schliessens

---

[1]) Dem Unterbrecher ist ein Condensator parallel geschaltet, was hier, obgleich die Besprechung der statischen Elektricität der nächsten Vorlesung vorbehalten bleibt, nicht ganz übergangen werden darf. Der Condensator beschleunigt das Öffnen und Schliessen des Primärkreises und vergrössert damit die sekundäre Induktion. Er thut das dadurch, dass er als Puffer den Selbstinduktionsstoss aufnimmt, den der Primärkreis beim Öffnen erzeugt, und der als langer Öffnungsfunke die Unterbrechungsstelle überspringen würde. Die Verlangsamung der Stromunterbrechung wird mithin durch den Condensator aufgehoben. Ebenso wird der erneute Stromschluss beschleunigt. Denn die von der Unterbrechung her im Condensator aufgestapelte Elektricitätsmenge entfliesst ihm beim Stromschluss und bricht den jetzt entgegengesetzt gerichteten Selbstinduktionsstoss.

zeigen schräge stark ansteigende und stark abfallende Linien den primären Stromverlauf an. Es entsteht so primär das Bild eines periodisch an- und abschwellenden Stromes. Ganz anders sieht die Kurve für die im Sekundärkreis induzierte Spannung aus. Die konstanten Teile des primären Stromes induzieren nicht, denn sie bewirken keine Kraftlinienänderungen. Anders ausgedrückt: Für alle in I horizontalen Strecken ist in II

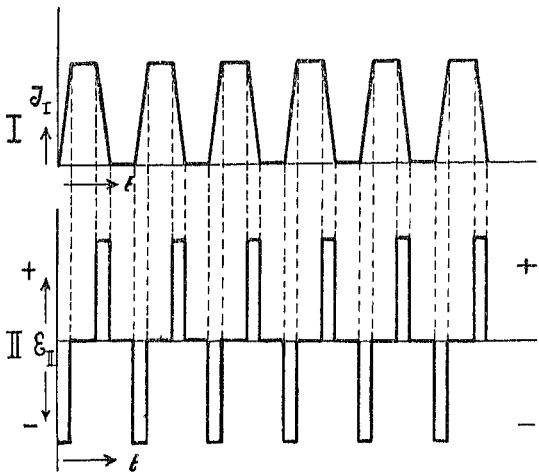


Fig. 54. Graphische Darstellung der Vorgänge in den beiden Spulen des Ruhmkorff. (Rein schematisch.)

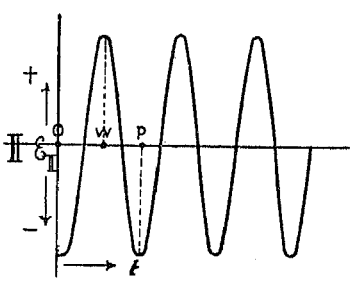


Fig. 55. Sinusförmiger zeitlicher Verlauf einer Wechselspannung. (*OP* ist die Dauer einer Periode, *OW* oder *WP* die eines Wechsels.)

die Spannung Null. Sekundäre Spannungen bestehen nur in den Zeiten, in denen der primäre Strom sich ändert. Die Zunahme der primären Stromstärke J_I induziert eine entgegengesetzt gerichtete Sekundärspannung E_{II}. Ist J_I von der horizontalen Achse nach oben zu zeichnen, muss E_{II} nach unten, im Negativen liegen, so dass schliesslich Schema II entsteht. Die Sekundärspannung E_{II} wechselt periodisch ihre Richtung.

Sie ist eine Wechselspannung, die bei geschlossenem Sekundärkreis einen **Wechselstrom** erzeugt. Der früher betrachtete elektrische Strom, der **Gleichstrom**, besteht in einem ununterbrochenen gleichmässigen Flusse von Elektricität nach der gleichen Richtung. Beim Wechselstrom findet ein Hin- und Herfliessen in taktmässigem Wechsel statt. Freilich ist das typische Abbild einer Wechselspannung oder eines Wechselstromes nicht dermassen eckig wie unsere Schulzeichnung (Fig. 54 II). Die Ecken sind abgewölbt, und statt der vertikalen Linien sind sanfter ansteigende und abfallende vorhanden, so dass die Kurve so (Fig. 55) aussieht und derjenigen ähnelt, welche die Mathematiker eine Sinuskurve nennen. Auch hier findet ein periodischer Richtungswechsel in gleichförmigem Rythmus statt. Ein ganzer Hin- und Hergang (*OP* in Fig. 55) heisst eine Periode, ein Hin- oder Hergang (*OW* oder *WP*) ein Wechsel, so dass immer eine Periode zwei Wechsel umfasst.

Das zu Anfang etwas schwierige Verständnis des Wechselstromes zu erleichtern, soli der allererste Versuch: die elektrische Erwärmung des Eisendrahtes noch einmal angestellt werden, nur mit der Änderung, dass dazu jetzt nicht Gleichstrom, sondern eine Art Wechselstrom verwandt wird. Die Bewegung eines Umschalters bewirkt, dass der Eisendraht bald von rechts nach links, bald von links nach rechts von Strom durchflossen wird. So schnell meine Hand den Umschalter bewegen kann, also etwa vier mal in der Sekunde, wechselt der Strom seine Richtung. Sie sehen, die Erwärmung des Drahtes tritt unter denselben Umständen ein, wie bei Gleichstrom. Allerdings wird bei jedem Richtungswechsel mit dem Strome auch die Erwärmung des Drahtes unterbrochen und damit ein Flackern des von ihm ausgesandten Lichtes bewirkt. Bei einem technischen Wechselstrom, der nicht zwei, sondern gewöhnlich fünfzig Perioden pro Sekunde macht, folgen sich natürlich die Unterbrechungen zu schnell, als dass man sie mit dem Auge wahrnehmen könnte. Auch bei Wechselstrom tritt mit der Erwärmung ein Spannungsverlust auf; nur fällt die Spannung nicht mehr unverändert in der einen Richtung ab, sondern abwechselnd erst auf dem Wege von rechts nach links, dann auf dem entgegengesetzten. Die Ursache des Spannungsabfalls im Draht, sein Widerstand von

so und so viel Ohm ist derselbe, mag er von Gleich- oder von Wechselstrom durchflossen werden.

Hierin tritt eine Änderung ein, sobald Wechselstrom statt gerade ausgespannter Drähte Spulen, besonders solche mit eisernem Kern, durchfliesst. Die Selbstinduktion ist es, die den von der Wechselspannung gewünschten Stromänderungen, einer Trägheit gleich, ihre Elektromotorische Kraft entgegenstemmt. Die Elektromotorische Gegenkraft oder die Gegenspannung der Selbstinduktion, die immer Nein sagt, beim Aufhören den Strom verlängern, beim Entstehen ihn verspäten will, wirkt wie ein Widerstand. Eine Spule, deren Klemmen, eine Wechselspannung gegen einander besitzen, wird nicht von dem Strome durchflossen, den das Ohmsche Gesetz angiebt. Dem Drahtwiderstand, wie man auch sagt, dem Ohmschen Widerstand gesellt sich ein neuer: der Widerstand durch Selbstinduktion, die Induktanz hinzu. Beide vereinigen sich zu einem Scheinbaren Widerstand der Spule. Erst dieser Scheinbare Widerstand, nicht der Ohmsche allein, ergiebt den Quotienten von Spannung und Strom. Es ist nicht mehr

$$J = \frac{E}{W} \text{ , sondern } J = \frac{E}{W'}$$

wenn W' den Scheinbaren Widerstand der Spule bedeutet. Die Induktanz ist nicht etwa nur klein. Im Gegenteil! Bei Spulen mit grosser Selbstinduktion überragt sie und damit der Scheinbare Widerstand den Ohmschen-, den Drahtwiderstand bei Weitem. Es wird sich noch mehrfach Gelegenheit bieten, die ausserordentliche Bedeutung der Induktanz auch für die Schwachstromtechnik zu erkennen. Bifilar gewickelte Spulen haben natürlich keine Induktanz. Sie setzen Gleich- und Wechselstrom denselben, allein den Ohmschen Widerstand entgegen.

Nach dieser Abschweifung kehren wir wieder zum Ruhmkorffschen Funkeninduktor zurück. Es ist klar, dass man einen Ruhmkorff statt mit unterbrochenem Gleichstrom auch direkt mit Wechselstrom speisen kann, wenn man eine Wechselstromquelle zur Verfügung hat. Thatsächlich hat man angefangen, für die Zwecke der Funkentelegraphie grosse Induktorien mit Wechselstrom zu beschicken. Der

unangenehmste Teil des Apparates, der Unterbrecher, bleibt dann natürlich fort, weil der Wechselstrom die zur Induktion notwendigen Änderungen in sich selbst viel besser mitbringt, als sie bei Gleichstrom durch den Unterbrecher erzielt werden können. Ob der Induktor nun mit unterbrochenem Gleichstrom oder mit Wechselstrom betrieben wird, immer springen zwischen den Enden der Sekundärspule Funken über. Hierzu sind, wie angegeben wurde, ausserordentlich hohe Spannungen erforderlich, während der Primärkreis mit niedrig gespanntem Strome gespeist wird. In der That ist diese Spannungsänderung technisch ausserordentlich wichtig; sahen wir doch schon beim Jouleschen Gesetz (S. 29), dass für elektrische Arbeitsübertragungen die Fortleitung hoch gespannter Ströme notwendig ist. Andererseits muss die für die Fernleitung heraufTransformierte Spannung am Verbrauchsorte heruntertransformiert werden, damit sie gefahrlos benutzt werden kann. In der Schwachstromtechnik wird allerdings nur die Spannungserhöhung gebraucht, weil hier die Spannungen nicht gefährlich hoch werden. Das Verhältnis der sekundären zur primären Spannung $\frac{E_{II}}{E_I}$ heisst Übersetzungsverhältnis. Aus dem Gesagten geht hervor, dass dieses in der Schwachstromtechnik nicht kleiner als Eins sein kann. Es ist gewöhnlich sehr viel grösser als Eins und nur in einem Falle gleich Eins. Man braucht hier eben niemals herunter zu transformieren.

Wie kommt nun die Spannungsänderung im Ruhmkorff oder im Transformator zu Stande? Eine vollständig klare Antwort auf diese Frage giebt freilich nur die mathematische Betrachtung der Vorgänge. Aber wenn Sie sich nicht scheuen, einem etwas verwickelten Gedankengange zu folgen, werden Sie auch so gut wie ohne Rechnung eine befriedigende Aufklärung erhalten. Wir nehmen an, dass wir einen direkt mit Wechselstrom gespeisten Transformator vor uns hätten. Die primäre Spule hat keinen sehr grossen Ohmschen Widerstand. Sie setzt aber, wie wir aus früher gesagtem entnehmen können, dem sich ändernden primären Strome eine grosse Selbstinduktionsspannung e_I entgegen, so dass von der Primärspannung E_I nur ein kleiner arbeitender Teil $E_I - e_I$ übrig bleibt, um Strom in die Spule hineinzuschicken. Der Hauptteil von E_I wird von der Selbst-

induktion mit Beschlag belegt, aufgehoben, wie man sagt: ausbalanciert. Die Ursache der Selbstinduktion sind, wie wir wissen, die Änderungen des im Eisenkerne des Induktors erzeugten Magnetfeldes. Bei gegebenem Änderungstempo, für das die Wechselstromquelle sorgt, muss deshalb zur Herstellung einer bestimmten Selbstinduktion eine grosse Anzahl von Kraftlinien N dann im Kerne vorhanden sein, wenn die primäre Spule nur wenige Windungen enthält. Denn ihre gesamte Selbstinduktion e_I ist gleich der in jeder einzelnen primären Windung e multipliziert mit der Windungszahl. Da weiter e_I, die Selbstinduktionsspannung, beinahe gleich E_I, der Primärspannung, also nahezu constant ist, muss das auch mit $e\,n_I$ der Fall sein. Wir können deshalb ohne zu grossen Fehler schreiben:

$$e\,n_I = e_I = E_I = \text{constans.}$$

Ein kleines n_I verlangt deshalb ein grosses e und dieses bei gegebenem Änderungstempo ein starkes Feld N

$$\frac{1}{n_I} \infty e \infty N$$

Ein starkes Feld ruft aber grosse sekundäre Induktionen hervor. Je kleiner also die primäre Windungszahl, um so grösser die sekundären Induktionen.

Andererseits addieren sich die in jeder sekundären Windung induzierten Einzelspannungen zu einer um so höheren Gesamtspannung, je mehr sekundäre Windungen vorhanden sind.

$$e_{II} = e \,.\, n_{II}$$

$$e_{II} \infty \frac{1}{n_{II}}.$$

Das Endergebnis ist: Durch den Transformator wird die Spannung um so mehr erhöht, je weniger primäre und je mehr sekundäre Windungen vorhanden sind. Das Übersetzungsverhältnis ist so gut wie gleich dem Quotienten der Windungszahlen:

$$E_{II} : E_I = n_{II} : n_I$$

Das Produkt[1]) von Strom und Spannung: die Watt müssen — von den Verlusten V im Transformator abgesehen — beim Ein- und Austritt gleich bleiben, denn Leistung kann in dem Transformator nicht geschaffen werden.

$$E_I J_I = V + E_{II} J_{II}.$$

Diese Verluste V, welche für die Okonomie der Anlage natürlich von grosser Bedeutung sind, zerfallen in zwei Gruppen. Die erste Gruppe enthält die Verluste im Kupfer des Transformators, d. h. die durch Stromwärme in den beiden Wicklungen. Heissen primärer und sekundärer Drahtwiderstand W_I und W_{II}, so sind die Verluste im Kupfer

$$J_I^2 W_I + J_{II}^2 W_{II}.$$

Die zweite Gruppe von Verlusten sind die im Eisen. Das vom Wechselstrome umflossene Eisen wird fortwährend ummagnetisiert, wozu, wie wir früher (S. 60) erkannten, die Arbeit der Hysteresis erforderlich ist. Sie kann nur der in den Transformator einströmenden Energie entnommen werden. Durch Verwendung besonders weichen Eisens mit schmaler Hysteresisschleife wird sie auf ein kleines Maass herabgedrückt. Der andere Arbeitsverlust im Eisen ist der durch Induktion von Wirbelströmen, welcher durch die beschriebene Unterteilung des Eisenkernes so weit wie möglich beschränkt wird.

Der Transformator, dessen Besprechung wir hiermit leider abschliessen müssen, ist die ideale elektrische Maschine. Ihre Bewegungen sind aus der Grössenordnung des Groben, Sichtbaren in die des Feineren, dem körperlichen Auge unsichtbaren verlegt. Nur äusserlich ruht der Transformator.[2]) In seinem Innern pulsieren Kraftlinien und verbinden — Zahnrädern ähnlich — zwei arbeitende Mechanismen mit einander.

---

[1]) Der Kundige möge sich erinnern, dass es sich um elementare Vorlesungen handelt.

[2]) Das einzige äussere Zeichen der Bewegung ist das brummende Geräusch mancher Transformatoren.

6. Vorlesung.

Elektrostatik.

Fliessende und ruhende Elektricität. — Elektricität durch Reibung von Isolatoren. — Zwei Arten der Elektricität. — Coulombsches Gesetz. — Auch Leiter werden elektrisch. — Elektricität auf beiden reibenden Körpern. — Elektroskop. — Influenz. — Der Anziehung geht Influenz voran. — Elektrisiermaschinen. — Der Funke und seine Wechselstrom-artige Natur. — Sitz der Ladung auf der Oberfläche. — Spitzenwirkung. — Gewitter und Blitzableiter. Gewitterneigung. — Leydener Flasche und Condensator. Capacität und ihre Einheit: das Mikrofarad. Technischer Condensator. — Moderne Anschauungsweise: Dielektrikum. Dielektricitätsconstante. Elektrische Kraftlinien. — Strom aus statischer Quelle. — Positiver und negativer Strom. Positive und negative Klemme. — Ladung eines Condensators aus einer Stromquelle. Ladestrom und Entladestrom. — Erdleitung.

Von elektrischen Erscheinungen hat uns bis jetzt allein der elektrische Strom beschäftigt, den wir als ein Fliessen, eine Fortbewegung von Elektricität durch einen Leiter ansahen. Heute liegt uns die Betrachtung einer zweiten Gruppe von Vorgängen ob, welche zu Recht oder zu Unrecht unter dem Namen derer der ruhenden oder statischen Elektricität zusammengefasst zu werden pflegen. Zwar handelt es sich hier wie dort um dasselbe Etwas: Elektricität. Aber die Elektricität tritt doch in beiden Fällen in so verschiedener Weise in die Erscheinung, dass die Zweiteilung der Elektricitätslehre, den Vorgängen der elektrotechnischen Praxis zuwider, unvermeidlich ist.

Die Grunderscheinungen der Statik waren lange vor Entdeckung des elektrischen Stromes bekannt; wissen Sie doch, dass der Bernstein — durch Reiben in den Zustand versetzt, leichte Körperchen anzuziehen — der Elektricität ihren Namen gab; baute doch schon im siebzehnten Jahrhundert jener magdeburgische Bürgermeister, der die Natur durch so viel hellere Augen ansah, als die meisten seiner Zeitgenossen, mit seiner drehbaren Schwefelkugel die erste Elektrisiermaschine. Lassen Sie uns jetzt in möglichster Kürze die Hauptthatsachen der Statik durchgehen.

Gewisse Isolatoren erhalten dadurch, dass man sie mit einander reibt, vorübergehend die Fähigkeit, leichte Körper wie Papierschnitzel oder Kugeln aus Hollundermark anzuziehen und nach einem Augenblick des Festhaltens wieder abzustossen. Diesen durch Reiben hervorgerufenen Zustand nennt man den elektrischen und die in ihn versetzten Körper elektrisch geladen. Wird ein Glasstab mit einem seidenen Tuche gerieben, so zieht er die an einem Seidenfaden aufgehängte Kugel aus Hollundermark zu sich herüber, hält sie einen Augenblick fest und stösst sie wieder von sich. Dasselbe thut eine mit Wolle geriebene Stange aus Siegellack mit einer zweiten Kugel aus Hollundermark.

Nähert man nun der Kugel I, welche von der geriebenen Glasstange angezogen wurde und jetzt von ihr abgestossen wird, den geriebenen Siegellack, so tritt nicht ebenfalls Abstossung, sondern Anziehung ein. Ebenso wird die erneut vom Siegellack mit Elektricität geladene Kugel II vom Glase angezogen. Beide elektrischen Materialien — Glas und Siegellack — stossen also die mit ihrer eigenen Elektricität geladenen Kugeln ab, ziehen die mit der fremden geladenen an. Das ist nur dann möglich, wenn die eigene Elektricität sich von der fremden unterscheidet, wenn beim Reiben von Glas und von Siegellack zwei von einander verschiedene Arten von Elektricität entstehen. Zwar ist beider Wesen dasselbe, und die Art ihrer Entstehung und Wirkung ist gleich; aber ein Richtungsgegensatz unterscheidet ihre Wirkungen. Man wird unwillkürlich an die magnetischen Erscheinungen erinnert. Ehe die Kraftlinienanschauung erdacht war, glaubte man in den beiden verschiedenen Magnetpolen zwei verschiedene Arten Magnetismus angehäuft, die auch wesensgleich sein und nur einen Richtungsgegensatz aufweisen sollten. Die magnetische Eigenschaft der Erde veranlasst die Bezeichnung Nord- und Südmagnetismus. Mathematisch würde man von positivem und negativem Magnetismus sprechen. Welcher dann von beiden Magnetismen der positive sein soll, bleibt der Liebhaberei des Einzelnen oder willkürlicher Verabredung vorbehalten.

Ähnlich steht es mit den beiden Elektricitäten. Solange die elektrostatischen Erscheinungen keine so fortgeschrittene Darstellung gefunden hatten, wie die uns schon bekannte der

magnetischen Kraftlinien, nahm man zwei Arten der Elektricität als vorhanden an. Beide sollen zwar wesensgleich sein, aber in der Richtung ihrer Wirkung einen Gegensatz aufweisen. Man hat sich geeinigt, die Elektricität, welche das Glas bedeckt, wenn es mit einem seidenen Tuche gerieben wird, die positive, die des mit Wolle geriebenen Siegellacks die negative zu nennen. Aus den angestellten Versuchen folgt dann das der gegenseitigen Wirkung von Magnetpolen (S. 35) entsprechende Gesetz: Die mit gleichnamigen Elektricitäten geladenen Körper stossen sich ab, die mit ungleichnamigen geladenen ziehen sich an. Auch die Stärke der anziehenden oder abstossenden elektrostatischen Kraft F gleicht der der magnetischen, wenn man die Polstärken (die in den Polen angehäuften Mengen Magnetismus) m_1 und m_2 durch die wirksamen Elektricitätsmengen Q_1 und Q_2 ersetzt.

$$F = \frac{Q_1 \, Q_2}{r^2}$$

Da auch dieses Gesetz von Coulomb herrührt, hat man die Einheit der Elektricitätsmenge mit Recht nach ihm benannt.

Kehren wir noch einmal zu dem Vorgange zurück, durch den die statische Elektricität entsteht. Zuerst ist zu bemerken, dass nicht nur Isolatoren, sondern auch Leiter durch Reiben elektrisch werden. Nur fliessen bei diesen die Elektricitätsmengen, indem sie entstehen, immer gleich durch den Körper des Leiters und den des Experimentierenden zur Erde ab, so dass die Elektricität nur dann nachzuweisen ist, wenn man bei dem Versuche die Leiter mit einem isolierenden Handgriffe anfasst. Weiter ist zu beachten, dass beim Reiben nicht nur der eine reibende Körper elektrisch wird, sondern dass beide, also Glas und Seidentuch oder Siegellack und Wolle elektrisch werden, und zwar entsteht auf jedem von beiden die gleiche Menge Elektricität, aber von entgegengesetztem Vorzeichen. Wenn sich also bei einem Versuch der Glasstab mit $+Q$ Coulomb bedeckt, werden auf dem Seidentuche $-Q$ Coulomb ausgeschieden. Zur Erklärung hat man sich eine etwas kindliche, aber recht nützliche Vorstellung zurecht gemacht, die an die von den Elementarmagneten (S. 38) erinnert. Nach ihr sollen die Körper

im unelektrischen Zustand gleiche Mengen positiver und negativer Elektricität mit einander gemischt und so nach Aussen unwirksam enthalten, und beider Gemisch soll durch das Reiben getrennt werden.

Die gegenseitige Abstossung gleichnamig elektrisch geladener Körper liefert im Elektroskop ein Mittel, Elektricität nachzuweisen und ihr Vorzeichen zu erkennen. Sie sehen ein solches Elektroskop hier (Fig. 56) vor sich. Zwei dünne Blättchen aus Aluminium oder Stanniol hängen unten an einem Messingstabe, der oben in einen Knopf endigt. Um den Apparat bewegen zu können und die Metallblättchen vor Berührung und Luftzug zu schützen, ist der Stab mit Hilfe einer isolierenden Buchse in ein Standgefäss eingebaut, dessen Inneres durch zwei ebene Glasscheiben dem Auge unmittelbar oder mittelst der Projektionslampe zugänglich ist. Mit dem zu prüfenden Körper berührt man den Knopf des Elektroskopes. Wenn sich dann wie jetzt, da ich den Knopf mit der vor längerer Zeit geriebenen Glasstange berühre, die Blättchen auseinander spreitzen, so ist auf dem zu prüfenden Körper Elektricität vorhanden. Je nach dem dann eine mit Seide geriebene Glasstange den Ausschlag der Blättchen vergrössert oder verkleinert, ist der zu prüfende Körper positiv oder negativ geladen. Auf die Frage, was mit dem Elektroskop gemessen wird, ist zunächst zu antworten: Elektricitätsmengen; denn der Ausschlag der Metallblättchen hängt von der Kraft ab, mit der sie sich gegenseitig abstossen, und diese nach dem Coulombschen Gesetz von den auf den Blättchen befindlichen Elektricitätsmengen. Die Elektroskope sind aber auch Spannungszeiger, denn die an dieselben Blättchen abgegebene Elektricitätsmenge ist der Spannung der Elektricitätsquelle proportional. Man kann deshalb den Ausschlag der

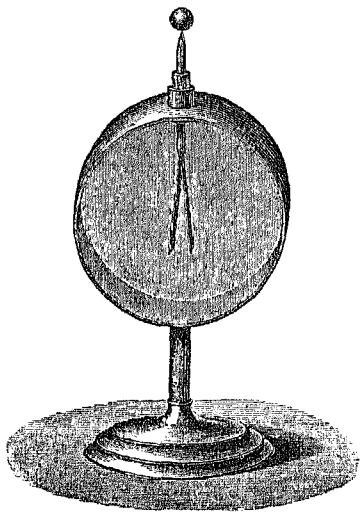


Fig. 56. Elektroskop.

Blättchen durch eine hinter ihnen angebrachte Gradeinteilung messen und diese nach Volt aichen. Das Elektroskop wird dann zu einem Elektrometer, wie sie nach diesem Prinzip, nur in anderer Form und verfeinerter Ausführung thatsächlich zur Spannungsmessung gebaut werden.

Es wird Ihnen nicht entgangen sein, dass die Blättchen des Elektroskopes schon ausschlagen, ehe noch der elektrische Körper den Knopf berührt. Sie gehen schon bei der blossen Annäherung des Stabes aus einander. Man sieht, wie eine magnetische (S. 36), giebt es auch eine elektrostatische Influenz. Nach der alten Anschauung bewirkt ein elektrischer Körper in seinem unelektrischen, leitenden Nachbarn eine Trennung der beiden vermischten und so unwirksamen Elektricitäten entgegengesetzten Vorzeichens. Auf dem benachbarten Leiter zieht er Elektricität von einem dem der der seinigen entgegengesetzten Vorzeichen möglichst nahe zu sich hin und stösst die mit jener gemischt gewesene, mit seiner gleichen Vorzeichens von sich fort. Die dem Elektroskop genäherte positive Stange zieht also negative Elektricität in den Knopf und stösst positive in die Blättchen, wodurch diese sich spreitzen (Fig. 57). Wird der influenzierende Körper entfernt, so vereinigen sich die beiden durch Influenz getrennten Elektricitäten wieder, und die Blättchen fallen zusammen. Die Influenzerscheinung ist die gleiche wie vorher, wenn sich zwischen Glasstab und Elektroskop noch ein anderer Nichtleiter als Luft, etwa eine Hartgummiplatte oder eine Glasscheibe befindet. Ein leitender Körper dagegen, wie dieses Messingblech, fängt die Wirkung ab. Man nennt das elektrische Schirmwirkung.

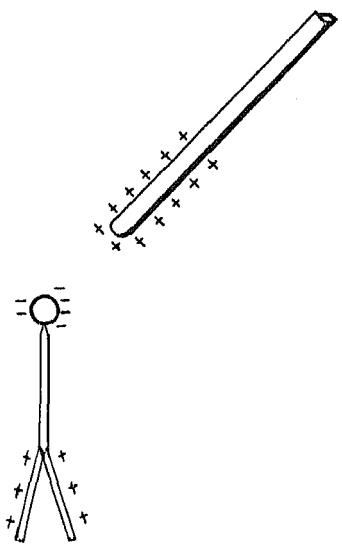


Fig. 57. Influenz.

Wie der magnetischen Anziehung, kann man auch jeder elektrostatischen eine Influenz vorhergehend annehmen. Indem

die Glasstange die Kugel aus Hollundermark anzieht, wirkt sie verteilend auf die Kugel und zieht, wie ich das hier zeichne (Fig. 58), die negative Elektricität auf die ihr benachbarte Kugelseite und stösst die positive auf die von ihr abgewandte. Nun findet gleichzeitig eine Anziehung der beiden ungleichnamigen und eine Abstossung der beiden gleichnamigen Elektricitäten statt. Da aber die Entfernung zwischen den ungleichnamigen wesentlich kleiner ist, als zwischen den gleichnamigen, überwiegt nach dem Coulombschen Gesetz die Anziehung bei Weitem die Abstossung. Die Kugel fliegt an die Glasstange. Indem beide sich berühren, tritt von der Stange auf die Kugel positive Elektricität über, von welcher positiven Elektricität ein Teil die negative der Kugel neutralisiert und der Rest die Kugel positiv ladet. Jetzt wird die positive Kugel von der positiven Stange abgestossen. Der Vorgang stellt sich mit Hilfe der Influenz zwar verwickelt, aber ganz anschaulich dar.

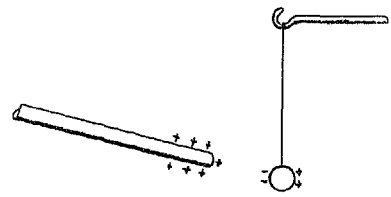


Fig. 58.
Der Anziehung geht Influenz voran.

Grössere Mengen statischer Elektricität werden unter Benutzung der uns bekannten Erscheinungen der Reibung und Influenz, nur in vollkommenerer Weise, mit den Elektrisiermaschinen erzeugt. Bei den Reibungsmaschinen reibt eine Glasscheibe gegen ein mit Fett auf ein Lederkissen geschmiertes Metallgemisch. Bei den Influenzmaschinen wird die mechanisch wiederholte verteilende Wirkung einer kleinen Elektricitätsmenge zur Erzeugung grösserer benutzt. Bei beiden Klassen von Elektrisiermaschinen gelangen die entstehenden Elektricitäten schliesslich je auf eine Hohlkugel (oder einen Hohlcylinder) aus Messingblech, die gleichsam die Klemmen der Elektrisiermaschine darstellen und im Folgenden kurz ihre Endkugeln genannt werden. Durch Verbindung mit ihnen werden der Maschine die Elektricitäten entnommen. Die elektrische Leistung der Elektrisiermaschinen ist so klein, dass man ihnen heute kaum mehr den Namen einer Maschine geben würde. Ebenso klein ist jetzt — im Gegensatze zu früher — das ihnen zugewandte Interesse, wenngleich anerkannt werden muss, dass

die Influenzmaschinen, namentlich die neueren (Whimshurst-maschinen), einen verhältnissmässig hohen Grad technischer Vervollkommnung erreicht haben.

Als einzige Wirkung der statischen Elektricität haben wir bis jetzt Anziehungs- und Abstossungserscheinungen besprochen. Aber jeder, der mal eine Elektrisiermaschine gesehen oder nur im dunklen Zimmer sein wenig gefettetes Haar mit einem Gummikamm gekämmt hat, kennt das auffallendste Merkmal statischer Erscheinungen: den Funken. Wird diese kleine Influenzmaschine hier mit der Hand gedreht oder jene grössere dort durch einen kleinen Elektromotor angetrieben, so springen zwischen den beiden Endkugeln helle und knatternde Funken über. Die eine Kugel des Paares wird fortwährend positiv, die andere fortwährend negativ geladen. Schliesslich ist der Spannungsunterschied zwischen beiden Kugeln so hoch gestiegen, dass die Elektricität die schlecht leitende Luftschicht zwischen ihnen — die Funkenstrecke — gewaltsam durchbricht. Dass die Elektricität zum Durchbrechen einer Luftschicht sehr hoch gespannt sein muss, ist Ihnen bekannt. Der durch Reibung oder Influenz hergestellten Elektricität ist mithin eine hohe Spannung eigentümlich. Trotz dieser hohen Spannung wird bei ihrem Ausgleich schon wegen seines schnellen Verlaufs nur eine kleine elektrische Arbeit in Wärme, (Licht und Schall)[1]) verwandelt, weil es sich bei den Versuchen nur um ganz kleine Elektricitätsmengen handelt.

Der elektrische Funken ist uns, so werden Sie bei sich schon lange eingewandt haben, aber garnichts Neues. Wir kennen ihn vom Ruhmkorff her, und zwischen jenem dort und unserm hier besteht im Wesentlichen nur der Unterschied der Entstehungsweise. Es wird Sie deshalb auch nicht Wunder nehmen, zu hören, dass, ebenso wenig wie beim Ruhmkorff, der Funke bei den Elektrisiermaschinen in einem einmaligen Ausgleich in einer Richtung, einer einfachen Wanderung der Elektricität etwa von der positiven Kugel zur negativen besteht. Bei jedem Funken findet trotz seiner sehr kurzen Dauer ein ausserordentlich schnelles, Wechselstrom-artiges Hin- und Herschwingen

[1]) Von einer weiteren Wirkung des Funkens wird bei der Funkentelegraphie die Rede sein.

der Elektricität durch die Funkenstrecke hindurch statt. Die Erschütterung ist zu heftig, als dass sie augenblicklich beendigt sein und nicht noch nachzittern sollte. Der eines fallenden Pendels gleich, geht die Bewegung über die Ruhelage hinaus, mehrmals hin und her, bis sie schliesslich aufgezehrt ist. Der Elektricität wohnt gleichsam eine Trägheit inne, eine Vorstellung, die uns auch neulich (S. 73) die Erscheinung der Selbstinduktion verständlicher machte. Hält man ein Kartenblatt zwischen die Endkugeln der gedrehten Influenzmaschine, so wird es vom Funken durchschlagen. Der Rand der Durchschlagsöffuung ist nun nicht nach einer Seite aufgewölbt, wie man erwarten möchte, sondern nach beiden, ein Beweis dafür, dass der elektrische Ausgleich nicht nur in einer Richtung vor sich gegangen ist. Ja, man kann die einzelnen Hin- und Hergänge

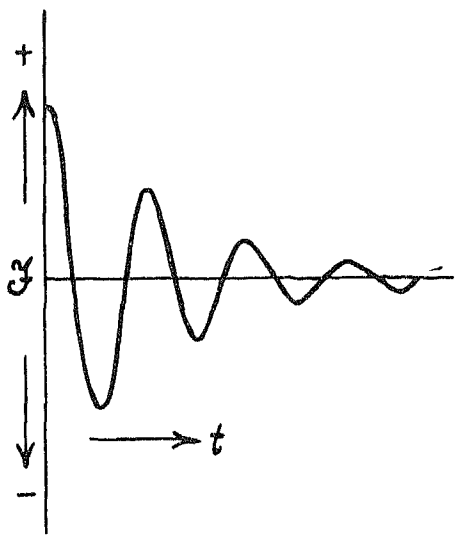


Fig. 59. Diagramm des Funkens.

der Entladung, welche übrigens auch die Rechnung ergiebt, getrennt von einander photographieren. An ihrem Vorhandensein darf deshalb kein Zweifel obwalten. Ein graphisches Bild, welches die jeweilig die Funkenstrecke durchrasende Elektricitätsmenge Q in Abhängigkeit von der Zeit t wiedergiebt, würde so aussehen (Fig. 59). Das ganze t stellt dann die Dauer

des Funkens bis zum Erlöschen, d. h. einen viel kleineren Bruchteil einer Sekunde dar, als wir uns vorzustellen im Stande sind.

Es ist Ihnen in der heutigen Vorlesung gewiss der Ausdruck aufgefallen, dass sich die Elektricität auf den Körpern befinde. Es war davon die Rede: die Glasstange bedecke sich mit Elektricität, auf dem Seidentuche würden eine Anzahl Coulomb ausgeschieden, während es uns vom elektrischen Strome geläufig ist, dass er den Querschnitt der Leiter durchströmt.

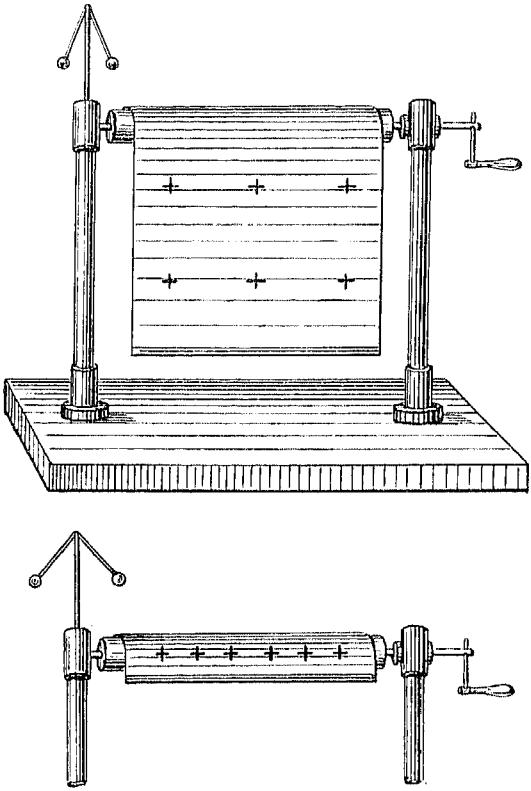


Fig. 60. Faradaysches Rouleau.

Das ist eben ein fundamentaler Unterschied zwischen der gleichmässig fliessenden und der ruhenden Elektricität. Da gleichnamige ruhende Elektricitäten sich abstossen, so stösst jedes Teilchen einer ruhenden Elektricitätsmenge die Nachbarteilchen

ab. Jedes sucht sich von den anderen so weit, als möglich, zu entfernen: die ganze Ladung kriecht auf die äusserste Oberfläche des geladenen Körpers hinaus. Das lässt sich schön mit dem Faradayschen Rouleau (Fig. 60) zeigen. Ein Bogen Stanniol kann nach Art eines Fensterrouleaus durch Drehen einer Achse auf- und abgerollt werden. Wie sie sehen, ist das Stanniol durch Glasfüsse vom Erdboden und durch Hartgummi von der die Drehung vermittelnden Kurbel isoliert. Das herabgerollte Rouleau wird mit Elektricität geladen und die auf ihm herrschende Spannung durch den Ausschlag eines Kugelpaares aus Hollundermark angezeigt. Wird nun das Rouleau schnell zusammengerollt, so stossen sich die beiden Kugeln immer heftiger ab. (Beim Abrollen zeigen sie ungefähr wieder den alten Ausschlag). Die Vergrösserung des Ausschlages zeigt an, dass das Zusammenrollen eine Spannungserhöhung bewirkt hat. Die äussere Oberfläche des Stanniols ist offenbar auf einen Teil ihrer ursprünglichen Grösse verkleinert und dieselbe Elektricitätsmenge, die sich früher über das ganze Stanniolblatt ausdehnen konnte, gezwungen worden, sich mit der äussersten Schicht des aufgewundenen Blattes zu begnügen. Dort sitzt sie jetzt eng

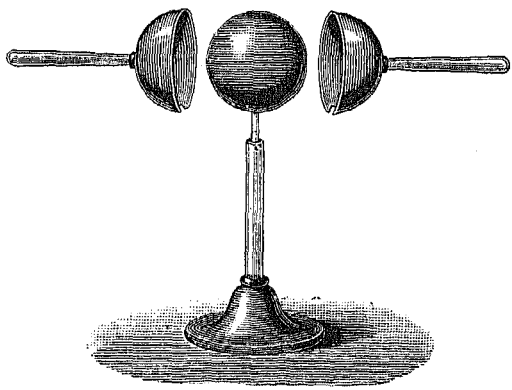


Fig. 61. Zweiter Versuch
zum Beweise, dass die statische Elektricität auf der Leiteroberfläche sitzt.

zusammengedrängt. Die Spannung ist gestiegen. Die Kugeln schlagen weiter aus. Wäre das ganze Innere des Rouleaus mit Elektricität erfüllt, wäre es mit ihr gleichsam durchtränkt, so

ist — da durch das Zusammenrollen die Masse des Stanniols nicht geändert wird — zu einer Spannungsänderung keine Ursache verhanden. Die ruhende Elektricität hat also ihren Sitz auf der Oberfläche der geladenen Körper, nicht in ihrem Innern.

Ein zweiter Apparat (Fig. 61) zeigt noch schöner, wie die Teile einer elektrischen Ladung auseinander streben. Er besteht aus einer Kugel aus Messingblech, die auf einem isolierenden Glasfuss befestigt ist, und zwei Halbkugeln aus gleichem Material, die an isolierenden Handhaben gehalten werden. Beide Halbkugeln zusammen können gerade eben die Vollkugel umschliessen, wobei sie beide die Vollkugel berühren. Die Vollkugel wird elektrisch geladen und einen Augenblick mit den unelektrischen Halbkugeln umschlossen. Sofort geht die gesamte Ladung auf die umschliessenden Halbkugeln über. Sie bringen nach dem Abnehmen die Blättchen eines Elektroskopes zum heftigen Ausschlagen, die Vollkugel nicht.

Was bei diesem Versuch die beiden umschliessenden Halbkugeln augenblicklich bewirken, nämlich das Entweichen der Ladung von der Kugel, das thut die umspülende Luft all-

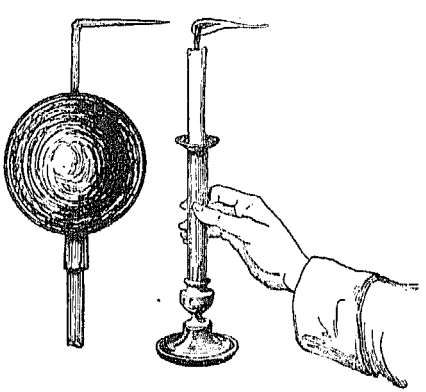


Fig. 62. Spitzenwirkung.

mählich. Am längsten hält sich die Elektricität noch auf Kugeln und zwar auf solchen mit wenig gekrümmter Oberfläche (also mit grossem Radius) länger, als auf stärker gekrümmten. Hingegen entlassen alle Körper mit scharfen Kanten und Ecken

oder gar mit Spitzen ihre elektrische Ladung sehr schnell in die umgebende Luft. Eine solche Spitzenwirkung möchte ich Ihnen durch einen sehr einfachen Versuch zeigen. Eine Messingkugel, wie die eben benutzte, trägt oben einen rechtwinklig umgebogenen Draht, der in eine scharfe Spitze ausläuft. Durch eine Messingkette wird die Kugel mit der Elektrisiermaschine verbunden, und nun sehen Sie bei verdunkeltem Hörsaal an dem Büschel matten, bläulichen Lichtes, welches der Spitze entströmt, wie sie einem Ventile gleich, die Elektricität von der Kugel entweichen lässt. Fast noch schlagender wirkt es, wenn man eine brennende Stearinkerze vor die Spitze hält. Von dieser ergiesst sich die Elektricität auf die Luft, und die einzelnen (gleichnamig) elektrisierten Lufteilchen stossen sich in der Verlängerung der Spitze so heftig ab, dass in dem entstehenden s. g. elektrischen Wind die Kerzenflämme seitwärts geweht wird. (Fig 62).

Die Spitzenwirkung hat noch ein besonderes Interesse, weil sie beim Blitzableiter praktisch benutzt wird. Seit lange weiss man, das dass Gewitter eine elektrostatische Erscheinung ist, und jeder erkennt in dem Funken der Influenzmaschine oder des Ruhmkorff ein verkleinertes Abbild des Blitzes. Durch einen meteorologischen Vorgang, von dem man noch recht wenig zu wissen scheint, erhält eine Wolke eine elektrische Ladung, die durch Influenz auf einer anderen Wolke oder der Erde eine entgegengesetzte Ladung hervorruft. Die Spannung der beiden Ladungen gegeneinander wächst und wächst, so dass schliesslich über eine Entfernung von bis zu mehreren Kilometern der Blitz als mächtiger elektriseher Funke von Wolke zu Wolke oder von Wolke zu Erde überspringt. Die Luft wird durch den Blitz gewaltsam zerrissen, und die Erschütterung der Luftmassen verursacht den Donner. Da, wie bekannt, der Blitz mechanisch zerstört, zündet und Leben vernichtet, sucht man sich vor ihm durch Blitzableiter zu schützen. Hohe Gebäude und ihre Insassen, hohe Bäume und die thörichter Weise unter ihnen Schutz suchenden sind besonders der Gefahr ausgesetzt, vom Blitze getroffen zu werden. Gleiches gilt jetzt in den Städten von den über die Häuser hinweg geführten Fernsprechdrähten. Sie sind recht dazu geeignet, den Blitz aufzufangen und in die Aufenthaltsorte von Menschen hineinzuleiten. Jeder

Fernsprechdraht ebenso, wie auch jeder Telegraphen- und Starkstromdraht, wird deshalb mit einem eigenen, später ausführlich zu beschreibenden Blitzableiter versehen. Jetzt beschäftigen uns nur die Gebäudeblitzableiter. Das sind spitze Metallstangen, die auf dem Dache des zu schützenden Hauses errichtet und mit dem Grundwasser in gut leitende Verbindung gesetzt werden. Sobald die erwähnten elektrischen Ladungen auftreten und sich der Zustand einstellt, den man Gewitterneigung nennt, beginnt sofort die Arbeit der Blitzableiter. Vermöge der Spitzenwirkung strahlen sie die Elektricität der Erde gegen die der Wolke aus. Sie führen so einen allmählichen Ausgleich beider herbei und erschweren, einem Sicherheitsventile vergleichbar, das Zustandekommen eines Blitzes. Steigen aber die Spannungen zu schnell an, als dass zu ihrem allmählichen Ausgleich Zeit vorhanden wäre, und ist der Blitz nicht mehr zu verhindern, so giebt man ihm wenigstens mit dem Blitzableiter einen gutleitenden Weg zur Erde, so dass er das Gebäude und seinen Inhalt nicht beschädigen kann.

Es ist nicht weiter verwunderlich ist, dass sich der Blitz photographieren lässt. Auf einer solchen Photographie vermisst man die reine Zickzackform, die man dem Blitze nachzusagen gewohnt ist, wenn auch immerhin eine Neigung zum Zickzacklauf deutlich ausgeprägt ist. Weit auffallender sind aber die Verzweigungen, welche an ein Baumgeäst oder an einen Flusslauf mit seinen Nebenflüssen erinnern, und die ganz ähnlich für den elektrischen Funken nachgewiesen sind. Als Funke stellt der Blitz auch eine schwingende Entladung, einen Wechselstrom von sehr hoher Periodenzahl dar. Vermöge seiner Selbstinduktion ist er deshalb nicht im Stande, Spulen zu durchlaufen. Schon Spulen von wenigen Windungen, ja selbst lebhafte Krümmungen versperren dem Blitze den Weg und lassen ihn auf einen anderen Leiter abspringen.

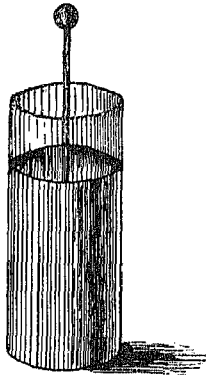


Fig. 63.
Leydener Flasche.

Die weitere Besprechung der Elektrostatik führt uns nun zur Leydener Flasche. Man sieht es der unscheinbaren Flasche (Fig. 63) garnicht an, dass sich an

sie Betrachtungen knüpfen, welche für die neuere Elektricitätslehre und Elektrotechnik, besonders auch für unser Gebiet, von grösster Wichtigkeit geworden sind. Ein cylindrisches Glasgefäss ist innen und aussen bis auf einige Centimeter unterhalb seines oberen Randes mit Stanniol beklebt und mit einem leichten Holzdeckel verschlossen. Die innere Stanniolschicht oder, wie man sie nennt, die innere Belegung steht mit einem Messingstab in leitender Verbindung, der durch den Deckel führt und oben in einen Knopf endigt.

Zur Ladung nimmt man die Flasche in die Hand, so dass die äussere Belegung zur Erde abgeleitet ist, und berührt mit dem Knopf die eine — die positive — Endkugel der Elektrisiermaschine. Die Maschine wird eine Reihe von Malen gedreht und dadurch die Flasche geladen. Zur Entladung benutzt man einen gebogenen Messingstab, der an seinen Enden Kugeln trägt und an einem Glasgriffe isoliert gehalten werden kann. Sobald mit der einen Kugel die äussere Belegung der Flasche berührt und die andere dem Knopfe der inneren Belegung genähert wird, springt zwischen Flaschenknopf und Entladerkugel mit lautem Knall ein ausserordentlich heftiger Funke über. Beim abermaligen Nähern sehen Sie noch einen, freilich viel schwächeren Funken, ja einen dritten noch schwächeren überspringen, und unter Umständen gelingt es, noch einige feine Funken aus der Flasche herauszuholen. In dem ersten Funken entladen sich fast die gesamten Elektricitätsmengen, welche durch Drehung der Maschine frei geworden sind und ohne Flasche bei ihrem unmittelbaren Ausgleich eine grosse Anzahl einzelner Funken hervorgerufen hätten. In den schwächeren Nachfunken kommt ein geringer Rückstand an Elektricität zum Ausgleich, über den später noch zu sprechen sein wird.

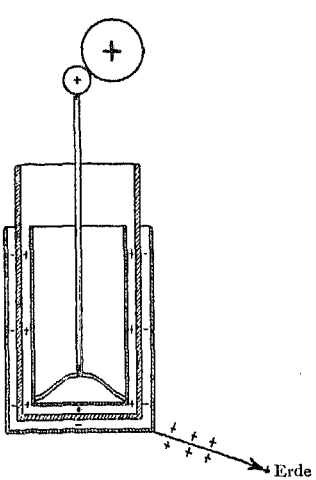


Fig. 64. Ladung der Leydener Flasche.

Erklären wir uns das Arbeiten der Leydener Flasche! Dem Flaschenknopf und damit der inneren Belegung wird nach

der von uns noch immer festgehaltenen Anschauung positive Elektricität wie ein materieller Körper zugeführt (Fig. 64). Diese positive Elektricität der inneren Belegung wirkt verteilend auf die äussere, zieht negative Elektricität so nahe an sich, als die Glaswand erlaubt, und stösst positive in die Erde. Beide Stanniolbelegungen sind mit gleichen Mengen entgegengesetzter Elektricitäten geladen, und, um deren unmittelbaren Ausgleich zu verhinden, darf die Flasche nicht bis zu ihrem oberen Rande beklebt sein. Durch das Glas hindurch halten sich die beiden ungleichnamigen Elektricitäten gegenseitig fest und verhindern einander am schnellen Entweichen in die Umgebung. Mit der Leydener Flasche kann man mithin verhältnismässig grosse Elektricitätsmengen zu gemeinsamer Wirkung zusammenfassen, und diese entlaufen einem nicht unter der Hand, wie ohne Flasche.

Die Möglichkeit, dasselbe Stanniolblatt bei derselben Spannung mit verschieden grossen Elektricitätsmengen zu laden, je nach dem, ob sich in seiner Nähe ein zweites zur Erde abgeleitetes befindet oder nicht, erscheint vielleicht verwunderlich. Man möchte im Gegenteil erwarten, dass die gleiche Spannung auf einen und denselben an sich unveränderten Leiter in allen Fällen auch die gleiche Elektricitätsmenge, dieselbe Anzahl Coulomb hinüberdrücken müsse. Dann hätte jeder Leiter ein bestimmtes Aufnahmevermögen für Elektricität, das in ihm läge, das ihm, unabhängig von der Umgebung, als eigentümlich zugehörte. Den Irrtum in dieser Anschauung zeigt die Leydener Flasche. Denn bei ihr wird dem einen Stanniolblatt durch das benachbarte und zur Erde abgeleitete zweite das Aufnahmevermögen für Elektricität, die Capacität ganz ausserordentlich vergrössert. Jetzt kann bei derselben Spannung der ladenden Kugel das Stanniol ungleich grössere Elektricitätsmengen auf sich sammeln, als sonst. Auf derselben Oberfläche sitzt die Elektricität viel dichter, viel enger gedrängt, als wenn die Nachbarbelegung nicht wäre, und mit Recht fasst man die verschiedenen Formen des Apparates, dessen bekannteste die Leydener Flasche ist, unter dem Namen Condensator zusammen. Das Wesentliche der Leydener Flasche, wie aller Condensatoren, sind zwei durch einen Isolator getrennte Belegungen. Diese auf beiden Seiten mit Ausnahme eines breiten Randes mit

Stanniol beklebte Glasscheibe (Fig. 65) — die Franklinsche Tafel — ist deshalb auch ein Condensator. Gleiches gilt von zwei durch eine Luftschicht getrennten Metallplatten; hier ist eben die Luft der Isolator. Ja, Sie werden später sehen, dass sich jedes Kabel wie ein Condensator verhält. Die Kupferseele ist die eine Belegung, die äussere Metallarmierung oder das umgebende Wasser die andere. Beide sind durch isolierende Materialien getrennt.

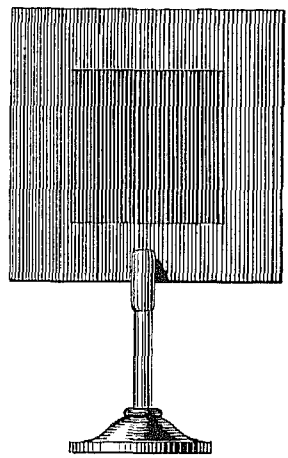


Fig. 65. Franklinsche Tafel.

Wir kennen aber immer noch nicht den Grund, warum die Capacität eines Leiters mit dem Vorhandensein eines benachbarten zweiten wächst. Nun der Grund ist sehr einfach: Die eine Endkugel der Elektrisiermaschine schickt positive Elektricität auf die innere Belegung der Leydener Flasche, während die äussere Belegung zur Erde abgeleitet ist. Die schon in die Flasche gelangte Elektricität stösst aber die neu von der Maschine hineingedrückte, die natürlich mit ihr gleichen Vorzeichens ist, ab. Sie sperrt sich gegen weiteres Einladen neuer Coulomb. Zwischen der hineindrückenden Spannung der Maschine und der ihr entgegen wirkenden der inneren Belegung würde folglich sehr schnell Gleichgewicht eintreten und die Ladung zu Ende sein, wenn nicht die äussere Belegung mit ihrer negativen Elektricität vorhanden wäre. Die störende Abstossung der positiven Elektricität durch die positive wird von ihr, der negativen, die sie die positive anzieht, bekämpft. Sie hebt ein gut Teil des Rückdruckes der schon eingeladenen Coulomb auf und erleichtert dadurch der positiven Elektricität das Einströmen. Die Anziehung wird der Abstossung um so näher kommen, mithin die Capacität um so grösser sein, je näher sich beide Belegungen sind, d. h. je dünner das beklebte Glas ist. Zu dünn darf es freilich schon aus rein mechanischen Gründen nicht sein und damit nicht etwa ein unmittelbarer Ausgleich der entgegengesetzten Elektricitäten das Glas durchlöchert und die Flasche unbrauchbar macht.

Den eben genannten Begriff der Capacität müssen wir genauer fassen. Man versteht unter der Capacität eines Condensators diejenige Elektricitätsmenge, welche die eine Belegung aufnehmen muss, damit sie gegen die zur Erde abgeleitete zweite den Spannungsunterschied von einem Volt erhält. Man wird an die Wärmelehre erinnert. Die Wärmecapacität (oder die specifische Wärme) verbindet zwei jenen beiden elektrischen ähnliche Begriffe mit einander und zwar Temperatur und Wärmemenge. Die Wärmecapacität ist die Wärmemenge, welche die Gewichtseinheit des betreffenden Materiales aufnehmen muss, damit seine Temperatur um einen Grad erhöht wird. Sie ist Wärmemenge, Anzahl Calorien, pro Grad Temperaturerhöhung, wie die elektrostatische Capacität als Elektricitätsmenge, Anzahl Coulomb, pro Volt Spannungserhöhung erklärt werden kann. Bezeichnet C die Capacität und, wie früher, Q die Elektricitätsmenge und E die Spannung, so gilt die Gleichung:

$$C = \frac{Q}{E}$$

Die Einheit der Capacität, gleich Coulomb pro Volt, ist Faraday zu Ehren das Farad (F) genannt worden, das freilich für praktische Verhältnisse zu gross ist. In Wirklichkeit kommen viel kleinere Capacitäten vor. Zur Erhöhung der Condensatorspannung um ein Volt braucht es da nur ganz kleine Elektricitätsmengen. Man rechnet deshalb nach dem millionsten Teile des Farad, nach Mikrofarad ($MF.$). Die Capacität 0,3 $MF.$ hat ein Condensator, wenn die eine Belegung durch Aufnahme von 0.00003 Coulomb gegen die zur Erde abgeleitete zweite einen Spannungsunterschied von 100 Volt annimmt, oder — was dasselbe ist — wenn der ladende Körper 100 Volt Spannung gegen Erde besitzt, denn

$$C = \frac{Q}{E} = \frac{0.00003}{100} F = 0{,}3\ MF.$$

Immer ist

$$\text{Mikrofarad} = \frac{\text{Coulomb}}{\text{Volt}}\ 10^{-6}$$

Die Capacität von Leydener Flaschen wird zu einigen Zehntausendstel Mikrofarad angegeben. Einige weitere Capacitäten werden später in dem speziellen Teile der Vorlesungen zu nennen sein.

Jetzt möchte ich nur das zum Teil schon bekannte allgemeine Gesetz anführen, das mit einiger Annäherung für alle Condensatoren gilt: Die Capacität eines Condensators ist der gegenseitigen Entfernung der Belegungen umgekehrt und deren Oberfläche direkt proportional. Es ist deshalb klar, warum man bei technischen Condensatoren die beiden Belegungen je aus einer grösseren Anzahl gleichsam parallel geschalteter Stanniolblätter zusammengesetzt und zwischen sie als dünnen (und leichten) Isolator gewachstes oder paraffiniertes oder geöltes Papier oder Glimmer legt. Eben zur Erhöhung der Capacität. Der Aufbau der Belegungen aus einzelnen Blättern findet sich auch in dem Zeichen, mit dem man technische Condensatoren an der Tafel oder auf dem Papier wiedergiebt. Bei theoretischen Erörterungen zeichnet man für einen Condensator einfach zwei

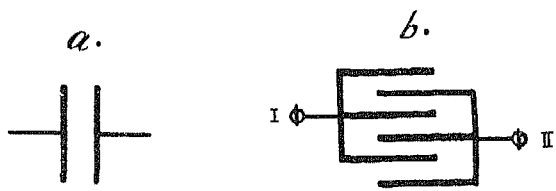


Fig. 66. Wiedergabe von Condensatoren in Zeichnungen.

einander der Breite nach gegenüberstehende Striche. (Fig 66a). Dagegen wird bei Skizzen technisch gebrauchter Schaltungen für den mehrplattigen Condensator diese Abkürzung (Fig 66b) verwendet. Man kann sich daraus vorstellen, wie Belegung I, Isolator, Belegung II und wieder Isolator in vielmals wiederholter Folge aufeinander geschichtet werden. Alle Stanniolblätter I sind mit einander verbunden, ebenso alle II. Das ganze Paket ruht, zur Abhaltung von Feuchtigkeit mit Paraffin umgossen, in einem Holzkasten (Fig. 67). Die Enden beider Belegungen sind zu Klemmen auf dem Deckel des Kastens geführt. Ein Messingstöpsel mit isolierendem Handgriff kann beide Klemmschienen leitend mit einander verbinden und den

Condensator durch Kurzschluss der Belegungen ausschalten. Man kann auch an dem Plattenpaket vor den Enden mehrere Abzweigungen anbringen und zu besonderen Klemmenpaaren führen. Durch mehrere Stöpsel wird dann eine grössere oder kleinere Anzahl von Blättern beider Belegungen kurz geschlossen und so nach Wahl die wirksame Capacität des Condensators auf die neben den Stöpsellöchern angegebene eingestellt.

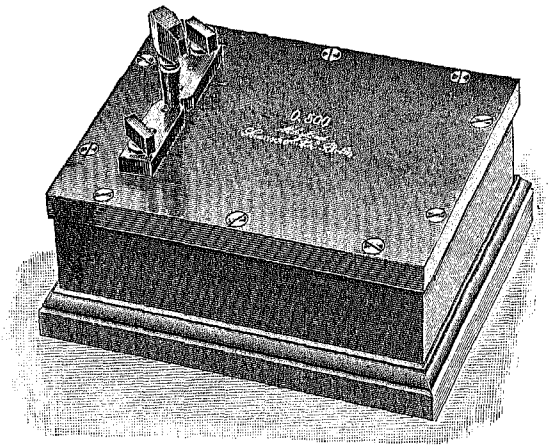


Fig. 67. Condensator von 0,5 *MF.*

Als Ausgangspunkt einer Reihe neuer Betrachtungen, die uns vorübergehend beschäftigen sollen, dient ein Versuch mit der Leydener Flasche und zwar mit einer, bei der die Belegungen nicht aus Stanniolblättern bestehen und dem sie trennenden Glase aufgeklebt sind, sondern besondere Blechgefässe bilden. Diese Blechgefässe sind von solcher Grösse, dass sie sich innen und aussen dem Glase anschmiegen, das Ganze aber noch bequem auseinander zu nehmen erlauben. (Fig 68). Die Flasche arbeitet, wie jede andere, lässt sich laden und, ganz wie Sie es gewohnt sind, in einem kräftigen und mehreren schwachen Funken entladen. Zu unserm Versuche wird sie wiederum geladen und auf eine Glasplatte gestellt. Nun nimmt man mit isolierendem Handgriff aus dem Glasgefäss den Blechkörper, welcher die innere Belegung vorstellt, und dann aus dem äusseren Metallbecher das Glasgefäss

heraus, so dass die drei Teile der Flasche nebeneinander auf der Glasplatte stehen. Jetzt geben merkwürdiger Weise beide vom Glasbecher entfernten Metallkörper, einander genähert, keinen Funken. Das geht gegen alle Erwartung, und man möchte an irgend ein Versehen glauben; aber eine Wiederholung des Versuches hat das gleiche Ergebnis. Die elektrische Ladung der Metallbelegungen ist verschwunden. Wo ist sie geblieben? Wenn sie in der zusammengesetzten Flasche vorhanden war, sollte sie es auch jetzt noch sein. Also war sie dort auch nicht vorhanden? Ist es denn garnicht das Metall, was durch die Ladung elektrisiert wird? Sollte es etwa der Isolator sein, dem bis jetzt nur die passive Rolle der Trennung beider Leiter zugeschrieben wurde? Dienen denn, gerade umgekehrt, die Metallbelegungen nur als Hilfsmittel zur Ladung des Isolators?

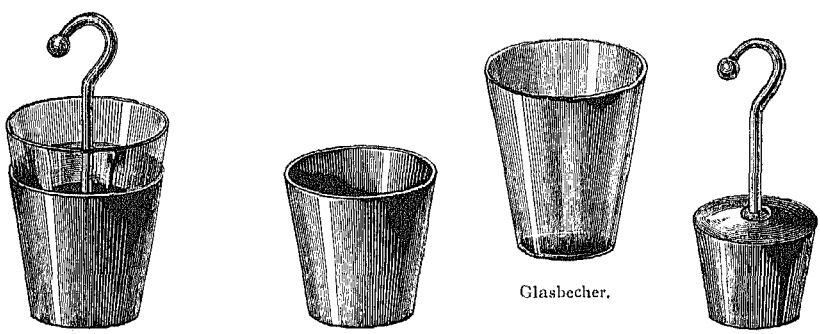


Fig. 68. Auseinandernehmbare Leydener Flasche.

Es erwüchse uns in der That aus diesem Versuche eine ganz neue Erkenntnis von weittragendster Bedeutung, wenn nur das eben gesagte mehr wäre, als eine blosse Behauptung, die noch dazu recht unwahrscheinlich klingt. Wäre diese unwahrscheinliche Behauptung nicht aber bewiesen, wenn man — was freilich auch wenig wahrscheinlich — die nach der gegenseitigen Berührung der Belegungen wieder zusammengesetzte Flasche noch entladen könnte? Ich glaube, ja, und nun sehen Sie das Verblüffende, dass man der wieder zusammengesetzten Flasche wirklich einen Funken entziehen kann.

Der eben hier vor Ihnen angestellte Versuch verlangt, unsere Vorstellung von der Leydener Flasche geradezu umzukehren. Ihr bis jetzt wenig beachteter Teil, der Isolator, wird zur Hauptsache. Die Belegungen sinken zu Handlangern herab. Der Isolator wird in den elektrischen Zustand versetzt, nicht, wie es schien, die Belegungen. Deshalb nannte Faraday die Isolatoren Dielektrika, ein Name, den wir künftig immer für die elektrisch veränderten Isolatoren gebrauchen wollen.

Ist das Dielektrikum wirklich der elektrisch veränderte Teil der Leydener Flasche, dann müssen auch seine Eigenschaften die ihrigen bestimmen. Zweierlei schon bekanntes liesse sich so deuten. Eben hiess es: Die Capacität eines Condensators ist der gegenseitigen Entfernung der Belegungen umgekehrt, ihrer Fläche direkt proportional. Wir brauchen die Worte nur ein wenig zu drehen, und der neuen Anschauung ist genügt: Die Capacität eines Condensators ist der Dicke des Dielektrikums umgekehrt, seiner belegten Fläche direkt proportional. Man wird an das Ohmsche Gesetz erinnert. Je kürzer die Schicht des Dielektrikums, die von Belegung zu Belegung elektrisch verändert wird, und je grösser ihr Querschnitt, um so grösser die von der gleichen Elektricitätsmenge hervorgerufene Spannung.

Auch das Material des Dielektrikums hat, wie Sie sogleich sehen werden, auf den aus ihm erbauten Condensator den wesentlichsten Einfluss, welcher in der Dielektricitätsconstante d des Materiales seinen Ausdruck findet. Dieses schwerfällige Wort hat einen einfachen Sinn. Man denke sich aus dem vorliegenden Dielektrikum einen Condensator erbaut und einen genau gleich grossen mit Luft als Dielektrikum. Die Dielektricitätsconstante ist dann der Quotient aus der Capacität C_D des Condensators mit dem vorliegenden Dielektrikum und der Capacität C_L desgleichen mit Luft

$$d = \frac{C_D}{C_L}$$

Die Dielektricitätsconstante ist die Zahl, welche angiebt, wie viel mal so gross die Capacität eines mit dem betreffenden Dielektrikum gebauten Condensators

ist, als die des gleich grossen Luftcondensators. Nach der Definition ist also für Luft d gleich 1. Einige andere ungefähre Werte von d sind für:

Manilapapier	1.5	vulkanisierten Kautschuk . .	3
Paraffin	2	Olivenöl	3
Leicht schmelzbares Glas	2 bis 5	Glimmer	5

Hätte also ein bestimmter Condensator mit Papier als Dielektrikum eine Capacität von 0,15 *MF*, so würde ein ganz genau gleicher mit Glimmer 0,5 *MF* haben.

Damit Ihnen die Bedeutung der Dielektricitätsconstante recht geläufig wird, will ich einen Versuch (Fig 69) beschreiben,

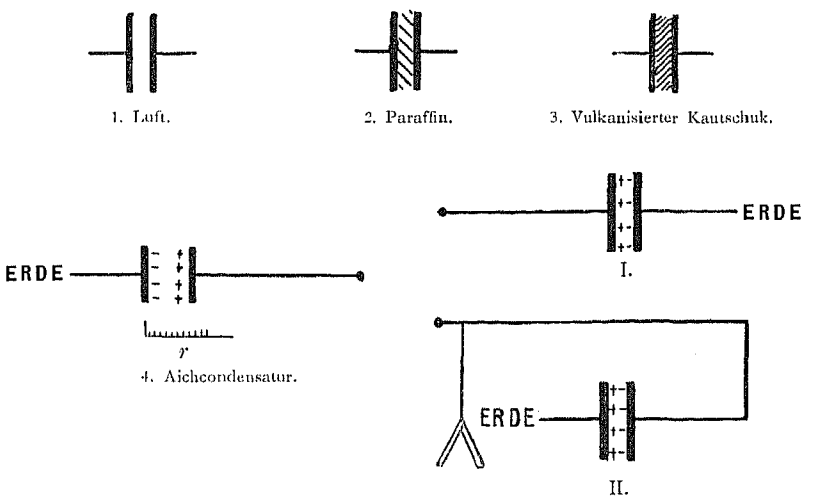


Fig. 69. Bestimmung der Dielektricitätsconstante.

Wie aus der Beschreibung des Versuches hervorgeht, ist jeder der drei mit dem Aichcondensator 4 verbundenen Vergleichscondensatoren 1, 2 und 3 zuerst nach I, dann nach II geschaltet.

wenn auch nicht anstellen, mit dem man sie bestimmen kann. Es sollen verglichen werden die drei Dielektrika: Luft, Paraffin, und vulkanisierter Kautschuk. Aus ihnen sind drei Condensatoren 1, 2 und 3 aufgebaut, welche sich bis auf die Substanz des Dielektrikums vollständig gleichen. Die drei Condensatoren werden unter einander verglichen, indem man jeden einzelnen

nach der Reihe mit einem Aichcondensator 4 vergleicht. Dessen beide Platten sind durch eine Luftschicht getrennt, deren Dicke durch Verschieben der einen Platte nach Belieben verändert und an einem Maasstab abgelesen werden kann. Die Capacität des Condensators 4 ist, wie wir wissen, der Dicke der Luftschicht proportional. Nun wird die eine Belegung dieses Condensators 4 mit der einen des Vergleichscondensators 1 verbunden und ihnen eine kleine (positive) Ladung mitgeteilt, während die zwei anderen Belegungen an Erde liegen (I). Beide Condensatoren haben, da sie mit einander verbunden sind, gleiche Spannung, so dass unsere frühere Gleichung (von S. 102) auf beide mit dem gleichen E angewandt werden kann. Für den Aichcondensator 4 heisst sie

$$C = \frac{Q}{E} ,$$

und für den Vergleichscondensator 1

$$C_1 = \frac{Q_1}{E} .$$

Beide Gleichungen vereinigen sich zu

$$C_1 : C = Q_1 : Q ,$$

in Worten: Die Capacitäten beider mit einander verbundener Condensatoren verhalten sich wie die von ihnen aufgenommenen Elektricitätsmengen. Die Capacitäten werden also gleich, wenn die Elektricitätsmengen gleich gemacht werden können. Ob diese gleich sind, sieht man sehr einfach, wenn man den Vergleichscondensator so umschaltet, dass seine positive Belegung mit der Erde und seine negative mit der positiven des Aichcondensators 4 verbunden ist. (II) Es gleichen sich dann $+ Q$ und $- Q_1$ vollständig oder bis auf einen Rest aus, und ein an den Verbindungsdraht gelegtes Elektroskop zeigt durch seine Blättchen an, ob bei dem Ausgleich eine Elektricitätsmenge übrig geblieben und eventuell welchen Vorzeichens sie ist. Aus ihrem Vorzeichen ergiebt sich, von welchem beiden Conden-

satoren sie stammt, wessen Capacität folglich zu gross ist. Man braucht dann nur den Abstand der Platten des Condensators 4 so lange zu verändern (z. B. bei positivem Ausschlag des Electroskopes zu verkleinern), bis bei Wiederholung des Versuches kein Ausschlag mehr stattfindet. Dann weiss man, dass $Q = Q_1$ war, mithin $C = C_1$ ist, und hat nur die Dicke der Luftschicht des Aichcondensators 4, r_1 am Maassstabe abzulesen. Für jeden der drei Vergleichscondensatoren stellt man eine solche Versuchsreihe an und ermittelt so die drei Längen r_1, r_2 und r_3. In ihnen drückt sich die Capacität der drei zu vergleichenden Condensatoren aus, da der Aichcondensator 4 auf eine, der ihrigen gleiche Capacität eingestellt war. Es ist

$$C_1 : C_2 : C_3 = r_1 : r_2 : r_3$$

Da der Condensator 1 Luft als Dielektrikum enthält, ergeben sich für die beiden Dielektricitätsconstanten nach der Erklärung die Werte

$$d_2 = \frac{C_2}{C_1} \quad \text{und} \quad d_3 = \frac{C_3}{C_1} .$$

Die Proportion wird deshalb umgeformt zu

$$\frac{C}{C_1} : \frac{C_2}{C_1} : \frac{C_3}{C_1} = 1 : \frac{r_2}{r_1} : \frac{r_3}{r_1}$$

$$d_1 : d_2 : d_3 = 1 : \frac{r_2}{r_1} : \frac{r_3}{r_1} ,$$

woraus als Endergebnis folgt:

$$d_2 = \frac{r_2}{r_1} \quad \text{und} \quad d_3 = \frac{r_3}{r_1} .$$

Die drei Entfernungen r_1, r_2 und r_3 sind durch den Versuch ermittelt. Da die Dielektricitätsconstanten von Paraffin und vulkanisiertem Kautschuk zu etwa 2 und 3 angegeben wurden, muss, wenn der Versuch richtig angestellt wird, r_2 ungefähr doppelt, r_3 dreimal so gross sein als r_1.

Der Versuch mit der auseinander genommenen Leydener Flasche und der Einfluss, den die Dimensionen und das Material des Dielektrikums auf die Capacität eines Condensators ausüben, zwingen uns dieses und nicht die Belegungen als Träger der elektrischen Veränderung anzusehen. Wenn wir aber fragen, worin denn die Veränderung besteht und der Zustand, in den das Laden des Condensators das Dielektrikum versetzt, so giebt es auch hierauf wieder keine befriedigende Antwort. Man stellt sich vor, dass quer durch das Dielektrikum, von einer Belegung zur anderen, elektrische Kraftlinien[1]) gehen, und legt diesen unter anderem das Bestreben bei, sich zu verkürzen. Denken Sie sich die Kraftlinien wie eine Reihe paralleler elastischer Gummibänder das Dielektrikum durchsetzen und mit ihren Enden an den Belegungen angeheftet. Die Ladung des Condensators besteht dann in einer allmählichen Anspannung der Gummibänder, die Funkenentladung in einer plötzlichen Abspannung. Die Heftigkeit der Abspannung hat ein abwechselndes Ausdehnen und Zusammenziehen der Bänder zur Folge, ehe wieder Ruhe eintritt; daher die pendelnde Natur des Funkens. Ein elastisches Band erreicht auch dann nicht gleich seine volle Länge wieder. Einen kleinen Rest seines Längenzuwachses verliert es erst nach einiger Zeit, gerade wie die Leydener Flasche ihren kleinen Ladungsrückstand. Die elektrischen Kraftlinien sind natürlich wie die magnetischen nur gedacht. Gerade, wie streng genommen auch die Lichtstrahlen nicht wirklich bestehen, sondern nur die Fortpflanzungsrichtung des Lichtes angeben, gerade so personificieren nur die elektrischen Kraftlinien die Spannung, in welche die Teilchen des Dielektrikums durch die Ladung des Condensators versetzt werden, und geben die Richtung dieser Spannung an.

Jetzt leuchtet es auch ein, dass jede statische Erscheinung eine Condensatorwirkung ist. Früher sprachen wir von einer positiv geladenen Glasstange, ihrer Influenzwirkung auf eine Hollundermarkkugel und einer Anziehung beider ungleichnamiger Elektricitäten. Jetzt denken wir uns, von der Glasstange ausgehend, Kraftlinien das umgebende Dielektrikum — die Luft — durchsetzen und sich an die Markkugel anheften. Die Kraft-

[1]) Es wird niemand auf den Gedanken kommen, diese elektrischen Kraftlinien mit den magnetischen zu verwechseln.

linien ziehen sich zusammen, d. h. die in Spannung versetzten Luftteilchen nähern sich einander und die Kugel folgt. Gerade, wie der magnetische Nord- und Südpol zum Aus- und Eintrittsort der magnetischen Kraftlinien herabsanken, giebt der Ausdruck positive und negative Elektricität auf den Belegungen nur die Richtung der dort angeknüpften und im zwischenliegenden Dielektrikum verlaufenden Kraftlinien an. In der neuen Anschauung wird es selbstverständlich, dass beim Reiben beide geriebenen Körper entgegengesetzt und in gleicher Menge elektrisch werden, und weiter, dafs die statische Elektricität nicht das Innere der Leiter erfüllen kann. Die Spannung auf dem Faradayschen Rouleau muss beim Zusammenrollen deshalb wachsen, weil die zwischen dem Rouleau und den benachbarten Körpern — den Zimmerwänden, der Tafel — angehefteten Kraftlinien auf einen viel kleineren Querschnitt des Dielektrikums zusammengedrängt werden, als vorher. Auch die grosse Capacität der Condensatoren erklärt sich. Im Grunde ist die Ladung eines Condensators eben nichts anderes, als jede andere statische Ladung. Aber die Luftschicht zwischen dem Faradayschen Rouleau und z. B. der Tafel ist etwa anderthalb Meter dick, während die Kraftlinien bei der Leydener Flasche eine Schicht von nur einigen Millimetern, bei technischen Condensatoren eine solche von Papierdicke zu durchsetzen, zu spannen haben. Dieselben Kraftlinien werden das dünne Dielektrikum in eine viel heftigere Spannung versetzen können, als die anderthalb Meter dicke Schicht.

Vorläufig müssen wir nun, so leid es uns thut, diese Betrachtungen abbrechen. Wenn auch später die Funkentelegraphie Gelegenheit bieten wird, sie wieder aufzunehmen, so geht es in Vorlesungen, wie unseren, doch noch nicht an, die stofflich gedachte Elektricität zum alten Eisen zu werfen, und die Elektricitätslehre aus einem Gusse in moderner Darstellungsweise zu lehren. Wir, die wir praktische Ziele verfolgen und die Theorie trotz all ihren Reizes nur so weit berücksichtigen können, als sie zum Verständnis unserer Technik führt, haben mit einem kurzen Einblick in die moderne Lehre unserer Pflicht genügt und halten, wo es immer angeht, an der alten Anschauungsweise ruhig fest. Wer von Ihnen Neigung hat, sich eingehender mit der Theorie zu beschäftigen, sei auf das Buch von

Sir Oliver Lodge: Neueste Anschauungen über Elektricität und ausserdem, bei mathematischer Vorbildung, auf Ferraris, Wissenschaftliche Grundlagen der Elektrotechnik verwiesen.

Als Anhang zu dieser Vorlesung seien einige Betrachtungen angestellt, die zwar nicht eigentlich in die Statik gehören, aber ungezwungen an sie angeschlossen werden können. Zunächst handelt es sich um die Identität der beiden Arten der Elektricität, die in so verschiedener Weise in die Erscheinung treten. Statische Elektricität und elektrischer Strom sind Erscheinungen derselben Elektricität. Die auf den Leitern ruhende und in den Leitern fliessende Elektricität ist die gleiche. Eine systematische Vergleichung beider Wirkungen hat die Identität ergeben. Hier werde nur an die Ähnlichkeit des Funkens der Influenzmaschine und des Ruhmkorff erinnert, und es seien zwei Versuche angestellt, von denen der erste zeigt, dass auch aus statischer Quelle ein elektrischer Strom fliessen kann, wenn man zwischen sie und Erde schlechte Leiter, wie z. B. längere Stäbe von trocknem Holz, schaltet. Drei solcher Stäbe (Fig. 70) sind hinter einander mit der positiven Erdkugel

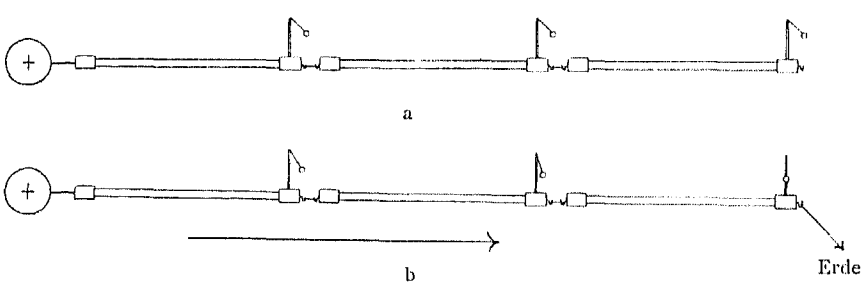


Fig. 70. Elektrischer Strom aus statischer Quelle.

der Elektrisiermaschine verbunden und tragen an ihrem von der Maschine abgewandten Ende Pendel aus Hollundermark als Spannungszeiger. Das Ende des letzten Stabes ist isoliert. Durch Drehen der Maschine werden die Stäbe auf die Spannung der Endkugel geladen. Alle drei Elektroskope schlagen gleich weit aus (Fig. 70a) und zeigen dadurch an, dass das ganze

System mit einer Elektricitätsmenge derselben Spannung bedeckt ist. Dem entsprechend stand bei unserem hydraulischen Abbild (S. 8) das Wasserniveau in den drei vertikalen Röhren gleich hoch, wenn der Hahn geschlossen war. Wird der Hahn geöffnet, so zeigt der gleichmässige Niveauabfall einen gleichmässigen Fluss vom höheren zum niederen Niveau an. Sobald bei unserem Versuche das Ende der dritten Stange und die negative Maschinenkugel an Erde gelegt werden, erweisen (Fig. 70b) ebenso die drei Pendel einen gleichmässigen Spannungsabfall von der Maschine bis zur Erde. Das erste Elektroskop zeigt noch fast die hohe Spannung der Maschinenkugel, das dritte die Spannung Null der Erde an. Schon dieser dem elektrischen Strome eigentümliche Spannungsabfall, der so lange erhalten bleibt, als die Maschine gedreht wird, spricht dafür, dass hier aus statischer Quelle ein Strom fliesst. Eigentümlich ist diesem Strome der ausserordentlich hohe Spannungsunterschied, der ihn treibt, und die kleinen Elektricitätsmengen, die er führt. Wie jeder andere Strom, hat er Wärmewirkungen oder magnetische Wirkungen im Gefolge. So magnetisiert er eine Stahlnadel, um die man ihn in mehreren Windungen herumführt, und zwar entspricht der Sinn der Magnetisierung der Schwimmregel, wenn man den Fluss der positiven Elektricität zur Erde als Stromrichtung ansieht[1]). Nun lässt man die negative Endkugel der Maschine sich durch die Holzstangen und um die Nadel herum entladen. Die Magnetisierung entspricht auch jetzt der Schwimmregel, wenn die Wirkung der negativen Elektricität als der der positiven entgegengesetzt gerichtet angesehen wird.

Aus diesem Vorgange und anderen zieht man den Schluss, dass der elektrische Strom durch das Fliessen einer einzigen Elektricität und nach einer Richtung nicht genügend versinnbildlicht werde. Es findet, so meint man, eine doppelte Bewegung gleichzeitig statt. Einmal bewege sich positive Elektricität in dem Sinne, den wir bis jetzt als Stromrichtung ansahen, und, gleichsam an ihr vorbei, fliesse im entgegengesetzten Sinne ein gleich starker Strom negativer Elektricität. Der Strom fliesst dann nicht mehr als Ausgleich der

[1]) Die durch eine Funkenentladung bewirkte Magnetisierung der Nadel kennt dagegen kein festes Richtungsgesetz; sie erfolgt bald in diesem, bald in jenem Sinne und liefert damit einen neuen Beweis für die schwingende Natur des Funkens.

Spannungen $+ E$ und 0, sondern von $+ \frac{E}{2}$ und $- \frac{E}{2}$. Der Spannungsunterschied ist natürlich der gleiche, wie in der früheren Betrachtung; denn $E - 0$, ebenso wie $\left(+\frac{E}{2}\right) - \left(-\frac{E}{2}\right)$, giebt E. Unser altes Bild (Fig. 71) giebt dann die Abhängigkeit der Spannung vom Leitungsweg nicht mehr zutreffend wieder und ist so zu verändern, dass die schräg abfallende Linie parallel mit sich $\left(\text{um } \frac{E}{2}\right)$ in das Negative verschoben erscheint. (Fig. 72).

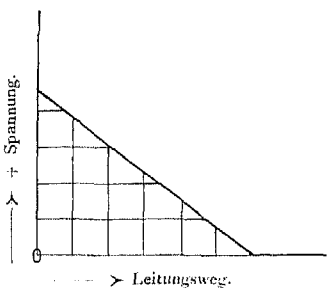


Fig. 71.
Spannungsabfall von E zu 0.

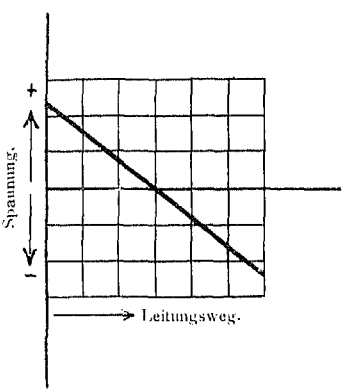


Fig. 72.
Spannungsabfall von $+ \frac{E}{2}$ zu $- \frac{E}{2}$

Trotzdem diese Auseinandersetzung die Gefahr in sich birgt, Ihnen die klare, schematische Vorstellung des elektrischen Stromes zu trüben, so war sie deshalb nicht zu umgehen, weil sie bei der späteren Erklärung von Stromläufen und von elektrochemischen Thatsachen nützlich und zum Verständnis der allgemein eingebürgten Bezeichnungen: positive und negative Klemmen unentbehrlich ist. Wenn wir auch für gewöhnlich fortfahren werden, nur von einem Strome — dem in der positiven Richtung fliessenden — zu sprechen, so muss Ihnen doch die Bezeichnung: positive und negative Klemme geläufig sein, und ich

bitte Sie, sich die folgenden Regeln einzuprägen. Der Strom tritt aus der Stromquelle zur positiven Klemme heraus und tritt zur negativen in sie hinein. Positive Klemme, langer Strich — negative Klemme, kurzer Strich. Für den Stromempfänger, wie eine Glühlampe oder einen Farbschreiber, liegt die Sache umgekehrt. Der Strom tritt in den Stromempfänger zur positiven Klemme hinein und tritt aus ihm zur negativen heraus. Beide Regeln sind in diesem Schema (Fig. 73) enthalten.

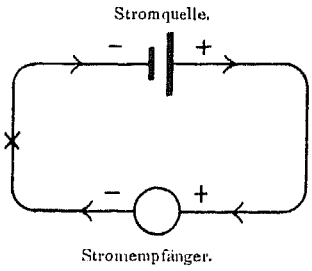


Fig. 73.
Positive und negative Klemmen.

Dem Versuche, welcher darthut, dass auch aus statischer Quelle ein elektrischer Strom fliessen kann, hat ein zweiter zu folgen, der das Umgekehrte beweist, nämlich, dass eine Elektricitätsquelle, aus der wir gewöhnlich Strom entnehmen, statische Erscheinungen zu bewirken fähig ist. Ich verbinde deshalb die Klemmen am Experimentiertische, die uns sonst Strom liefern, mit denen eines Condensators durch Leitungsdrähte. Dazwischen wird noch ein Ausschalter und ein Galvanoskop gelegt (Fig. 74). Das Galvanoskop von früher (Fig. 45 auf Seite 66) macht bei jeder Ablenkung einige Schwingungen um seine neue Gleichgewichtslage, die das genaue Ablesen verzögern. Das jetzt benutzte Galvanoskop, ein s. g. aperiodisches, thut das nicht. Es ist so gedämpft, dass es sich ohne Schwankungen sofort auf jede neue Ablenkung einstellt. Werden nun durch den Ausschalter die Tischklemmen und die des Condensators elektrisch verbunden, so kann natürlich ein Strom der uns geläufigen Art nicht fliessen, weil das Dielektrikum des Condensators den metallischen Kreis nichtleitend unterbricht. Trotzdem also kein geschlossener Stromkreis vorhanden ist, sehen Sie mit dem Umlegen des Ausschalters eine heftige Ablenkung des Galvanoskopes eintreten. Die Dämpfung des Instrumentes erlaubt uns auch zu beobachten, dass der heftige Ausschlag nur kurz andauert und sofort an Grösse abnimmt, bis er nach einigen Augenblicken wieder zu Null geworden ist. Dieser Versuch zeigt, dass der Condensator mit

Hilfe der Tischklemmen, d. h. mit der in dem Elektricitätswerk der Stadt durch Induktion erzeugten Elektricität, gerade so geladen werden kann, wie mit statischer Elektricität, — der zweite der versprochenen Beweise für beider Identität. Von der positiven Tischklemme aus ergiesst sich positive Elektricität auf die eine Belegung des Condensators, von der negativen Klemme

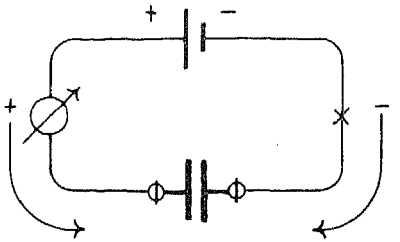


Fig. 74.

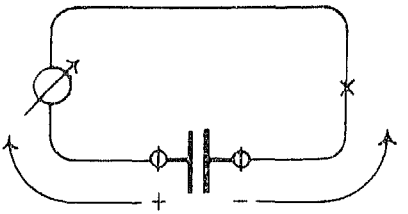


Fig. 75.

Ladestrom und Entladestrom eines Condensators.

negative Elektricität auf die andere Belegung. Der Condensator wird also ebenso geladen, wie von einer Elektrisiermaschine. Nur die Ladespannung ist niedriger, und man kann deshalb mit dem gedämpften Galvanoskop beobachten, dass die Ladung zu ihrer Vollendung Zeit braucht, dass sie in Form eines Ladestromes einige Zeit andauert. Der Verlauf dieses Ladestromes würde durch eine Kurve wiederzugeben sein, die von einem Höchstwert zuerst sehr schnell, dann allmählicher zu Null abfällt.

Wird nach Vollendung der Ladung die Stromquelle abgeschaltet und der Condensator durch das Galvanoskop geschlossen (Fig. 75), so flutet die eingeladene Elektricität wieder zurück. Ein Entlade- oder Rückstrom lenkt das Galvanoskop ähnlich, wie vorher, nur im entgegengesetzten Sinne, ab. Auch die Entladung beansprucht Zeit. Sie verläuft in derselben Weise wie der Ladestrom und ebenfalls nicht wechselstromartig, wie es die Funkenentladung der Leydener Flasche thut. Wollten wir die eingeladene und die ausgeladene Elektricitätsmenge messen, so würde sich zeigen, dass auch hier ein Rückstand im Condensator verbleibt.

Die Ladung eines Condensators aus einer Stromquelle und die Entladung bitte ich Sie, recht genau im Gedächtnisse zu

behalten. Es wird Ihnen dann später die Kabeltelegraphie leicht verständlich werden. Der Versuch trägt aber auch noch zur Erklärung einer anderen Thatsache bei, zu deren Besprechung wir die willkommne Gelegenheit ergreifen.

Bis jetzt haben Sie andauernde Ströme nur in vollständig metallischen Leiterkreisen kennen gelernt. Von der positiven Klemme der Stromquelle zur negativen führte ein ununterbrochener Metalldraht. Man kann aber häufig, in der Telegraphie immer, an Leitungsmaterial sparen und den Leiterkreis, der zwei von einander entfernte Orte elektrisch verbindet, nur zur Hälfte aus Metalldraht bestehen lassen und für die andere Hälfte die Erde als Leiter benutzen. In der That ist das feuchte Erdreich ein guter Leiter der Elektricität, und der grosse Querschnitt der Erde lässt ihren Leitungswiderstand praktisch fortfallen. Diese Skizze (Fig. 76) zeigt im Prinzip, wie die Erde

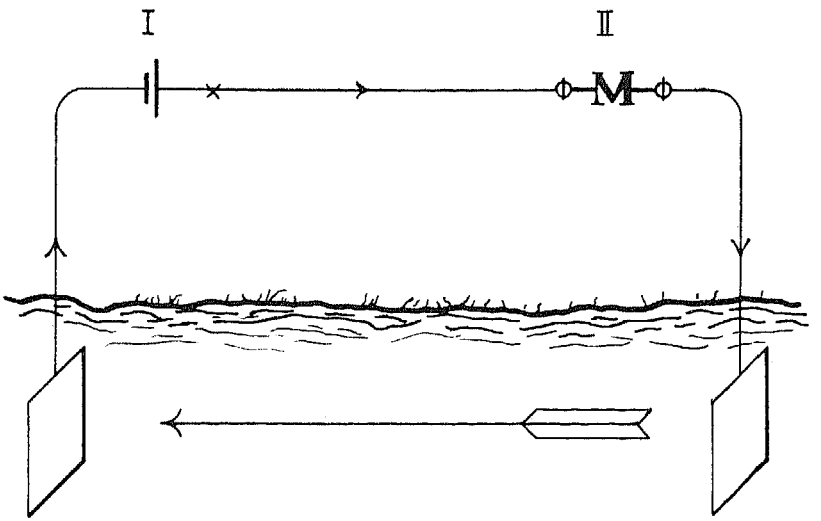


Fig. 76. Erdrückleitung.

die Rückleitung des Stromes übernimmt. Die beiden Ämter I und II sind nur durch einen einzigen Metalldraht verbunden, welcher von der positiven Klemme der Stromquelle auf dem Amte I zur positiven Klemme des Strom-empfangenden Apparates *M* (von Morse) auf dem Amte II führt. Die negativen Klemmen von Stromquelle und Stromempfänger liegen an

Erde. Man sagt auch, sie seien geerdet. Die Reichstelegraphie schreibt übrigens als Erdleitung für grössere Ämter ein unten eine Bleiplatte tragendes Gasrohr, für kleinere ein Drahtseil vor, das unten in einen Drahtring endigt. Die Erdleitung gehört so tief in das Grundwasser, dass sie auch in der trockendsten Jahreszeit von ihm bedeckt bleibt.

Es fragt sich nun, ob in unserer Skizze (Fig. 76) der Pfeil in der Erde zu Recht besteht, ob wirklich die Erdschicht zwischen den Erdplatten zweier mit einander telegraphierender Ämter von einem Strome durchflossen wird? Welches unendliche Gewirr von Strömen müsste dann den Erdboden durchziehen! Die Möglichkeit, unsern Condensator aus einer Stromquelle zu laden, bietet eine wissenschaftlichere Erklärung der Erdrückleitung und zeigt, dass diese auch stattfände, wenn beide Erdplatten durch eine nichtleitende Schicht elektrisch von einander getrennt wären. Die beiden Erdplatten und ihre leitende Umgebung können als die Belegungen eines Condensators gelten. Wegen der grossen Dimensionen der Erde ist dessen Capacität praktisch unendlich gross. Er kann unendliche Elektricitätsmengen aufnehmen, ohne dass dadurch seine Spannung über Null ansteigt. Solange die Telegraphierbatterie mit ihrer einen Klemme unmittelbar und ihrer anderen über das empfangende Amt an Erde liegt, giebt sie sich gewissermassen fortgesetzte Mühe, einen Condensator zu laden. Die Capacität des Condensators ist aber unendlich gross, und die Batterie kann deshalb so viel Coulomb in ihm hineinschicken, als sie will, an keiner von beiden Endplatten steigt dadurch das Niveau der Elekricität um ein einziges Volt. Die Ladung ist nie zu Ende und, wenn das Telegraphieren nicht selbst sehr bald eine Unterbrechung des Stromes verlangte, würde der Ladestrom zu einem andauernden Gleichstrom werden.

7. Vorlesung.

Chemische Stromwirkung.

Stromleitung in Flüssigkeiten. Giltigkeit des Ohmschen und Jouleschen Gesetzes. Ablenkung der Magnetnadel. — Elektrische Leitung und chemische Zersetzung. Bleibaum. Beförderung von Atomen und Atomgruppen durch die Lösung. — Leiter erster und zweiter Ordnung. Elektrolyse. Elektrolyte. Elektroden. Anode. Kathode. Jonen. — Elektrolyse von Kupfersulfat zwischen Platinelektroden. — Elektrolyse der verdünnten Schwefelsäure. Voltameter und Hofmannscher Apparat. — Elektrolyse von Natriumsulfat unter Zusatz von Lackmus. — Faradaysches Gesetz. Definition des Ampere. 96500 Coulomb. Elektron. — Elektrolytische Dissociation.

In den vorangegangenen Vorlesungen haben Sie als Leiter des elektrischen Stromes nur Metalle, feste Körper, kennen gelernt, denen sich das flüssige, aber zu den Metallen gehörende Quecksilber und die nicht metallische, aber feste Kohle zugesellte. Allein die Benutzung des feuchten Erdreiches und des Grundwassers als Leitungsmaterial deutete schon darauf hin, dass auch Flüssigkeiten den elektrischen Strom leiten. Ein Versuch soll Ihnen das beweisen.

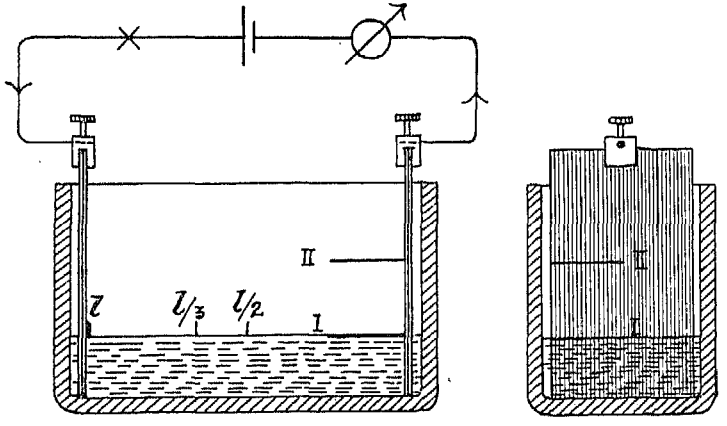


Fig. 77. Das Ohmsche Gesetz gilt auch für die Leitung in Flüssigkeiten.

In diesem Glastroge (Fig. 77) befindet sich eine verdünnte wässerige Lösung des blauen Kupfervitriols, mit chemischem Namen Kupfersulfat, von der Formel $Cu.SO_4$. Zwei Kupferbleche tauchen in die Flüssigkeit ein und sind durch aufgelötete Klemmen über einen Ausschalter und einen Stromzeiger, wie er schon früher (S. 20) benutzt wurde, mit unserer kleinen Accumulatorenbatterie verbunden. Sobald der Ausschalterhebel umgelegt wird, sehen Sie das Instrument einen Strom anzeigen. Die den festen Leiterkreis unterbrechende Flüssigkeitsstrecke wird mithin von Strom durchflossen.

Auch für die Stromleitung in Flüssigkeiten gilt, wenn störende Nebenwirkungen ausgeschlossen werden können, das Ohmsche Gesetz $E = JW$. Verschiedene Spannungsdifferenzen der Kupferbleche lassen die Lösung von Strömen durchfliessen, die diesen Spannungsdifferenzen proportional sind: die Flüssigkeitsschicht hat wie ein Metalldraht einen bestimmten Widerstand. Auch hier ist der Widerstand der durchflossenen Länge l direkt und dem durchflossenen Querschnitt q umgekehrt proportional. So braucht man die Kupferplatten nur auf die Hälfte ihrer ursprünglichen Entfernung zu nähern, um am Instrumente den doppelten Strom angezeigt zu erhalten. Die Verminderung der Plattenentfernung auf ein Drittel verdreifacht den Strom. Lässt man die Platten in ihrer ursprünglichen Entfernung und füllt die jetzt nur bis zur Marke I des Glastroges (in Fig. 77) reichende Flüssigkeit bis zur Marke II, d. h. doppelt so hoch, auf, so wird der Strom ebenfalls verdoppelt. Ausser von den Dimensionen hängt der Widerstand einer Flüssigkeitssäule natürlich auch von einem ihrer Substanz eigentümlichen, einem specifischen Widerstand W_s ab. Allerdings spricht man bei Flüssigkeiten mehr von dessem reciproken Wert, dem spezifischen Leitvermögen L_s (S. 5). Das Gesetz

$$W = \frac{1}{L_s} \frac{q}{l}$$

ist, wie sich bald zeigen wird, für Flüssigkeiten deshalb von grosser praktischer Bedeutung, weil es die für galvanische Elemente und Accumulatoren zweckmässige Bauart und Schaltung lehrt.

Beim Durchfliessen eines Metalldrahtes verschwindet elektrische Arbeit und findet sich, wie Ihnen bekannt, als gleichwertige Wärmemenge wieder. Wie das Ohmsche, gilt auch das Joulesche Gesetz für die Stromleitung in Flüssigkeiten. — Selbst magnetische Wirkungen kann der eine Flüssigkeit durchfliessende elektrische Strom haben. Um das zu zeigen, braucht man nur beim Oerstedschen Versuch (S. 45) den horizontalen Kupferdraht durch ein mit Kupfersulfatlösung gefülltes Glasrohr ersetzen, in das durch durchlöcherte Gummistopfen kurze Kupferdrähte eintreten.[1]) Nach Stromschluss wird auch hier die Magnetnadel nach der Schwimmregel abgelenkt. Insoweit gleicht sich die Stromleitung in Metalldrähten und Flüssigkeitssäulen. Aber die letztere zeigt noch eine ganz besondere Erscheinung für sich. Jede Stromleitung in einer Flüssigkeit ist nämlich, so wollen wir es vor der Hand ausdrücken, von einer chemischen Zersetzung begleitet. Deshalb fällt auch diese Vorlesung, wie die beiden folgenden, in die Elektrochemie, ein von der eigentlichen Elektrik abgezweigtes Lehrgebiet, dem wir nun trotz seiner chemischen Färbung für einige Zeit unsere ganze Aufmerksamkeit zu widmen haben.

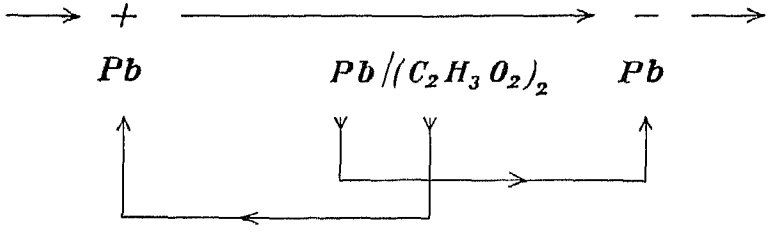
Ein neuer Versuch soll Ihnen von der Verknüpfung der Stromleitung und chemischen Zersetzung den ersten Begriff geben. Ein Glasgefäss von der Gestalt eines starken Notizbuches ist bis zu zwei Dritteilen mit der verdünnten Lösung von Bleiacetat $Pb(C_2H_3O_2)_2$ in Wasser, dem sogenannten Bleizucker, gefüllt. Zwei Bleidrähte dienen dazu, die Flüssigkeit von Strom durchfliessen zu lassen, und zwar ist der mit der positiven Klemme verbundene Bleidraht halbkreisförmig um den negativen herumgebogen. Der Strom geht mithin in der Bleilösung von dem Umfang des Halbkreises radial zum Mittelpunkt. Das Glasgefäss, — wie man es auch nennt — die Zersetzungszelle, wird vor die Projektionslampe gestellt. Deren Linsensystem erzeugt, wie immer, auf dem an der Wand befestigten weissen Schirm ein vergrössertes umgekehrtes Bild. Der Boden des Glasgefässes erscheint oben, das Flüssigkeitsniveau unten. Sobald nun der Strom geschlossen wird, sehen Sie, wie der negative Bleidraht zu wachsen scheint, wie sich

[1]) Natürlich muss sich oben in der Glasröhre eine grössere Öffnung befinden.

an ihn zarte Zweige aus Blei und an sie wieder Seitenzweige ansetzen, und wie das Ganze wächst und wächst, bis einige Zweige dem tragenden Stamme zu schwer werden, abreissen und zu Boden fallen. Auf dem Bilde sieht es freilich so aus, als ob sie nach oben stiegen. Solange der Strom fliesst, schiessen für die abgerissenen Zweige sofort neue an, und der Bleibaum hört nicht auf, zu wachsen.

Wird nun die Richtung des Stromes umgekehrt, so verschwinden an dem mittleren Draht die Zweige so schnell, wie sie gekommen sind, und es wachsen neue an den äusseren, gebogenen und jetzt negativen Draht an. Der Strom bewirkt also in der Bleilösung einen doppelten Vorgang. Er löst Blei von dem Drahte, durch den er in die Flüssigkeit eintritt, ab und fügt Blei an den Draht an, zu dem er aus ihr heraustritt. Der Strom befördert Blei durch die Flüssigkeit hindurch in der Richtung vom Orte seines Eintritts zu dem seines Austritts.

Vorläufig deuten wir uns diesen Vorgang so: Das Bleiacetat $Pb\,(C_2H_3O_2)_2$ wird durch den Strom in zwei Teile gespalten, in Blei Pb und den Acetatrest, die Atomgruppe $(C_2H_3O_2)_2$. Das Blei bewegt sich in der Richtung des Stromes durch die Flüssigkeit und lagert sich an dem Draht des Stromaustritts, am negativen Draht ab. Der Acetatrest wird im entgegengesetzten Sinne — also der Richtung des eventuell anzunehmenden negativen Stromes — zum positiven Bleidraht geführt. An diesem stillt er seinen chemischen Hunger, indem er Blei herunterlöst und wieder Bleiacetat zurückbildet. Schematisch könnte man den Vorgang so darstellen:

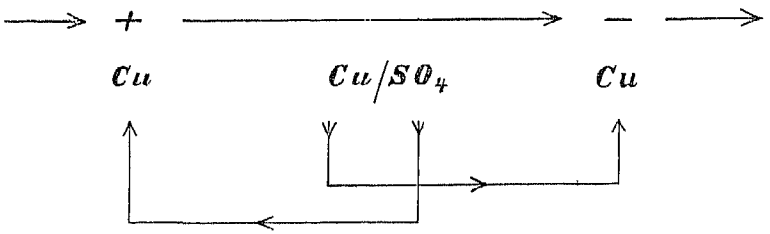


Die oberen Pfeile geben die Richtung des positiven Stromes von dem positiven Bleidraht durch die Lösung zum negativen

an, die unteren, dass die beiden Teile des gespaltenen Bleiacetates nach entgegengesetzten Richtungen auseinandergeführt werden. In der Richtung des Stromes bewegt sich das Metall, in der entgegengesetzten der Säurerest. Oder im Sinne des positiven Stromes bewegt sich das Metall, im Sinne des negativen Stromes der Säurerest. Endergebnis: der negative Bleidraht wächst zum Bleibaum, vom positiven wird Blei heruntergelöst.

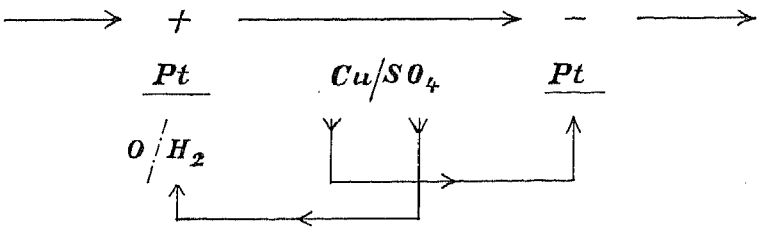
Der eben angestellte Versuch hat gezeigt, dass die Stromleitung in Metallen und in Flüssigkeiten in verschiedener Weise stattfindet und lässt es berechtigt erscheinen, dass man den Metallen (zusammen mit dem Quecksilber und der Kohle) als Leitern erster Ordnung die leitenden Flüssigkeiten als Leiter zweiter Ordnung gegenüberstellt. Von Leitern zweiter Ordnung kommen für uns verdünnte Lösungen von Säuren, Basen und Salzen in Betracht. Sie sind von den Leitern erster Ordnung dadurch unterschieden, dass bei Ihnen mit der Stromleitung eine chemische Zersetzung verknüpft ist. Um die Verbindung von elektrischer und analytischer, d. h. zersetzender Wirkung auszudrücken, nennt man nach Faraday den in beidem bestehenden Vorgang Elektrolyse und die Leiter zweiter Ordnung Elektrolyte. Die beiden Leiter erster Ordnung, welche den Stromdurchgang durch den Elektrolyten vermitteln, heissen Elektroden. Die positive Elektrode oder die des Stromeintritts ist die Anode und die negative oder die des Stromaustritts die Kathode. Der Bleibaum bildete sich also an der Kathode und fortgelöst wurde die Anode. Die durch die Flüssigkeit zu den Elektroden bewegten Atome oder Atomgruppen heissen Jonen. Worin sie sich von den Ihnen bis jetzt bekannten Atomen oder Atomgruppen unterscheiden, so dass ihnen ein besonderer Name gebührt, wird später zu besprechen sein. Es ist allgemein üblich, die Bewegung der Jonen ihre Wanderung zu nennen, und Sie thun gut, sich dieses Ausdrucks zu bedienen. Wenn wir ihn kritisieren wollten, was man freilich bei Namen, und noch dazu bei allgemein eingeführten, besser lässt, so möchte mir scheinen, als ob unter Wanderung mehr die zwanglose Bewegung eines einzelnen oder weniger Individuen verstanden würde, als ein durch äusseren Befehl erzwungener Marsch eines ganzen Heeres.

Kehren wir noch einmal zu dem ersten Versuche: der Stromleitung durch Kupfersulfat zurück. Auch dieser Vorgang ist eine Elektrolyse. Die beiden Teile des entzwei gerissenen Kupfersulfates werden nach entgegengesetzten Seiten auseinandergeführt. Im Sinne des Stromes bewegt sich das Kupfer und schlägt sich als blanker, schön rother Ueberzug auf der etwas oxydierten Kupferkathode nieder. Der saure Rest des Kupfersulfates (SO_4) wandert als Sulfat-Jon zur Anode und löst sich von dem Bleche die zugehörige Kupfermenge ab:



Für jedes auf der Kathode niedergeschlagene Kupferatom wird eins von der Anode heruntergelöst. Die Anode wird um ebenso viel Kupfer leichter, als die Kathode schwerer. Durch Wägung der Bleche vor und nach dem Versuche kann das leicht erwiesen werden. Der Kupfergehalt des Elektrolyten wird nicht verändert.

Jetzt soll dieselbe Kupfersulfatlösung, wie eben, nochmals elektrolysiert werden; aber die Elektroden bestehen dieses Mal nicht aus Kupfer, sondern aus Platin. Wie vorhin, wird Kupfer zum negativen Blech befördert und scheidet sich auf ihm als rote Haut ab. Das gegen die Stromrichtung schwimmende (SO_4) findet jetzt aber die Anode statt aus löslichem Kupfer aus unlöslichem Platin bestehend vor. Es hält sich deshalb an das Lösungswasser, nimmt ihm den Wasserstoff fort und vereinigt sich mit diesem zu Schwefelsäure. Der aus dem Wasser übrig bleibende Sauerstoff entweicht an der Anode in Blasen in die Luft. Die Lösung wird entkupfert, was an dem Verschwinden ihrer Blaufärbung zu erkennen ist. Der ganze Vorgang kann durch dieses Schema dargestellt werden:



Der horizontale Strich unter jedem *Pt* soil andeuten, dass die Elektroden von (SO_4) nicht angegriffen werden.

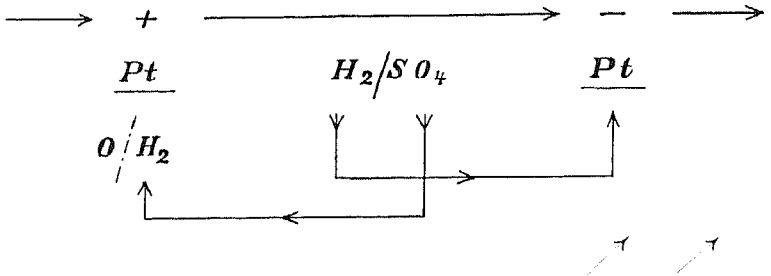
Die chemische Gleichung für die Zersetzung des Wassers durch den Sulfatrest würde lauten:

$$2\,(SO_4) + 2\,H_2\,O = 2\,H_2\,SO_4 + O_2.$$

Die Zersetzung des Lösungswassers ist wohlgemerkt ein secundärer Vorgang und wird rein chemisch durch die vorher elektro-chemisch beförderte Sulfatgruppe bewirkt. Sie findet auch nicht in einem beliebigen Teile der Flüssigkeit statt, sondern erst dann, wenn das (SO_4) an der Anode angekommen ist. Kehrt man den Strom um, so findet derselbe Vorgang in der umgekehrten Richtung statt. Jetzt schlägt sich auf der vorher rein gebliebenen Platinplatte Kupfer nieder, während das (SO_4) zuerst von der jetzt positiven Platinplatte das früher niedergeschlagene Kupfer ablöst und dann das Wasser unter Sauerstoffentwickelung zersetzt.

Dem eben angestellten Versuche entspricht ganz die Elektrolyse der verdünnten Schwefelsäure. Auch hier reisst — nach unserer vorläufigen Darstellungsweise — der Strom die Molekel entzwei und führt ihre beiden Teile nach entgegengesetzten Seiten auseinander. An Stelle des Kupfers im Kupfersulfat nimmt der Strom aus der verdünnten Schwefelsäure den — chemisch einem Metall ähnlichen — Wasserstoff mit sich und scheidet ihn an der Kathode gasförmig ab. Gegen die Richtung des Stromes bewegt sich bei der Elektrolyse der verdünnten Schwefelsäure ebenso, wie bei der des Kupfersulfats, das (SO_4) auf die Anode zu. Da diese unlöslich ist, wird in beiden Fällen in gleicher Weise das Wasser zersetzt und

Sauerstoff gasförmig abgeschieden. Schema und Gleichung entsprechen ganz denen von eben:



$$2\,H_2(SO_4) + 2\,H_2O = 2\,H_2SO_4 + 2\,H_2 + O_2.$$

Bei der Elektrolyse der verdünnten Schwefelsäure wird Wasserstoff und Sauerstoff in Freiheit gesetzt und zwar in demselben Verhältnis, in dem beide im Wasser vereinigt sind. Da überdies die verbrauchte Schwefelsäure wiedergewonnen wird, so erhält man bei oberflächlicher Betrachtung den falschen Eindruck, als ob durch die Elektrolyse das Wasser unmittelbar nach der Gleichung:

$$2\,H_2O = 2\,H_2 + O_2$$

zerfiele, als ob es also eine Elektrolyse des Wassers gäbe. Es ist aber unbedingt falsch, den Vorgang so zu nennen, schon deshalb, weil ganz reines Wasser den Strom so gut wie überhaupt nicht leitet und das Ansäuern des Wassers, d. h. wie hier ein Zusatz von Schwefelsäure, für den Vorgang notwendig ist. Es giebt nur eine Elektrolyse der verdünnten Schwefelsäure und keine des Wassers.

Es soll hier vor Ihnen verdünnte Schwefelsäure auf zweierlei Art elektrolysiert werden, zuerst im Voltameter (Fig. 78), übrigens ein Wort, das nicht mit Voltmeter, d. i. Spannungsmesser, zu verwechseln ist. Im Voltameter sind beide Elektroden in einer Flasche vereinigt und beide Gase werden gemeinsam aufgefangen. Sie bilden dann das unter dem Namen Knallgas bekannte explosible Gemisch, das man zur Demonstration durch eine Thonpfeife in Seifenwasser leiten und in

den so erzeugten Seifenblasen zwar mit lautem Knalle, aber gefahrlos abbrennen kann.

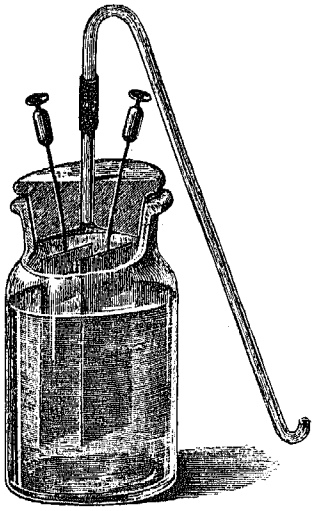


Fig. 78. Knallgasvoltameter.

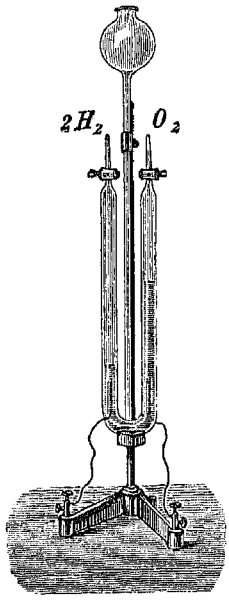


Fig. 79. Hofmannscher Apparat.

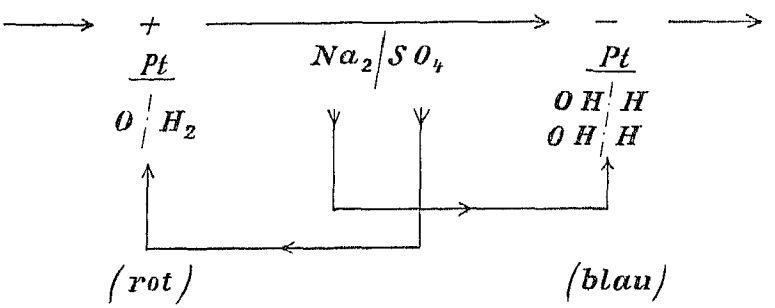
Beide Gase getrennt aufzufangen, dient der Hofmannsche Apparat (Fig. 79), bei dem die beiden Platinelektroden zwar elektrisch durch verdünnte Schwefelsäure verbunden, aber, räumlich getrennt, in den beiden Schenkeln des Apparates angeordnet sind. Nach Stromschluss füllen sich die oben durch Hähne verschlossenen Schenkel schnell mit den Gasen, und zwar der Anodenschenkel mit dem doppelten Gasvolumen, als der Kathodenschenkel. Das in doppelter Raummenge vorhandene Gas wird durch seine Brennbarkeit als Wasserstoff, das andere durch seine Fähigkeit, einen glimmenden Holzspahn zu entzünden, als Sauerstoff erkannt.

In diesem U-förmig gebogenen, dem am Hofmannschen Apparat ähnlichen Rohr soll eine verdünnte wässerige Lösung von schwefelsaurem Natron, Natriumsulfat Na_2SO_4 zwischen Platinblechen elektrolysiert werden. Der Lösung sind einige

Tropfen blauer Lackmustinktur[1]) zugesetzt, welche bekanntlich von Säuren rot, von Basen tief blau gefärbt wird. Der Strom reisst das Natriumsulfat in zwei Teile, von denen der metallische — das Natrium — zur Kathode geführt wird. Dort zersetzt das Natrium secundär, rein chemisch, das Wasser nach der bekannten Gleichung:

$$2\,Na^{2}) + 2\,H_2O = 2\,Na\,.\,OH + H_2.$$

Das entstehende Natriumhydroxyd $Na\,(OH)$ — zu Natronlauge gelöst — färbt die Gegend um die Kathode herum tief blau. Der Inhalt des anderen Schenkels wird dagegen rot gefärbt, weil an der Anode das dem $Na_2\,.\,SO_4$ entstammende und gegen die Stromrichtung bewegte (SO_4) unter Sauerstoffentwicklung Wasser zersetzt und Schwefelsäure bildet. Das Schema des ganzen Vorganges sieht so aus:



Nach dieser vorläufigen Schilderung der Stromleitung durch Flüssigkeiten wenden wir uns dem Faradayschen Gesetze zu, welches — als ein wirkliches Naturgesetz aus dem Wesen der Thatsachen heraus folgend — die Erscheinungen der Elektrolyse souverän beherrscht. Das Faradaysche Gesetz betrachtet die Menge der durch die Elektrolyse beförderten Substanz und zeigt, wovon sie abhängt.

[1]) Hat man nicht besonders gereinigtes Lackmus, so setzt man, um es besser in Lösung zu halten, der Natriumsulfatlösung einige Kubikcentimeter Alkohol hinzu.

[2]) Es ist absichtlich $2\,Na$ statt Na_2 geschrieben worden, weil die Natriumatome an der Kathode unmittelbar einwirken, ohne erst zu Molekeln vereinigt gewesen zu sein.

Zuerst ist hervorzuheben, dass aus verschieden starken Lösungen desselben Salzes der gleiche Strom immer die gleiche Metallmenge abscheidet. Ich will jetzt den Bleibaum nochmals vor Ihren Augen entstehen lassen und bei der Gelegenheit erwähnen, dass man recht bezeichnend die Anode Lösungselektrode und die Kathode Ableitungselektrode nennt. Beide Namen sind leichter zu verstehen und zu behalten, freilich sehr viel schwerfälliger, als die eingeführten griechischen. Hier wird die Lösungselektrode von dem gebogenen Bleidraht gebildet, während die Ableitungselektrode zum Bleibaum wächst. Versuchen wir, aus der Elektrolyse der Bleilösung einen weiteren Teil des Faradayschen Gesetzes abzuleiten, so ist es fast selbstverständlich und durch Wägung der anschiessenden Zweige leicht zu erweisen, dass die ausgeschiedene Bleimenge der Dauer t der Elektrolyse proportional ist. Sie ist ausserdem der im Elektrolyten herrschenden Stromstärke J proportional. Genau ergiebt das ebenfalls die Wägung. Aber schon der Augenschein lehrt es; denn jetzt sehen Sie den hinter die Bleilösung geschalteten (von innen beleuchteten) Strommesser einen grösseren Strom anzeigen und zugleich den Bleibaum schneller wachsen, als vorher.

Wenn ein bestimmter Strom während einer bestimmten Zeit von einer bestimmten Substanz eine bestimmte Menge ausscheidet, so kann für alle Elektrolyte durch Wägung festgestellt werden, wieviel Gramm Metall oder Gas durch ein Ampere während einer Sekunde ausgeschieden wird. Das ist umso leichter, als die Wage ein ausserordentlich genaues Instrument ist. So hat man zum Beispiel festgestellt, dass ein Ampere in der Sekunde aus einer Kupfersulfatlösung 0,328 mg Kupfer oder aus einer Silbernitratlösung 1,118 mg Silber abscheidet. Durch diese Zahlen ist man in den Stand gesetzt, umgekehrt aus der Menge des elektrolytisch abgeschiedenen Silbers oder Kupfers eine unbekannte Stromstärke zu bestimmen. Man braucht nur den (unveränderlichen) Strom — zum Beispiel zehn Minuten lang — durch eine Zersetzungszelle mit Kupfersulfat oder Silbernitrat, ein s. g. Kupfer- oder Silbervoltameter, zu schicken, die (trockne) Platinkathode vor und nach der Elektrolyse zu wägen und deren Dauer mit der Uhr festzustellen. Bei der Proportionalität der Niederschlagsmengen

mit Strom und Zeit kann man dann ausrechnen, wieviel Ampere durch den Stromkreis geflossen sind, und ein zu gleicher Zeit eingeschaltetes Galvanometer auf Ampere eichen und damit zum Strommesser (Amperemeter) machen.

In der That wird das, wie bekannt, ursprünglich auf dem absoluten Maasssystem beruhende Ampere nach dem Reichsgesetz betreffend die elektrischen Maasseinheiten „durch den unveränderten elektrischen Strom dargestellt, welcher bei dem Durchgang durch eine wässrige Lösung von Silbernitrat in einer Sekunde 0,001118 g Silber niederschlägt."

Die Erklärung der Stromstärke als der in der Sekunde durch den Leiterquerschnitt fliessenden Elektricitätsmenge ergab (S. 18) die Gleichung

$$Q = J \cdot t$$

An sie erinnern wir uns jetzt, da wir sehen, dass die Menge eines elektrolytisch abgeschiedenen Metalles nicht durch die Stärke des abscheidenden Stromes allein, sondern gemeinsam mit ihr durch die Zeit seiner Dauer bestimmt wird. Massgebend ist der während einer Zeit — einer Anzahl von Sekunden — andauernde Strom, das heisst das Produkt von Stromstärke und Zeit: die Elektricitätsmenge. Aus einer Silbernitratlösung werden dann 1,118 mg Silber niedergeschlagen, wenn durch sie die Elektricitätsmenge eine Ampèresekunde oder ein Coulomb hindurchgeht. Damit ist weder etwas über die Grösse des elektrolysierenden Stromes, noch über die Zeit seiner Dauer, sondern nur ausgesagt, dass beider Produkt die Einheit der Elektricitätsmenge ergiebt.

Die Proportionalität der durch den Elektrolyten gegangenen Elektricitäts- und der abgeschiedenen Substanzmenge ist nicht auf Metalle beschränkt. Sie erstreckt sich auf alle Ionen, zum Beispiel auch auf die bei der Elektrolyse der verdünnten Schwefelsäure beförderten Wasserstoff- und Sulfat-Ionen und infolge dessen auch auf den sekundär aus dem Verdünnungswasser entbundenen Sauerstoff. Sie alle sind der durch den Elektrolyten beförderten Elektricitätsmenge proportional. So entspricht dem Transport eines Coulomb die Entwicklung von

0,0104 mg Wasserstoff an der Kathode. Je nach dem angewandten Elektrolyten scheidet die Elektricitätsmenge 1 Coulomb 0,0104 mg Wasserstoff oder 1,118 mg Silber oder 0,328 mg Kupfer aus. Der Bleibaum wächst durch jedes Coulomb um 0,071 mg. Im geschmolzenen Kaliumaluminiumchlorid führt jedes Coulomb 0,093 mg Aluminium zur Kathode.

Beantworten Sie mir nun die Frage, wie gross die Elektricitätsmenge sein müsste, welche gerade 1 g Wasserstoff abscheidet. Aus der Gleichung

$$\overbrace{0{,}0104}^{\text{mg Wasserstoff}} : \overbrace{1}^{\text{Coulomb}} = \overbrace{1000}^{\text{mg} = 1\,\text{g Wasserstoff}} : \overbrace{x}^{\text{Coulomb}}$$

ergiebt sich $x = \frac{1000}{0{,}0104} = 96\,500$ Coulomb.[1]) Also 96500 Coulomb sind zur elektrolytischen Abscheidung von 1 g Wasserstoff (übrigens unter Normalbedingungen 11,2 l) erforderlich. Mit welcher Geschwindigkeit diese Elektricitätsmenge fliesst, ob zum Beispiel als 1 Ampere während 96 500 Sekunden (gleich nahezu 27 Stunden), oder wie immer, ist für den Erfolg der Elektrolyse gleichgiltig.

Da 1 Coulomb von

Wasserstoff	Silber	Kupfer	Blei	Aluminium	
0,0104	1,118	0,328	1,071	0,093	mg

abscheidet, scheiden 96 500 Coulomb

1	107,7	31,6	103,2	9,0	g ab.

Sobald Sie diese Zahlen betrachten, erkennen Sie in ihnen die chemischen Äquivalentgewichte der fünf Elemente, das heisst den Quotienten aus Atomgewicht und Wertigkeit:

Wasserstoff	Silber	Kupfer	Blei	Aluminium
$\frac{1}{1}$	$\frac{107{,}7}{1}$	$\frac{63{,}2}{2}$	$\frac{206{,}4}{2}$	$\frac{27{,}0}{3}$
$\frac{H'}{1}$	$\frac{Ag'}{1}$	$\frac{Cu''}{2}$	$\frac{Pb''}{2}$	$\frac{Al'''}{3}$

[1]) Wegen der benutzten abgerundeten Zahlen stimmt die Rechnung, ebenso wie die folgenden, nur ungefähr.

Die Elektricitätsmenge 96 500 Coulomb scheidet von den genannten Elementen (und von allen anderen) gerade ein Grammäquivalent ab. Allgemeiner ausgedrückt lautet dieser, der zweite Teil des Faradayschen Gesetzes: Aus allen Elektrolyten scheidet die gleiche Elektricitätsmenge chemisch äquivalente Substanzmengen ab.

Die Anzahl Milligramme eines Elementes, welche durch die Einheit der Elektricitätsmenge abgeschieden werden, heissen sein elektrochemisches Äquivalent. Die angeführten Beispiele ergaben die Beziehung:

$$\text{Elektrochemisches Äquivalent} = \frac{\text{Grammäquivalent}}{96\,500}, \quad \text{worin}$$

$$\text{Grammäquivalent} = \frac{\text{Grammatom}}{\text{Wertigkeit}}.$$

Jedes Grammäquivalent wird von der Elektricitätsmenge 96 500 durch den Elektrolyten getrieben, oder jede 96 500 Coulomb brauchen für ihre Beförderung durch einen Elektrolyten 1 Grammäquivalent einer Substanz. Die Elektrolyse besteht in einem gemeinsamen Transport von chemischer Substanz und von Elektricitätsmengen. Mit jedem einwertigen Grammatom durchwandern 96 500 Coulomb den Elektrolyten, mit jedem zweiwertigen doppelt, mit jedem dreiwertigen dreimal so viel. Wenn man sich die Elektricität als Stoff vorzustellen Lust hat, wobei an das früher (S. 29) darüber gesagte erinnert sei, so mag man sie sich für die Elektrolyse ebenso wie den Stoff aus Atomen bestehend denken. Jedes den Elektrolyten durchwandernde einwertige Atom ist dann mit einem solchen Elektricitätsatom oder Elektron verknüpft, — elektrostatisch gesprochen — geladen. Das stoffliche Atom trägt das Elektricitätsatom gleichsam auf seinem Rücken durch die Flüssigkeit. Die Elektricität fliesst durch den Elektrolyten nicht, wie in Leitern erster Ordnung angenommen wird, in ununterbrochenem Strome, sondern wird von den Ionen, wie von Lasttieren, in einzeln abgemessenen, gleichen Mengen durch die Flüssigkeitsschicht getragen. Will man umgekehrt die Elektronen als das Bewegende ansehen, so zieht jedes

Elektron ein Atom mit sich, ohne welches es aber nicht im Stande ist, den Elektrolyten zu durchsetzen. Man wird an einen Ruderer erinnert, der sein Boot vorwärts treibt, aber doch eben dieses von ihm getriebene Boot nöthig hat, um über das Wasser zu setzen. Die Arbeit, welche die Ionen zu ihrer Vorwärtsbewegung brauchen, wird — im Gegensatz zum geruderten Boot — von aussen zugeführt. Sie dient den Ionen dazu, den Widerstand, dass heisst die Reibung an der Umgebung zu überwinden, und findet sich als Joulesche Wärme wieder. — Wüsste man genau, wieviel wirkliche Atome ein Grammatom irgend eines Elementes enthält, so würde die Elektricitätsmenge von 96500 Coulomb, durch diese Zahl dividiert, die Grösse eines Elektrons in Coulomb angeben. Aus dieser Darstellung erkennen Sie im Faradayschen Gesetz den klaren Ausdruck der gemeinschaftlichen elektrolytischen Bewegung von Substanz und Elektricität.

Darf ich Sie bitten, der Theorie noch einen Schritt weiter zu folgen: Zahlreiche Gründe zwingen zu der Annahme, dass nicht erst der elektrische Strom die Molekeln eines gelösten Elektrolyten auseinander spalte, sondern dass sie schon durch den Vorgang der Lösung und Verdünnung gespalten, mit fremdem Wort dissociiert seien, zwar nicht alle Molekeln, aber doch ein erheblicher Teil, welcher sich mit zunehmender Verdünnung der Lösung einem Grenzwerte, eben der Spaltung aller nähert. Die unwiderleglichen Gründe für diese Anschauung liegen in den Gesetzen der physikalischen Chemie und dem Gegenstande dieser Vorlesungen fern. Aber, so gut wie Thatsache ist, dass — um ein Beispiel zu wählen — in einer verdünnten wässrigen Kochsalzlösung das Chlornatrium zu erheblichem Teile nicht in geschlossenen Molekeln *Na Cl* besteht, sondern in Natrium und Chlor zerrissen, gespalten, dissociiert ist. Je grösser der Grad der Verdünnung, umso grösser auch der der Spaltung. Weiter nimmt die Theorie an, dass durch die Spaltung der nach aussen unelektrischen Molekel Chlornatrium ein positiv geladenes Natrium — und ein negativ geladenes Chloratom frei werden. Diese elektrisch geladenen Atome nennt sie Ionen. Bei der Verdünnung würde die Schwefelsäure entsprechend in negativ geladene Sulfat- und positiv geladene Wasserstoff-Ionen zerfallen. Diese Dissociation der Elektrolyte in

elektrisch geladene Ionen besteht aber, sagt die Theorie, in der Lösung, ohne dass ihr von aussen Elektricität zugeführt worden ist.

Von der Elektrolyse macht man sich dann folgendes Bild: In der Verbindung der in die Lösung gesenkten Elektroden mit den Klemmen einer Stromquelle kann man ein positives Laden der Anode, ein negatives der Kathode sehen. Nach dem Coulombschen Gesetz (S. 88) zieht die negativ geladenen Kathode — bei der Elektrolyse der verdünnten Schwefelsäure — die positiv geladenen Wasserstoff-Ionen der Umgebung an. Sie nimmt ihnen bei der Berührung ihre positive Ladung und macht sie hiermit zu gewöhnlichen Atomen und Molekeln, welche letzteren als Wasserstoffgas entweichen. Die positiv geladene Anode verhält sich entsprechend. Die Ladung der Elektroden wird bei der Neutralisierung der entgegengesetzten Elektricität der angezogenen Ionen vernichtet. Die Elektroden würden deshalb sofort wieder unelektrisch werden, wenn nicht die Stromquelle unausgesetzt neue Coulomb zu ihnen hinüberdrückte. Als solche unausgesetzte Zufuhr neuer Ladungen zu den Elektroden sieht man jetzt den elektrischen Strom in den Zuleitungen zu dem Elektrolyten an, während er in diesem selbst in der Wanderung der schon an sich geladenen Ionen bestehen soll, ohne dass die Elektricität der äusseren Stromquelle überhaupt in den Elektrolyten hineingelangt. Hier sind wir nun wieder an einer der Grenzen angelangt, die uns der Zweck dieser Vorlesungen vorschreibt. Es geht nicht an, die Theorie der Elektrolyse und Elektrolyte weiter zu verfolgen, und es bleibt nur übrig, Ihnen zu etwaiger weiterer Belehrung zunächst Lüpkes Grundzüge der Elektrochemie zu empfehlen.

8. Vorlesung.

Chemische Stromerzeugung.

Erster Teil.

Zink und Kupfer in verdünnter Schwefelsäure. Galvanische Elemente. Der Strom in der Flüssigkeit. Elektrolyt-Galvanometer. — Anwendung des Ohmschen Gesetzes auf galvanische Elemente. Innerer Widerstand und Spannungsabfall. Elektromotorische Kraft und Klemmenspannung. Diagramm. — Spannungssprünge. Stromrichtung und Klemmenbezeichnung. Positiver und negativer Strom. — Elektrolyse im Element. Auflösung des Zinks. Die aufgelöste Zinkmenge der gelieferten Elektricitätsmenge proportional. Amalgamiertes Zink. — Inconstanz. Polarisation. Ihre Ursache der elektrolytisch abgeschiedene Wasserstoff.

Die chemische Stromwirkung ist im Wesentlichen nur zu dem Zweck besprochen worden, um dem Verständnis der chemischen Stromerzeugung und -speicherung als Grundlage zu dienen. Von Herstellungsweisen der Elektricität kennen Sie bis jetzt nur die durch Reibung und Influenz. Die dritte Methode, die chemische, verdient schon deshalb unsere grösste Aufmerksamkeit, weil nach ihr die meisten Schwachstromanlagen mit Strom versorgt werden.

Lassen Sie mich Ihnen eine chemische Stromerzeugung durch den Versuch zeigen. In einer Zersetzungszelle befindet sich verdünnte Schwefelsäure und in ihr eine Kupfer- und eine Zinkplatte. Sie tragen oben Klemmen und sind über ein aperiodisches [1]) Galvanoskop und einen Ausschalter mit einander verbunden.

Das Umlegen des Ausschalterhebels veranlasst einen heftigen Ausschlag des Galvanoskops und zwar nach derjenigen Seite, welche einen Strom vom Kupfer zum Zink anzeigt. Wir haben eine neue Art einer Stromquelle vor uns, und zwar tritt der Strom zum Kupfer aus ihr heraus und zum Zink in sie

[1]) Siehe Seite 115.

hinein. Das Kupfer trägt ihre positive Klemme, das Zink ihre negative. Kupfer, Zink, verdünnte Schwefelsäure und Glasgefäss zusammen heissen nach dem Manne, dem der zuckende Froschschenkel den ersten elektrischen Strom anzeigte, ein galvanisches Element oder eine galvanische Zelle. Das Eigentümliche dieses einfachsten galvanischen Elementes ist die Vereinigung eines Leiters zweiter Ordnung, verdünnte

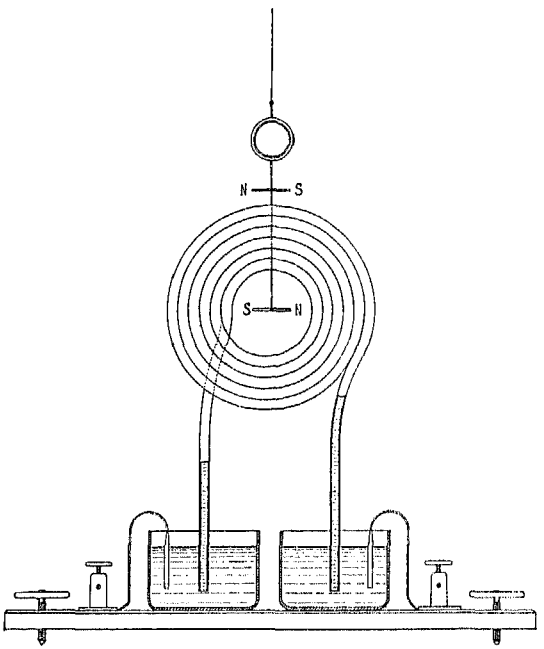


Fig. 80. Elektrolytisches Galvanometer.

Schwefelsäure, mit zwei Leitern erster Ordnung, Kupfer und Zink. Diese müssen beide chemisch verschieden sein. Denn sobald wie jetzt, zwei Zink- oder, wie jetzt, zwei Kupferplatten in die Schwefelsäure tauchen, entsteht kein Strom, wie Ihnen die Nullstellung der Galvanoskopnadel anzeigt.

Nun haben Sie früher (S. 10) gelernt, dass es Ströme nur in Stromkreisen giebt. Wenn auch hier ein solcher Stromkreis vorhanden sein soll, muss zwischen Kupfer und Zink nicht nur ausserhalb der Zelle, sondern auch in ihrem Innern durch die

verdünnte Schwefelsäure Strom fliessen. Der äussere Strom ist, wie das Galvanoskop anzeigt, vom Kupfer zum Zink gerichtet, der innere Strom muss umgekehrt, mithin vom Zink zum Kupfer gehen. Dass dies thatsächlich der Fall ist, möchte ich Ihnen mit einem Apparate zeigen, den ich zu diesem Zweck gebaut habe, und den man elektrolytisches Galvanometer[1]) (Fig. 80) nennen kann. Er beruht auf der Ihnen bekannten Fähigkeit (S. 121) auch flüssiger Stromleiter, die Magnetnadel abzulenken. Das Elektrolyt-Galvanometer enthält ein Magnetstäbchen[2]) an einem Coconfaden leicht beweglich aufgehängt. Der Faden trägt einen Spiegel, der die Ablenkungen des Magneten in der Ihnen bekannten Weise auf einer Skala sichtbar macht. Das Eigenartige an dem Galvanometer sind seine Spulen. Sie sind nicht aus isoliertem Kupferdraht, sondern aus dünnem Glasrohr gewunden und mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt. Ihre unteren Enden tauchen in kleine Glasnäpfe, welche ebenfalls verdünnte Schwefelsäure enthalten und elektrolytisch die Klemmen eines Galvanometers nachahmen. Ausserdem trägt das Grundbrett des Apparates noch Messingklemmen, welche durch Kupferdrähte mit den Endnäpfen und so mit den Spulen in elektrischer Verbindung stehen. Schliesst man zuerst das einfache galvanische Element durch die Messingklemmen des Elektrolyt-Galvanometers, so beobachten Sie eine Ablenkung des Lichtzeigers nach der Seite, welche einem Stromeintritt zu der — von Ihnen aus — rechten Glasschale, d. h. einem Strom vom Kupfer zum Zink entspricht. Darauf wird das Innere des galvanischen Elementes über Glasröhren und Gummischläuche elektrolytisch an die Endnäpfe des Galvanometers gelegt (Fig. 81). Sobald das Element aussen geschlossen wird, durchfliesst eine elektrolytische Abzweigung des Stromes im Innern des Elementes das Galvanometer. Jetzt findet die entgegengesetzte Ablenkung des Lichtzeigers statt. Der elektrolytische Zweigstrom tritt also zum linken Endnapf in das Instrument, das heisst der Strom im Innern des Elementes fliesst vom Zink zum Kupfer, was zu beweisen war.

[1]) Vgl. Zeitschrift für Elektrochemie 1903 S. 111.

[2]) Warum (wie in Fig. 80) statt eines zwei Magnete vorhanden sind, werden Sie in der Vorlesung über Telegraphische Messungen bei der genaueren Beschreibung der Spiegelgalvanometer erfahren.

Die Beziehung zwischen den treibenden Volt und den fliessenden Ampere ist auch bei den galvanischen Elementen durch das Ohmsche Gesetz geregelt. Wie sie gesehen haben,

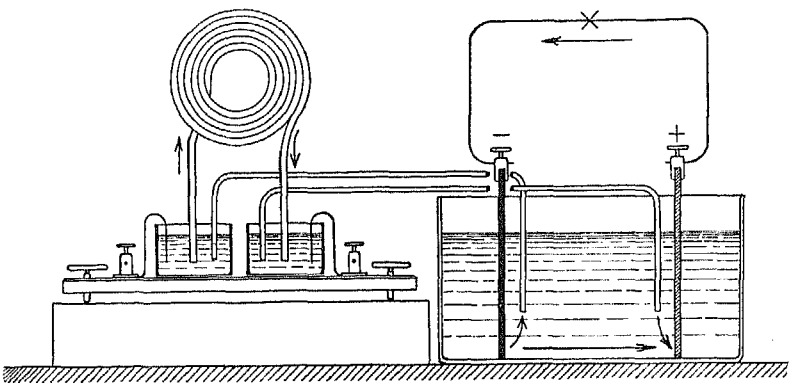


Fig. 81. Spulen des Elektrolytischen Galvanometers im Nebenschluss zu dem Innern eines einfachen Elementes.

durchfliesst der vom Element gelieferte Strom nicht nur den äusseren Leitungsdraht, sondern auch die Elektroden und den Elektrolyten. Es gilt deshalb als Widerstand W der des gesamten Stromkreises, das heisst die Summe des nützlichen Widerstandes w_l der äusseren, metallischen Leitung, etwa eines Telegraphendrahtes, und des nicht zu umgehenden Widerstandes w_i im Innern des Elementes:

$$W = w_l + w_i \qquad \text{und}$$

$$J = \frac{E}{w_l + w_i}$$

Der innere Widerstand des Elementes setzt sich aus dem der Elektroden und dem des Elektrolyten zusammen. Der der Elektroden ist natürlich nur gering, nicht so der des Elektrolyten. Diesen elektrolytischen Widerstand muss der Strom überwinden, ehe er aus dem Innern des Elementes an die Klemmen gelangt. Hierbei, auf diesem elektrolytischen Wege findet ein Spannungs-

abfall, nach Ohm gleich Jw_i statt. Um diesen Betrag Jw_i ist der an den Klemmen des Elementes herrschende Spannungsunterschied, die Klemmenspannung E_k kleiner, als die im Innern des Elementes wirksame Elektromorische Kraft E.

$$\underbrace{E}_{\text{Elektromotorische Kraft}} = \underbrace{E_k}_{\text{Klemmenspannung}} + \underbrace{Jw_i}_{\text{Innerer Spannungsabfall}}$$

J gleich Null macht E_k gleich E. Also, nur wenn kein Strom fliesst, wie man sagt, bei offenen Klemmen, erreicht die Klemmenspannung die voile Grösse der Elektromotorischen Kraft. Für die arbeitende Zelle aber wird sie umso kleiner, je mehr Strom entnommen wird. Die Klemmenspannung, nicht die Elektromotorische Kraft, ist der nach aussen wirksame, der nützliche Spannungsunterschied. Sie allein kommt für die Grösse des durch den äusseren Widerstand, etwa eine kilometerlange Telegraphenleitung, fliessenden Stromes in Betracht:

$$J = \frac{E_k}{w_i}$$

Ausser von der Grösse des fliessenden Stromes hängt der Spannungsabfall im Element natürlich von der des inneren Widerstandes ab. Besitzt deshalb ein Element einen beträchtlichen inneren Widerstand, und wird eine bestimmte nicht zu unterschreitende Klemmenspannung verlangt, so darf der Zelle nur ein Strom bis zu einer bestimmten, nicht zu überschreitenden Grösse entnommen werden. Sie werden später die Bedeutung dieses Gesetzes für den Schwachstrombetrieb einsehen. Die insgesamt von der Zelle umgesetzte Leistung ist natürlich gleich $J^2 W$, die in der Zelle verlorene $J^2 w_i$.

Die Beziehung zwischen Elektromotorischer Kraft, Klemmenspannung und beiden Teilen des gesamten Widerstandes wird durch graphische Darstellung (Fig. 82) besonders anschaulich. Der Widerstand W des gesamten Stromkreises wird horizontal gleich OB, als Summe von $w_i = OA$ und $w_i = AB$ aufgetragen.

Die Verticale OC — der deutlichen Zeichnung wegen in zehnfachem Maasstabe — stellt die Elektromotorische Kraft E dar. Dann giebt die Hypothenuse CB des rechtwinkligen Dreiecks BOC den Verlauf der Spannung im ganzen Stromkreise wieder. Das

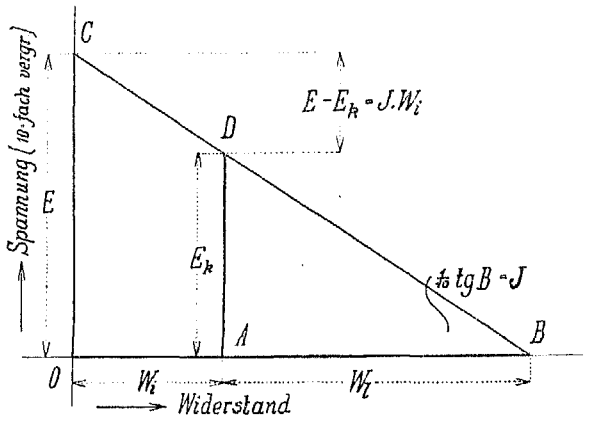


Fig. 82. Ohmsches Gesetz auf galvanische Elemente angewandt.

in A bis zur Hypothenuse errichtete Lot AD stellt die Klemmenspannung E_k bei dem durch w_i vorgeschriebenen der Zelle entfliessenden Strome J dar. Dieser Strom findet sich als Neigung der Linie BC — genauer als Tangente des Winkels B für ein in richtigem Maasstab gezeichnetes OC, demnach hier $^1/_{10}$ tg B. Je kleiner bei derselben Elektromotorischen Kraft und demselben inneren Widerstande w_i der äussere Widerstand w_t, umso stärker ist BC gegen die Horizontale geneigt, umso grösser $^1/_{10}$ tg $B = J$. Umso grösser ist auch der Spannungsabfall $J \cdot w_i$ und umso kleiner $AD = E_k$, die Klemmenspannung.

Nach dieser mehr äusserlichen Betrachtung erinnern wir uns, dass als erste Ursache eines jeden Stromes, mithin auch des im galvanischen Elemente erzeugten, ein Spannungsunterschied gilt, welcher sich durch den Strom fortgesetzt auszugleichen sucht und deshalb ebenso fortgesetzt aufrecht erhalten werden muss. Dieser Spannungsunterschied tritt, so sahen wir, nach aussen als einer der Klemmen, als Klemmenspannung, in die Erscheinung, während er selbst, die Elektromotorische Kraft,

welche den Stromfluss in Bewegung setzt und erhält, im Innern der Stromquelle liegt. Bei einer galvanischen Zelle entsteht die Elektromotorische Kraft im Wesentlichen an den beiden Berührungsflächen der beiden Leiter erster und dem zweiter Ordnung. Sie setzt sich folglich aus zwei Teilen zusammen. Für das betrachtete Element —› Zink/verdünnte Schwefelsäure/Kupfer —› ist der Sitz der Elektromotorischen Kraft erstens die Berührungsfläche des Zinks und der verdünnten Schwefelsäure und zweitens die der verdünnten Schwefelsäure und des Kupfers. An beiden Flächen tritt unvermittelt, plötzlich, sprunghaft ein Spannungsunterschied, ein Spannungssprung, zwischen Elektrode und Elektrolyt auf, und zwar wird das Zink gegen die verdünnte Schwefelsäure positiv, das Kupfer negativ. Die Grösse des Spannungssprunges ist an beiden Flächen — gewissermassen zufällig — fast gleich. Vom Kupfer zur Säure besteht ein Spannungssprung von etwa + 0,5 Volt, von der Säure zum Zink ebenfalls von etwa + 0,5 Volt, so dass der Spannungsunterschied vom Zink zum Kupfer im Ganzen 1 Volt ausmacht. In der graphischen Darstellung (Fig. 83a) ist die der Schwefelsäure der Nulllinie einzuschreiben, die Spannung des eingetauchten Zinks nach oben, positiv, zu zeichnen, die des eingetauchten Kupfers nach unten, negativ. Man sieht deutlich, wie sich beide Spannungssprünge von je 0,5 Volt zur Elektromotorischen Kraft der Zelle von 1 Volt addieren. Es ist auch jetzt klar, warum zwei gleiche Leiter erster Ordnung und ein Elektrolyt kein wirksames Element geben können. Zwar treten auch hier zwei Spannungssprünge auf. Aber sie nützen nichts, weil sie beide nach derselben Seite der Nulllinie, beide nach oben oder beide nach unten liegen. Die Spannung beider Elektroden wird um den gleichen Betrag erhöht oder erniedrigt. Ihr Spannungsunterschied bleibt Null, ob sie in den Elektrolyten tauchen oder nicht.

Lassen Sie uns eine Skizze der Zelle (Fig. 83b) entwerfen, und zwar so, dass die beiden in Betracht kommenden Berührungsflächen zwischen Metallplatten und Elektrolyt sich senkrecht unter der Darstellung (Fig. 83a auf S. 143) der an ihnen herrschenden Spannungssprünge befinden. Links sehen Sie die (stark gezeichnete) Zinkplatte mit der Spannung + 0,5 Volt an ihrer Berührungsfläche mit dem Elektrolyten, diesen selbst das Glas

erfüllend mit 0 Volt und rechts die Kupferplatte mit — 0,5 Volt. Nun lehrt die Theorie, dass die Spannung der Zinkelektrode in den Elektrolyten hineindrückt und die Spannung der Kupferelektrode gleichsam an dem Elektrolyten saugt. Bei geschlossenen Klemmen fliesst deshalb ein Strom, von dem man sagen kann, dass er vom Zink in den Elektrolyten hineingedrückt und aus diesem zum Kupfer herausgesaugt wird. Er steigt dann im Kupferblech in die Höhe, gelangt durch die Kupferklemme in den äusseren Widerstand w_l, aus ihm durch die Zinkklemme in das Zinkblech. Der Kreis ist geschlossen. Das Kupferblech trägt die Klemme des Stromaustritts, die positive, das Zinkblech die des Stromeintritts, die negative.

Diese Klemmenbezeichnung scheint mit dem vorhin gesagtem im Widerspruche zu stehen. Das Zink soll die negative Klemme und doch in der Schwefelsäure die positive Spannung tragen, und ebenso, nur umgekehrt, das Kupfer? Der Widerspruch, der hierin zu liegen scheint, löst sich, wenn man sich der Lehre von den zwei Strömen (S. 113) erinnert, die sich im Leiter an einander vorbeischieben sollen, ohne sich zu stören. Die positive Spannung des eingetauchten Zinks schickt einen positiven Strom durch den Elektrolyten und den äusseren Stromkreis. Dieser Strom J_+, von der halben Elektromotorischen Kraft der Zelle durch die Widerstände $w_i + w_l$ getrieben, hat den halben Wert des Gesamtstromes

$$J_+ = \frac{\frac{E}{2}}{w_i + w_l} = \frac{J}{2}.$$

Ebenso geht vom eingetauchten Kupfer aus ein negativer Strom

$$J_- = \frac{\frac{E}{2}}{w_i + w_l} = \frac{J}{2}.$$

Beide Ströme, so wird angenommen, fliessen an einander vorbei. Auf dem Wege durch den Elektrolyten erleidet die positive Spannung des eingetauchten Zinks einen Spannungsabfall gleich

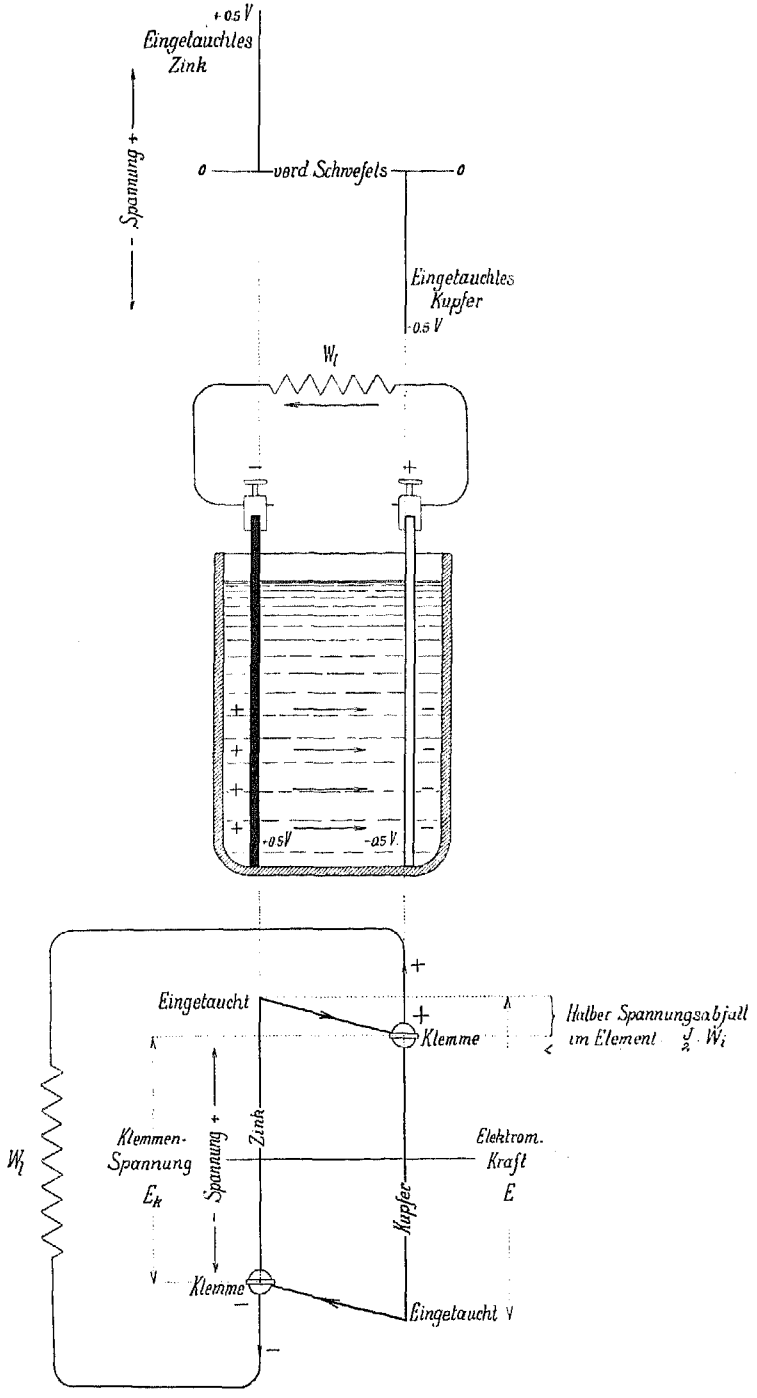


Fig. 83 a, b, c. Spannungssprünge, Stromrichtungen, Klemmenspannungen eines einfachen galvanischen Elementes.

$\frac{J}{2} w_i$ und kommt um diesen Wert kleiner an der Kupferklemme an. Von Zink wegen hat also die Kupferklemme die positive Spannung $+\left(\frac{E}{2} - \frac{J}{2} w_i\right) = + \frac{E_k}{2}$. Ganz entsprechend bewirkt die negative Spannung des eingetauchten Kupfers, dass die Zinkklemme die negative Spannung $-\left(\frac{E}{2} - \frac{J}{2} w_i\right) = - \frac{E_k}{2}$ besitzt. Die positive Spannung des eingetauchten Zinks teilt sich nicht etwa durch das Metallblech der Zinkklemme mit, sondern der vorhin erwähnte in den Elektrolyten hinein gerichtete Druck befördert sie durch den Elektrolyten zur Kupferklemme. Die negative Spannung des Kupfers pflanzt sich entsprechend durch die verdünnte Schwefelsäure zur Zinkklemme fort und wird erst dort der Aussenwelt bemerkbar. Der im Elektrolyten eintretende Spannungsabfall ist für jede von beiden Spannungen $\frac{J}{2} w_i$. Um diesen Betrag ist die Spannung der Kupferklemme kleiner, als die der eingetauchten Zinkplatte und die der Zinkklemme, als die der eingetauchten Kupferplatte. Die dritte Skizze (Fig. 83c) soll diese Verhältnisse wiedergeben. Die beiden Vertikalen bezeichnen die Elektroden, die linke die Zink-, die rechte die Kupferplatte. Das positive Ende der linken Vertikalen stellt die Spannung des eingetauchten Zinks vor. Auf ihrem Wege durch den Elektrolyten zur Kupferklemme rechts fällt diese positive Spannung um $\frac{J}{2} w_i$. Das Gleiche thut die negative Spannung des eingetauchten Kupfers rechts unten auf ihrem Wege zur Zinkklemme links unten. Zur Kupferklemme rechts oben tritt der positive Strom $+ \frac{J}{2}$ in den äusseren Widerstand und kehrt über die Zinkklemme links unten durch das Zinkblech zum positiven Zinkende zurück. Entgegengesetzt verläuft der negative Strom $- \frac{J}{2}$. Sein Weg ist durch die Reihenfolge: eingetauchtes Kupferende, Elektrolyt, Zinkklemme, äusserer Widerstand, Kupferklemme, Kupferblech bezeichnet.

Diese Betrachtungsweise ist verwickelt und soll nur verständlich machen, wie die Elektroden am eingetauchten und am freien Ende Spannungen verschiedenen Vorzeichens tragen. Mit der früher abgeleiteten Gleichung

$$E = E_k + Jw_i$$

steht sie natürlich nicht im Widerspruch. Denn diese fasst nur die beiden Spannungssprünge $\frac{E}{2}$ zu einer Elektromotorischen Kraft E und die beiden Spannungsabfälle $\frac{J}{2}\ w_i$ zu einem einzigen Jw_i zusammen. Für praktische Erörterungen werden wir uns der früheren einheitlichen Darstellungsweise bedienen.

Versuch und Überlegung zeigten, dass im galvanischen Element ein Elektrolyt von Strom durchflossen wird. Wir sind deshalb verpflichtet, uns des in der vorigen Vorlesung über die Stromleitung in Elektrolyten gelernten zu erinnern. Denn in der That ist die Wirkung des Stromes auf den Elektrolyten der Zelle, in der er entsteht, gerade so, als ob er ausserhalb erzeugt und in sie hineingeleitet würde. Die verdünnte Schwefelsäure wird deshalb, wie üblich, elektrolysiert. Zum Zink tritt der Strom in die Flüssigkeit hinein, zum Kupfer aus ihr heraus. Sulfat-Ionen wandern zum Zink, Wasserstoff-Ionen zum Kupfer. Das SO_4 löst Zink, die Lösungselektrode, auf, und die Flüssigkeit reichert sich allmählich mit Zink-Ionen an. Die Anzahl wandernder Zink-Ionen, mithin die aufgelöste Zinkmenge ist der fliessenden, das heisst der im Elemente erzeugten Elektricitätsmenge, in der Sekunde also dem gelieferten Strome proportional.

Eine Bemerkung über das in vielen galvanischen Elementen verwendete Zink ist hier einzufügen. Es sieht nicht bläulich weiss aus, wie sonst Zink, sondern, wenigstens wenn es neu ist, spiegelblank. Es ist verquickt, amalgamiert, das heisst mit einer Quecksilberschicht überzogen, welche verhindern soll, dass es sich in der Schwefelsäure auch rein chemisch, das heisst in grösserer Menge auflöst, als dem gelieferten Strome entspricht. Zwar löst sich ganz reines Zink in Schwefelsäure nicht oder

so gut, wie nicht, auf. Aber das Zink des Handels pflegt ein wenig verunreinigt zu sein, so dass an zahlreichen Stellen der Oberfläche kleine kurz geschlossene Elemente —➤ Zink/verdünnte Schwefelsäure/Fremdkörper —➤ entstehen. All diese kleinen Elemente bewirken in ihrer Gesamtheit eine heftige Auflösung des Zinks. Diese beiden Glascylinder (Fig. 84) enthalten von

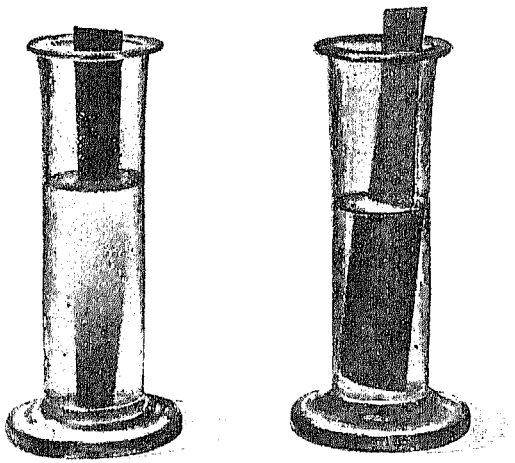


Fig. 84. Gewöhnliches und amalgiertes Zink in verdünnter Schwefelsäure.

derselben Schwefelsäure. In den von Ihnen aus rechten Cylinder wird ein verquickter, amalgamierter Zinkblechstreifen, in den linken ein gewöhnlicher, nicht amalgamierter getaucht. Sie sehen die heftige Wasserstoffentwicklung, welche die Auflösung des nicht verquickten, nicht ganz reinen Zinks begleitet. Der ganze obere Teil der Flüssigkeit ist von Wasserstoffblasen weiss, und Flüssigkeitstropfen sind an die Glaswand heraufgespritzt. In dem rechten Cylinder steigt nur hin und wieder eine einsame Glasblase auf, die der Unvollkommenheit der Amalgamierung ihre Entstehung verdankt. Die Quecksilberschicht auf dem Zink verhindert den Durchtritt der Zink-Ionen in die Flüssigkeit nicht. Sie wird selbst nicht gelöst und lässt merkwürdiger Weise die elektrische Wirkungsweise des Zinks vollständig unverändert.

Die Anwendnung des Ohmschen Gesetzes auf die galvanische Zelle haben wir zwar an dem Zink/verdünnte Schwefelsäure/Kupfer-Element abgeleitet. Sie gelten für dieses aber nur

sofort nach dem Schliessen und dann nur für eine sehr kleine Zeitdauer. Dem Element fehlt die Haupteigenschaft aller Arbeitsquellen: die Ausdauer, die Constanz. Es ist auch bekanntlich nicht im praktischen Gebrauch. Der Gehilfe hat unser Exemplar inzwischen wieder in den Zustand versetzt, den es vor der Benutzung hatte. Es wird abermals über das aperiodische Galvanoskop geschlossen. Sie sehen den heftigen Ausschlag. Aber im Augenblicke selbst, binnen weniger als etwa einer Sekunde, geht dieser Ausschlag weit unter die Hälfte seines ursprünglichen Werthes zurück. Wie kann die Elektricitätsquelle fast augenblicklich versiegen, obgleich noch genug aufzulösendes Zink vorhanden und auch an der Schwefelsäure so gut wie nichts geändert ist?

Bei der Betrachtung der Elektrolyse im Element haben wir uns nur um den Verbleib der Zink-Ionen gekümmert und die zum Kupfer wandernden Wasserstoff-Ionen nicht beachtet. Was wird aus ihnen? Sie geben am Kupfer ihre Ladung ab, werden zu Atomen und Molekeln und bedecken als Gasblasen das Kupferblech. Diese Wasserstoffablagerung ist es, was der Zelle die Constanz raubt. Man braucht die Blasen nur mit einer Federfahne vom Kupferblech abzuputzen, um für einen Augenblick beinahe den alten Ausschlag hervorzurufen. Man möchte zu der Annahme neigen, der Wasserstoff erhöhe durch seine Gasblasen den inneren Widerstand der Zelle, und so werde bei unveränderter Elektromotorischer Kraft nur ein kleiner Strom erzeugt. Diese Annahme ist aber ein Irrtum. Denn ein einfacher Versuch zeigt, dass der innere Widerstand durch die Gasblasen nicht, wenigstens nicht merklich erhöht wird. Dann muss die Elektromotorische Kraft der Zelle gesunken sein. Weshalb? Wasserstoff, so wurde schon einmal erwähnt, verhält sich einem Metall ähnlich. Er wird auch von Metallen absorbiert, gelöst, — wie man sagt — occludiert. Das Produkt einer solchen Occlusion erinnert an eine Metalllegierung, und seine Eigenschaften sind von denen des Metalles allein verschieden. In unserem Falle entsteht eine Art Legierung, die man Kupfer-Wasserstoff nennen könnte. Der Spannungssprung Kupfer-Wasserstoff/verdünnte Schwefelsäure ist nun durchaus nicht derselbe wie der Kupfer/verdünnte Schwefelsäure. Er ist geradezu umgekehrt, so dass die Elektrode gegen den Elektro-

lyten nicht negativ, sondern positiv wird. Der eine der beiden Spannungssprünge, deren Summe die Elektromotorische Kraft der Zelle ausmacht, verschwindet also nicht nur, sondern an seine Stelle tritt sogar ein entgegengesetzt gerichteter. Was Wunder also, dass der Zelle nur eine kleine Elektromotorische Kraft übrigbleibt, sobald der eben beginnende Strom Wasserstoffblasen auf der Kupferplatte abgelagert hat? Dieser dem ursprünglichen entgegengesetzt gerichteten Spannungssprung, welcher durch die Thätigkeit der Zelle selbst entsteht, ist die berühmte Elektromotorische Kraft der Polarisation, die Elektromotorische Gegenkraft oder kürzer die Gegenspannung. In der zehnten Vorlesung werden Sie die Polarisation im Versuche sehen und ihre nützliche Verwendung kennen lernen. Heute ist sie uns ein Übel, da sie die galvanischen Zellen inconstant macht. Wollen wir deshalb Dauerelemente bauen, das heisst solche, welche über einen langen Zeitraum fort ohne wesentliche Schwächung wirksam sind, so muss ihr elektrolytischer Wasserstoff unschädlich gemacht, das Element muss depolarisiert werden.

9. Vorlesung.

Chemische Stromerzeugung.

Zweiter Teil.

Methoden der Depolarisation. — Die chemische Methode. Chromsäurezelle. Verbrennung des schädlichen Wasserstoffs. — Anwendung zweier Elektrolyte. Ihre Trennung durch verschiedenes spezifisches Gewicht. — Element von Callaud. — Telegraphenelement. Bau. Elektrochemischer Vorgang. Bedienung. Der chemische Arbeitsvorrat des Zinks, die Arbeitsquelle des Elementes. Berechnung der Elektromotorischen Kraft. Wirklicher Materialverbrauch. — Element von Meidinger. — Telephonelement. Bau und chemischer Vorgang. Depolarisation durch Mangansuperoxyd. — Trockenelemente. Bau. Hellesenzelle. — Die Elektromotorische Kraft von der Grösse der Zelle unabhängig. — Schaltung der Elemente zu Batterien. Parallel- und Hintereinanderschaltung und ihre Gesetze. Diagramm.

In der heutigen Vorlesung habe ich Ihnen zunächst über die Methoden der Depolarisation und damit über Bau und Wirkungsweise der praktisch gebräuchhchen galvanischen Elemente zu berichten. Mechanisch, mit der Federfahne, lässt sich im Betriebe natürlich nicht depolarisieren. Von den praktischen Verfahren liegt das chemische am nächsten, wie es in der Chromsäurezelle angewandt wird. In ihr dient Zink als Lösungs-, Kohle als Ableitungselektrode und als Elektrolyt ein Gemisch der Lösung von Kaliumbichromat $K_2 Cr_2 O_7$ und verdünnter Schwefelsäure. In diesem Gemisch wird das Vorhandensein freier Chromsäure $H_2 Cr O_4$ — als Elektrolyt in Wasserstoff- und Chromat-Jonen ($Cr O_4$) zerfallen — angenommen. Die Chromsäure ist ein kräftiges Oxydationsmittel. Der in ihr nur locker gebundene Sauerstoff packt in der Chromsäurezelle den durch die Elektrolyse frei werdenden Wasserstoff und verbrennt ihn zu Wasser. Die Verbrennung ist hier im chemischen Sinne, das heisst allgemein als Vereinigung mit Sauerstoff aufzufassen, wenn sie sich auch nicht zu der Heftigkeit einer mit Flamme stattfindenden gewöhnlichen Verbrennung steigert. Bei dem Vorgang geht die gelbe Farbe der Chromsäure in die grüne des Cromsulfats über. Die Verbrennung des sonst polarisieren-

den Wasserstoffs ist der eigentliche Zweck der Verwendung von Chromsäure. Daneben fällt als angenehmer Gewinn ab, dass die durch den Verbrennungsvorgang frei werdende Arbeit nicht in Wärme, sondern in elektrische Arbeit übergeführt wird.[1]) Die Elektromotorische Kraft der Chromsäurezelle erreicht deshalb die stattliche Höhe von 1,8 bis 2 Volt. Das Element eignet sich besonders zur Entnahme verhältnismässig grosser Ströme für eine kurze Zeitdauer und findet deshalb im telegraphischen Betriebe keine Anwendung. Auch für die Telephonie wird es von anderen Stromquellen übertroffen.

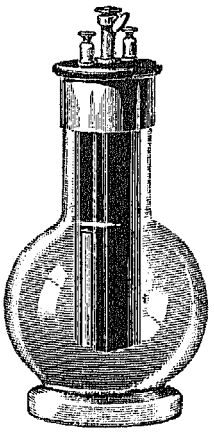


Fig. 85.
Chromsäure-Tauchelement.

Die Chromsäurezelle wird gewöhnlich, wie diese hier (Fig. 85), als Tauchelement ausgebildet. Zwischen zwei parallel geschalteten Elektroden aus Kohle, wie sie aus den Rückständen in den Retorten der Gasfabrikation gewonnen wird, ist eine Zinkplatte (in der Figur hell) auf- und niederschiebbar angebracht. Sie ist für gewöhnlich heraufgezogen und wird nur für die verhältnismässig kurze Benutzungsdauer in die Flüssigkeit getaucht. Jetzt im Augenblick enthält die Zelle keinen Elektrolyten, und die Zinkplatte ist ohne Schaden herabgelassen. Durch die Verwendung zweier Kohlenplatten wird der Strom in der Zelle in zwei Teile geteilt, folglich eine Verdopplung des für den inneren Widerstand massgebenden Elektrolytquerschnittes erreicht. Ebenfalls zur Verkleinerung des w_i ist l möglichst klein gemacht, das heisst die Platten sind so benachbart als möglich.

Das verbreitetste Mittel der Depolarisation ist die Anwendung zweier Elektrolyte. Es ist nur schwer, sie mit einander in elektrochemischer Verbindung und doch mechanisch getrennt zu halten. Am einfachsten, wenn auch wenig gründlich, gelingt das mit Hilfe verschiedenen spezifischen Gewichtes.

[1]) Diese Bemerkung wird erst durch das später (S. 158 bis 160) gesagte verständlich.

Die Engländer und Amerikaner nennen ein solches Element bezeichnender Weise gravity cell, Schwerkraftszelle. Als Vertreter dieser Elemente stelle ich Ihnen hier (Fig. 86) das von Callaud in seiner alten Form vor. Bei ihm schwimmt auf einer schweren Lösung von Kupfersulfat eine leichte von Zinksulfat. Bei ruhigem Stehen (siehe auch S. 157) berühren sich beide Flüssigkeiten nur in einer scharfen Trennungsfläche. Die Ableitungselektrode steht auf dem Boden des geraden Glasbechers, von Kupfersulfatlösung umgeben. Sie besteht aus einem dünnen Kupferblech, das zum Cylindermantel gebogen und an einen Kupferdraht angenietet ist. Dieser Kupferdraht durchsetzt nach oben das ganze Element und wird vor Berührung mit dem Zinksulfat und dem Zinkblech durch eine Guttaperchahülle geschützt. Der obere Rand des Glasgefässes trägt an drei Kupferhäkchen als Lösungselektrode einen Zinkcylinder, von Zinksulfatlösung umgeben. Die Trennungsfläche beider Elektrolyte befindet sich dicht unter der unteren Kante des Zinks. Von den Spannungssprüngen, welche sich zu der Elektromotorischen Kraft der Zelle addieren, kommen nur der zwischen Zink und Zinksulfat von ungefähr einem halben Volt und der zwischen Kupfersulfat und Kupfer von annähernd ebenso viel in Betracht, so dass die Elektromotorische Kraft ungefähr ein Volt ausmacht.

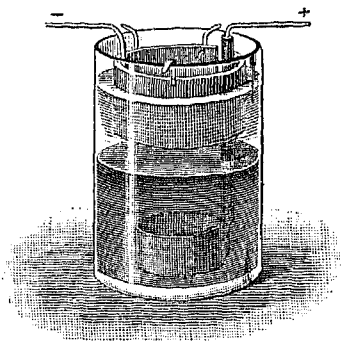


Fig. 86.
Callaudsches Element alter Form.

In der Zelle geht der Strom vom Zink zum Kupfer, also von oben nach unten. Mit ihm wandern im oberen Elektrolyten die Zink-Ionen. Könnten sie bis zur Kupferelektrode vordringen, würden sie die Zelle sehr schnell polarisieren. Ordnungsgemäss gelangen sie aber nur bis zur Grenzfläche beider Elektrolyte. Hier treten Ihnen die Kupfer-Ionen der Kupfersulfatlösung entgegen und erhalten nun ihrerseits den Anstoss, zu wandern. Die betreffenden Zink-Ionen sind ihres Dienstes quitt und beteiligen sich später bei Gelegenheit an einer anderen Stelle des Elektrolyten wieder an der Wanderung. Im neuen Elektrolyten streben

Kupfer-Ionen auf die Ableitungselektrode zu und geben schliesslich an diese ihre Ladung ab. Gleichzeitig scheiden sie sich auf ihm als Kupfermolekeln aus. Die Substanz der Elektrode bleibt nach wie vor Kupfer, so dass die Thätigkeit des Elementes keine Elektromotorische Gegenkraft, keine Gegenspannung erzeugt. Die Ionen, von denen Polarisation droht, werden eben an der Grenze der Elektrolyten abgefangen und unschädlich nach Hause geschickt.

Aus dem Gesagten entnehmen Sie, dass sich, solange das Element geschlossen ist, unaufhörlich Kupfer auf dem Kupferblech ablagert. Dieses nimmt also immer mehr an Masse zu und die Kupfersulfatlösung an Kupfergehalt ab. Von Zeit zu Zeit muss deshalb sowohl das Kupferblech von allzu vielem Zuwachs befreit, als besonders und öfter neuer Kupfervitriol in die Lösung gegeben werden. Wird das Letztere versäumt, so nimmt die blaue Lösung einen immer helleren Farbenton an (Siehe S. 124) und wird schliesslich farblos, ein Zeichen ihrer vollständigen Entkupferung. Wenn dann keine Kupfer-Ionen mehr vorhanden sind, welche den andringenden Zink-Ionen den Weg verlegen, werden diese bis zur Kupferelektrode vordringen und sie polarisieren. Der ganze Aufwand an zwei Elektrolyten wäre nutzlos verschwendet.

In der Richtung des negativen Stromes, also von unten nach oben auf den Zinkcylinder zu, streben die Sulfat-Ionen beider Elektrolyte. Das Zink wird, wie früher geschildert, proportional der abgegebenen Elektricitätsmenge gelöst. Auch hier reichert sich der Elektrolyt allmählich mit Zink-Ionen an. Da das Callaudsche Element für lange andauernde Stromlieferung benutzt wird, nimmt die Menge des Zinksulfats in der Lösung immer mehr zu, bis es schliesslich auskrystallisiert. So weit soll man es aber gar nicht kommen lassen, sondern von Zeit zu Zeit die Zinksulfatlösung zum grossen Teile durch reines Wasser ersetzen.

Das rechtzeitige Hinzufügen von neuem Kupfervitriol und Abziehen der starken Zinkvitriollösung hat aber — so möchte ich deutlicher, als gewöhnlich geschieht, bemerken — noch den zweiten Grund, den Unterschied in den spezifischen Gewichten beider Lösungen aufrecht zu erhalten. Denn die Lösung, von der man das grössere spezifische Gewicht

verlangt, wird immer leichter und die andere, die oben schwimmen soll, immer schwerer. Diese Verhältnisse werden sofort durchsichtig, wenn man für beide Salzlösungen das spezifische Gewicht in Abhängigkeit vom Gehalt an krystallisiertem Salz graphisch aufträgt, wie es hier (Fig. 87) geschehen

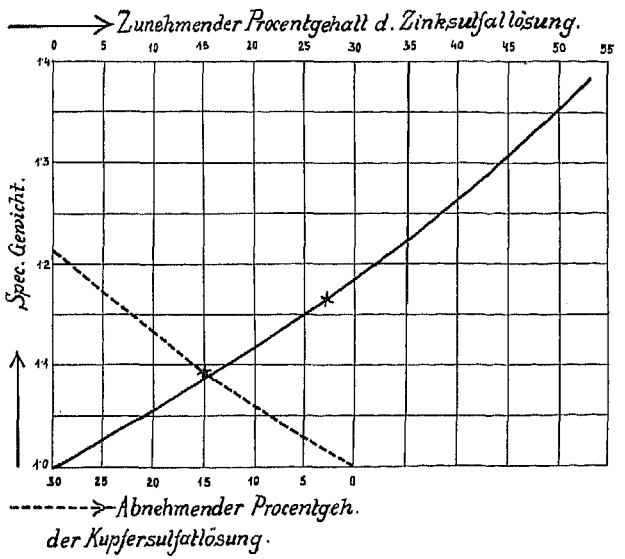


Fig. 87. Die Elektrolyte im arbeitenden Callaudschen Element.

ist. Die ausgezogene Kurve bezieht sich auf das Zinksulfat, dessen Gehalt im Element zu-, und die gestrichelte auf das Kupfersulfat, dessen Gehalt abnimmt. Sie erkennen, dass man die Kupfersulfatlösung mit ihrer Dichte nicht unter 1,10, das heisst ihrem Gehalt nicht unter 15 % sinken lassen darf. Ebenso sollte das Zinksulfat nicht über 1,09 und 15 % ansteigen dürfen. Da die Praxis die erste, aber nicht wohl die zweite Bedingung zu erfüllen erlaubt, nimmt man notgedrungen keinen Anstoss daran, den Gehalt der Zinksulfatlösung bis zu etwa 27 % anwachsen zu lassen. — Das Callaudsche Element hat eine Elektromotorische Kraft von wenig mehr als ein Volt und in der hier vor Ihnen stehenden Grösse (fünf mal Fig. 86) einen inneren Widerstand von acht bis zehn Ohm. Bei der ameri-

kanischen Form des Callaudschen Elementes (Fig. 88) wird durch grosse Elektrodenflächen und dadurch bewirkten grossen Querschnitt des durchflossenen Elektrolyten der innere Widerstand ausserordentlich herabgedrückt.

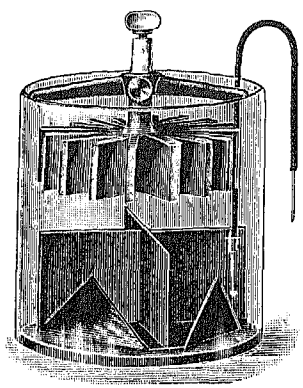


Fig. 88.
Callaudsches Element.
Amerikanische Form.

Eine andere Form des Callaudschen Elementes findet nun in der Deutschen Reichs-Telegraphie allgemeine Anwendung. Wir wollen es als das Telegraphenelement schlechthin bezeichnen. Die Amtssprache nennt es — zum Unterschied von einem anderen — Kupferelement. Freilich enthält es vor der Benutzung überhaupt kein Kupfer und unterscheidet sich vom Callaudschen gerade dadurch, dass dessen Kupferelektrode durch Blei ersetzt ist. Taucht man nämlich einen reinen Bleistab in Kupfervitriollösung, so überzieht sich die eingetauchte Oberfläche im Augenblick mit einer Haut metallischen Kupfers. Hier ist ein blank geputztes Bleiblech. Ich tauche einen Pinsel

Fig. 89. Verkupferung von Blei.

in Kupfersulfatlösung und schreibe damit auf das Bleiblech. Sie sehen, überall, wo die Kupferlösung das Blei benetzt hat, ist es verkupfert worden. Weithin im ganzen Hörsaal können Sie die röthlich schwarzen Schriftzüge (Fig. 89) erkennen. Verkupfertes Blei wirkt elektrochemisch als Kupfer, nicht als Blei, wie etwa jemand aus dem Verhalten des verquickten Zinks folgern möchte. Das Telegraphenelement (Fig. 90) enthält also als Ableitungselektrode eine kreisförmige Bleiplatte, die auf dem Boden des Glasgefässes liegt. Aus ihrer, damit das ganze sicher steht, etwas aufgewölbten Mitte erhebt sich vertikal ein Bleistab. Dieser durchsetzt nach oben die ganze Zelle und endigt in eine messingne — die positive — Klemme. Auf dem oberen Rand des Glasgefässes ruht mit drei Nasen ein kräftiger Zinkcylinder. Der in eine der Nasen eingegossene Kupferdraht trägt die negative Klemme. (In der Figur aus nachher einleuchtendem Grunde fortgelassen.) Die beiden Elektrolyten sind dieselben wie die des Callaudschen Elementes, eine Lösung von Kupfersulfat, auf der eine Lösung von Zinksulfat schwimmt. Beider Trennfläche befindet sich einige Millimeter unter dem Zinkring. Es könnte auffallen, dass der Bleistab nicht wie der Kupferdraht im Callaudschen Element von einer Guttaperchahülle umgeben ist. Für das Blei hat sich diese Hülle als unnötig erwiesen. Es ist auch so unschädlich.

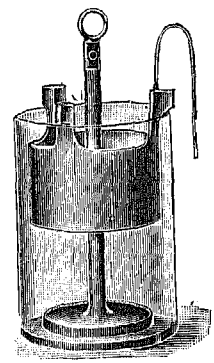


Fig. 90.
Telegraphenelement $^1/_5$.

Die elektrochemischen Vorgänge im Telegraphenelement sind dieselben wie im Callaudschen. Wegen ihrer praktischen Wichtigkeit sind sie auf dieser Tafel (Fig. 91) einer Skizze des Elementes eingeschrieben. Im äusseren, metallischen Leiter verläuft der Strom vom Kupfer zum Zink, im inneren, elektrolytischen — den Kreis vollendend — vom Zink zum Kupfer. Die Elektrolyse befördert Ionen im Sinne der gestrichelten Pfeile. Gegen die Stromrichtung oder mit dem negativen Strome wandern vom Kupfer zum Zink die Sulfatgruppen beider Elektrolyte, und das Zink, das hier übrigens in Abwesenheit freier Schwefelsäure nicht verquickt ist, wird aufgelöst. Im

Sinne des Stromes, vom Zink zum Kupfer, bewegen sich die Metall-Ionen, im Zinksulfat Zink, das an der Grenzfläche das Kupfer der Kupfersulfatlösung in Bewegung versetzt. Das Kupfer kommt auf der Ableitungselektrode zur Abscheidung. Die Stromlieferung ist mithin von vier Veränderungen begleitet:

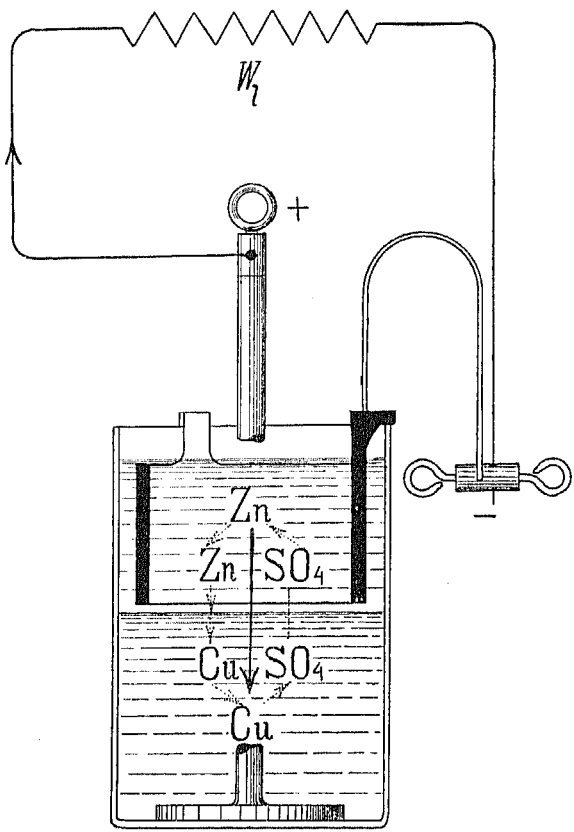


Fig. 91. Arbeitendes Telegraphenelement.

Die Kupfersulfatlösung wird immer verdünnter, die Zinksulfatlösung immer stärker, die Kupfer (Blei-) elektrode gewinnt, der Zinkring verliert an Masse. Hieraus ergiebt sich die Behandlungsweise der Elemente im Betriebe von selbst. Gerade so, wie das verdunstete Wasser zu ersetzen ist, muss, in dem Maasse als Kupfersulfat verbraucht wird, neues nach-

gefüllt werden. Zweckmässig lässt man es in grossen Stücken auf den Boden des Gefässes fallen. Kleine bieten die Gefahr, von der Zinksulfatlösung aufgehalten zu werden, und man soll eine Vermischung beider Elektrolyte so weit, als irgend möglich, vermeiden. Mir fällt hierbei immer die Behandlung grundigen Kaffees ein. Die Vermischung beider Elektrolyte verkürzt die Lebensdauer der Zelle, das heisst die Zeit, bis man sie auseinander nehmen, reinigen und neu ansetzen muss, ausserordentlich. Sobald nämlich Kupfersulfat zum Zinkring gelangt, wird — aus ähnlicher Ursache, wie sie die Kupferschrift auf dem Blei entstehen liess — Kupfer als voluminöser Kupferschlamm ausgeschieden. Wenn dieser Kupferschlamm nicht mit einem hakenförmig gebogenen Draht vom Zinkring abgestreift wird, wächst er schliesslich in langen Raupen zum Boden herab und schliesst beide Elektroden kurz. Hin und wieder muss deshalb die Zinkelektrode gründlich abgebürstet und bei der Gelegenheit mit einem messerartigen Schaber ihre metallische Oberfläche frei gelegt werden. Andererseits soll kein Zinksulfat zur Kupferelektrode gelangen; sonst würde sie durch Zink polarisiert werden. Elemente, welche viel Strom zu liefern haben (Ruhestrom, Arbeitsstrom für mehrere Leitungen, siehe Telegraphenbetrieb), brauchen natürlich häufiger neues Kupfersulfat, als bei geringerer Strombeanspruchung (Arbeitsstrom für wenig Leitungen), und die Gefahr der Entkupferung ist grösser. Gleiches gilt von der Häufigkeit, mit der die immer stärker werdende Zinksulfatlösung abgehebert und durch Wasser (am Besten destillirtes oder abgekochtes oder Regen-Wasser) ersetzt werden muss. Lässt man den Gehalt der oberen Lösung anwachsen, so verschwindet, wie Sie wissen, der Unterschied im spezifischen Gewichte beider Lösungen immer mehr. Ausserdem krystallisiert das Zinksulfat an der Flüssigkeitsoberfläche, wo das Lösungswasser verdampft, aus und hat dabei die Unart, zu kriechen oder zu klettern. Diese dem Chemiker wohlbekannte Kapillaritätserscheinung besteht darin, dass Krystalle und Lösung sich gegenseitig an der inneren Glaswand emporhelfen und schliesslich über den oberen Glasrand gelangen, die Umgebung der Zelle verschmutzen und sie am Ende elektrolytisch kurz schliessen. Das Kriechen lässt sich dadurch verhindern, dass

man den oberen Rand des Glasgefässes und ungefähr auf einen Finger breit die an ihn grenzende innere Wand — wenn man will, auch das obere Ende des Bleistabes — mit Ölfarbe anstreicht. Die dritte Veränderung, welche die Zelle durch ihre eigene Thätigkeit erfährt, ist das Wachsen der Kupfermasse an der Ableitungselektrode. Allerdings ist sie für einen langen Zeitraum gleichgiltig. Endlich wird sie aber doch unbequem. Um dann das Kupfer leicht ablösen zu können, besteht die Vorschrift, vor der Benutzung Bleiplatte und unteres Ende des Bleistabes mit erwärmtem Schweinefett einzupinseln. Die dünne Fettschicht verhindert dann allerdings eine Abscheidung von Kupfer nach Art der gezeigten Kupferschrift, aber nicht diejenige durch den Strom des Elementes. Gegen die vierte Veränderung, die Auflösung des Zinks, giebt es kein Heilmittel. Wenn der Zinkring am Ende eines arbeitsreichen Lebens alt und schwach geworden ist, muss er durch einen neuen ersetzt werden.

Warum die (elektrische) Auflösung des Zinks nicht zu verhindern ist, werden Sie durch die Beantwortung einer Frage einsehen, welche Sie gewiss schon lange — mit klarem Gedanken oder wenigstens mit unbestimmtem Gefühl — beschäftigt hat, nämlich dieser: Aus welcher Quelle schöpft das galvanische Element die Arbeit, die es als elektrische abgiebt? Zur Beantwortung dieser Frage erinnern Sie sich bitte daran, dass die im Elemente — theoretisch — gelöste Zinkmenge der abgegebenen Elektricitätsmenge proportional ist. Dieser Proportionalität liegt die Ursache zu Grunde, dass die Arbeit, welche durch das Element als elektrische in die Erscheinung tritt, dem chemischen Arbeitsvorrat des Zinks entstammt. Die Auflösung des Zinks ist chemisch ebenso eine Verbrennung, wie die des Wasserstoffs durch die Chromsäure, und mit der Abgabe von Arbeit verbunden. Die Ausscheidung des Kupfers aus dem Kupfersulfat, wie sie an der Ableitungselektrode vor sich geht, ist das Gegenteil einer Verbrennung, eine Reduktion. Sie verzehrt einen grossen Teil der Arbeit wieder, welche durch Verbrennung des Zinks entsteht. Die durch Verbrennung eines Grammäquivalentes Zink verfügbar werdende Arbeit wird im Elemente theoretisch zu etwa 80% zur Abscheidung eines Grammäquivalentes Kupfer ver-

braucht. Nur der Rest von etwa 20 % tritt als elektrische Arbeit in die Erscheinung. Die galvanischen Elemente müssen recht unwirtschaftlich arbeitende Maschinen sein; bedürfen sie doch als Brennmaterial das teure Zink, und von der durch Verbrennung des Zinks entstehenden Wärme werden bei der Telegraphenzelle noch gar vier Fünftel zur Abscheidung einigermassen wertlosen, weil wenig reinen Kupfers verwendet.

Auf Grund dieser Betrachtung sind wir in die Lage versetzt, die Elektromotorische Kraft eines galvanischen Elementes zu berechnen[1]). Als Beispiel sei die Telegraphenzelle gewählt. Wir gehen davon aus, dass ihre elektrische Arbeit dem Überschuss der beim Lösen des Zinks in Freiheit gesetzten über die bei der Ausscheidung des Kupfers gebundene chemische Arbeit entstammt. Beide Arbeiten sind als Wärmemengen gemessen, und zwar ist diejenige Wärme, welche frei wird, wenn sich ein Grammäquivalent Zink $\left(\frac{Zn}{2} = 32{,}7\ \text{g}\right)$ mit dem Sulfatrest zu Zinksulfat vereinigt und dieses sich in Wasser löst, zu 124 200 kleinen Calorien gefunden worden. Die entsprechende Zahl für Kupfer, also die Wärme, welche frei wird, wenn sich ein Grammäquivalent Kupfer $\left(\frac{Cu}{2} = 31{,}8\ \text{g}\right)$ mit dem Sulfatrest zu Kupfersulfat vereinigt und dieses sich in Wasser löst, wird zu 99 200 Calorien angegeben. Die Wärme, welche bei umgekehrtem Verlauf des Vorgangs verschwindet, ist natürlich ebenso gross. Man sieht, die Zahl beim Zink ist um 25 000 Calorien grösser, als beim Kupfer. Diese 25000 Calorien sind es, welche das Telegraphenelement in elektrische Arbeit verwandelt. Das Joulesche Gesetz (S. 27) gab uns den Umrechnungsfaktor

$$\frac{\text{Calorien}}{0{,}24} = \text{Wattsekunden.}$$

Unsere Wärmemenge von 25 000 Calorien verwandelt sich mithin in $\frac{25\,000}{0{,}24}$ Wattsekunden.

---

[1]) Vgl. die erste Fussnote auf S. 85.

Ebenfalls schon in der zweiten Vorlesung (S. 23) lernten Sie mit der Gleichung $A = Q \cdot E$ die elektrische Arbeit als das Produkt der treibenden Volt und der getriebenen Coulomb kennen. Der Faktor E des Produktes ist die gesuchte Elektromotorische Kraft der Telegraphenzelle. Der Faktor Q ist die bei nützlichem Verbrauch eines Grammäquivalentes der galvanischen Materialien erzeugte Elektricitätsmenge, das heisst unsere altbekannten 96 500 Coulomb. Es folgt aus der Betrachtung demnach die Gleichung:

$$\frac{25\,000}{0{,}24} = 96\,500\ E, \qquad \text{woraus sich}$$

$$E = \frac{25\,000}{0{,}24\ .\ 96\,500} = 1{,}08 \text{ Volt ergiebt,}$$

eine Zahl, die mit der wirklichen fast ganz genau übereinstimmt.

So erfreulich dieses Ergebnis der Theorie, so gross ist die Enttäuschung, wenn man durch den Versuch prüft, ob im Telegraphenelement wirklich nur so viel von der Lösungselektrode und dem die Ableitungselektrode umgebenden Elektrolyten verbraucht wird, als der die Zelle durchfliessenden Elektricitätsmenge nach dem Faradayschen Gesetz entspricht. Ein Coulomb sollte die Auflösung eines elektrochemischen Äquivalentes Zink, gleich 0,339 mg, und die Abscheidung von 0,328 mg Kupfer oder, wie man leicht nachrechnen kann, die Zersetzung von 4,65 mg krystallisiertem Kupfersulfat bewirken. Für die Amperestunde, die bekanntlich 3600 Coulomb gleicht, kämen 1,21 g Zink- und 4,65 g Kupfersulfat heraus. Sie werden verwundert sein, zu hören, dass für die vom Telegraphenelement erzeugte Amperestunde von berufener Seite[1]) ein wirklicher Verbrauch von 27,7 g Zink und 37,1 g Kupfervitriol, also das Dreiundzwanzig- und Achtfache der berechneten Zahlen, festgestellt worden ist. Dieses Ergebnis scheint jedoch nur von der Theorie so weit abzuliegen, und

[1]) Vgl. Strecker, Elektrotechnische Zeitschrift 1893 S. 289.

es darf Sie nicht zu deren Missachtung verleiten. Denn die Verhältnisse liegen in Wirklichkeit viel verwickelter, als wir angenommen haben; besteht doch die vollständige Trennung beider Elektrolyte nur auf dem Papier. Das beweisen schon die Mengen von Kupferschlamm, die sich auf dem Zink ausscheiden. Ungefähr in derselben Art, wie bei der Auflösung des unreinen Zinks, nur durch Amalgamierung nicht zu verhindern, finden bei Gebrauch und Nichtgebrauch der Zelle in ihrem Innern elektrolytische Vorgänge statt, denen man den schönen Namen Lokalaktionen gegeben hat. Es dürften die kleinen kurzgeschlossenen Elemente —➤ Zink/Elektrolyt/Kupfer —➤ sein, welche das zu nützlicher Verwendung bestimmte galvanische Material schmarotzerisch auffressen und das der Zelle für den Bedarf einer langen Zeit mitgegebene grosse Arbeitsvermögen verhältnismässig schnell vergeuden. Die Grösse dieser Vergeudung entzieht sich aber jeder Berechnung und ist nur aus dem Versuch zu entnehmen. Sie macht natürlich die Elemente noch viel unwirtschaftlicher.

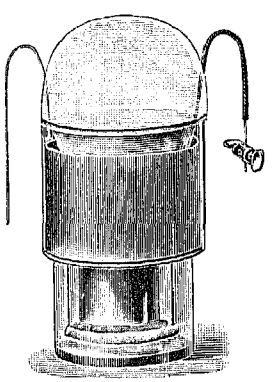


Fig. 92.
Meidingersches Element.

Wir müssen noch angeben, dass der innere Widerstand der Telegraphenzelle den für den Betrieb lästig hohen Betrag von durchschnittlich fünf Ohm erreicht, und können uns dann der Besprechung des nächsten Elementes, dem von Meidinger (Fig. 92) zuwenden. Zwar enthält dieses dieselben galvanischen Materialien wie das Callaudsche, und auch bei ihm hält die Schwerkraft beide Elektrolyte getrennt. Aber sein mechanischer Aufbau ist so eigentümlich, dass er eine besondere Besprechung verlangt.

Das Glasgefäss (Fig. 93a) der Meidingerschen Zelle wird durch eine von der Glaswand gebildeten Stufe in zwei über einander liegende Räume geteilt. Der untere, niedrigere Raum enthält in einem Einsatzglase (b), das von unten bis eben an die Stufe reicht, den Kupferblechcylinder (c) und die Kupfervitriollösung. Oben auf der Stufe ruht der Zinkcylinder (d),

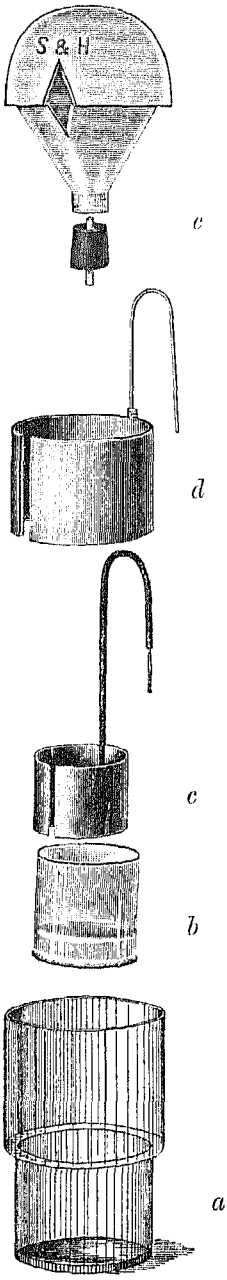


Fig. 92. Meidingersches Element, in seine Bestandteile zerlegt.

umgeben von der Zinksulfatlösung.[1]) An das Kupferblech ist der kupferne Leitungsdraht angenietet, welcher, mit Guttapercha umgeben, durch die Zelle nach aussen führt. Um nun die durch die Thätigkeit der Zelle herbeigeführte Verminderung des Gehaltes der Kupfersulfatlösung auszugleichen, ist ein grosser Glasballon (e) von oben in die Zelle hineingestülpt. Dieser Glasballon verleiht der Zelle ihr eigentümliches Aussehen und hat ihr zu dem Namen Ballonelement verholfen. Er ist mit einem grossen Vorrat von Krystallen (etwa $^3/_4$ kg) und concentrierter Lösung von Kupfersulfat vollständig angefüllt. Der unten in seine Öffnung eingesetzte paraffinierte Korkstopfen umschliesst eine kurze Glasröhre, welche das Innere des Ballons mit der Kupfersulfatlösung der Zelle in Verbindung setzt. In dem Maasse, in welchem die Stromentnahme den Elektrolyten entkupfert, wird aus dem Ballon Ersatz an Kupfersulfat herausgelöst und so ohne weitere Inanspruchnahme der Beamten dem Eintreten der Polarisation vorgebeugt. Der obere Raum der Zelle ist so gross, dass eine grosse Flüssigkeitsmenge darin Platz hat. In ihr kann sich viel Zinksulfat lösen, ehe die Concentration zu hoch steigt. Das Meidingersche Element eignet sich also noch mehr als das Telegraphenelement zur Lieferung lang andauernder Ströme (Ruhestrom), ohne dass eine besondere Bedienung erforderlich ist. Es wird deshalb

[1]) Statt dieser enthielt das ursprüngliche Meidingersche Element eine Lösung des Sulfates des dem Zink nahe verwandten Metalles Magnesium, s. g. Bittersalzlösung. Diese Art der Füllung ist verlassen. Durch die Thätigkeit der Zelle wird ja ohnehin Zink gelöst.

von mehreren Telegraphenverwaltungen, besonders auch in der Telegraphie der deutschen Eisenbahnen, angewendet. Seinen inneren Widerstand finden Sie zu etwa drei Ohm angegeben. Die Elektromotorische Kraft des Elementes ist natürlich gleich der des Callaudschen oder der des Telegraphenelements mit verkupferter Bleiplatte.

Als letztem Elemententypus — die ganze Fülle der sonst noch gebauten Elemente als für unsern Zweck unwichtig übergehend — wenden wir uns jetzt dem Element von Fleischer oder dem Telephonelement zu, das sich aus dem für uns nicht in Betracht kommenden von Leclanché entwickelt hat. Wie die Chromsäurezelle, enthält es als Ableitungselektrode Kohle, als Lösungselektrode Zink. Die doppelte Rolle der Chromsäure als Elektrolyt und als chemischer Depolarisator ist hier zwei verschiedenen Substanzen übertragen. Den Dienst als Elektrolyt, als Erregerflüssigkeit, thut eine wässrige Lösung von Ammoniumchlorid. $NH_4 . Cl$, Salmiaklösung. Die chemische Depolarisation wird von Mangansuperoxyd, $Mn O_2$, Braunstein besorgt. Man mischt diese feste Substanz zweckmässig als Pulver mit Kohlepulver und presst das Gemisch bei erhöhter Temperatur unter grossem Drucke zu solchen Standcylindern (Fig 94). Ihnen werden oben Messingklemmen aufgeschraubt. Damit kletternde Salmiaklösung die Messingklemme nicht zerstört, werden zwischen sie und die Elektrode dünne Bleiplättchen gelegt. Um der Salmiaklösung das Klettern zu erschweren, wird der obere Teil des Standcylinders mit Paraffin getränkt.

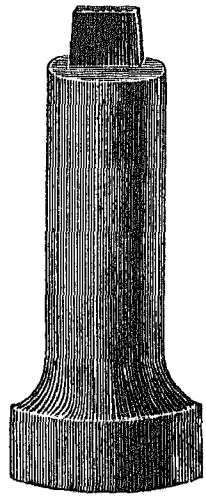
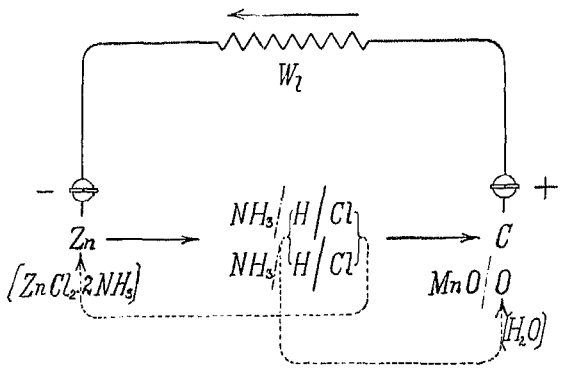


Fig. 94.
Braunstein-Kohlecylinder aus dem Telephonelement.

Im metallischen Kreise geht der Strom von der Kohle zum Zink, im Elektrolyten vom Zink zum Kupfer. Salmiak $NH_4 . Cl$ zerfällt leicht in Ammoniak NH_3 und Salzsäure HCl. Es werde angenommen, nur das HCl beteilige sich an dem elektro-

lytischen Vorgang. Mit dem negativen Strom wandern dann Chlor-Ionen zum Zink und lösen es zu Zinkchlorid $ZnCl_2$ auf, welches Zinkchlorid man sich mit dem aus dem Salmiak abgespaltenen Ammoniak zu der Verbindung $ZnCl_2 . 2\,(NH_3)$ vereinigt denken mag. Der positive Strom befördert Wasserstoff-Ionen durch die Flüssigkeit. Sie würden die Kohlenelektrode polarisieren, wenn nicht das Mangansuperoxyd vorhanden wäre. Dieses enthält, wie sein Name sagt, Sauerstoff über die Menge dessen hinaus, welche es fest zu binden vermag. Es ist wie die Chromsäure ein Oxydationsmittel und verbrennt den elektrolytisch andringenden Wasserstoff zu Wasser, während es selbst — wohl zu Manganoxyd MnO — reduziert wird. Schematisch würden sich diese Vorgänge so ausdrücken:



Die depolarisierende, Wasserstoff-vernichtende Wirkung des Mangansuperoxydes lässt sich durch einen einfachen, dem Lüpkeschen Buche entnommenen Versuch zeigen. In einem Hofmannschen Apparat, ähnlich dem früher benutzten (Fig. 79 auf S. 127) ist das eine Platinblech durch einen Stab aus Braunsteinkohle, dem eben geschilderten Material, ersetzt. Der Apparat ist mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, und es wird in ihn ein schwacher Strom von solcher Richtung geschickt, dass er zum Platin hinein und zur Braunstein-Kohle heraustritt. Sie sehen, wie sich zwar im Anodenschenkel Sauerstoff, aber im Kathodenschenkel kein oder wenig Wasserstoff entwickelt. Dieser wird wie im Telephonelement durch das Mangansuperoxyd zu Wasser verbrannt. Der Vorgang findet aber nur

langsam statt, weil im Gegensatz zur Chromsäurezelle der Wasserstoff erst bis zu dem festen, wenn auch durchfeuchteten Depolarisator in die Elektrode hineingelangen muss. Das Element ist deshalb weder zur Lieferung grosser, noch sehr lang andauernder Ströme befähigt, wenn es seine Elektromotorische Kraft von etwa 1,4 Volt beibehalten soll. Die Pausen in der Stromabgabe sind deshalb nützlich, weil in ihnen die Oxydation des von der porösen Elektrode aufgenommenen Wasserstoffs beendigt werden kann. Allmählig, bei schwacher Beanspruchnng erst nach sehr langer Zeit, tritt dann mit der fortschreitenden Reduktion des Mangansuperoxydes eine Abnahme der Elektromotorischen Kraft ein. Eine Rück-Oxydation durch den Luftsauerstoff findet, wenn überhaupt, nicht in grösserem Maassstabe statt. Hier (Fig. 95) sehen Sie ein solches Telephonelement vor sich. Die Lösungselektrode kann von Zinkblech, wie hier, oder dem bei den Telegraphenelementen üblichen Zinkring gebildet werden. Wie dort verhindert ein Ölfarberand das Klettern des Elektrolyten über die Gefässwand.

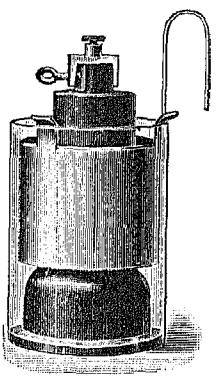


Fig. 95.
Telephonelement.

Die Unterhaltung der Zelle beschränkt sich auf Nachfüllen des verdunsteten Wassers. Nur in grossen Zeiträumen ist Reinigung, Hinzufügen neuer Salmiaklösung und Ersatz schliesslich verbrauchter Zinkringe notwendig. Der innere Widerstand des Elementes wird zu dem niedrigen Wert von 0,4 Ohm angegeben.

Elektrochemisch gleichen dem Telephonelement die Trockenelemente, welche nur durch ihre zweckmässige Aufmachung eine besondere Gruppe von Elementen bilden. Sie sind leicht und handlich, gleich zum Gebrauch fertig und nach aussen verschlossen, gekapselt, so dass beim Transport in keiner Lage Flüssigkeit ausfliessen kann. Sie enthalten zwar Salmiaklösung. Diese ist aber von einem porösen Körper, wie Sägemehl, Sand, Gips, und was alles der Wettbewerb der Firmen dazu ersonnen hat, aufgesaugt.[1]) Es entsteht dann eine halbflüssige, breiige

[1]) Die Franzosen sprechen von pile à liquide immobilisé, Zelle mit unbeweglich gemachter Flüssigkeit.

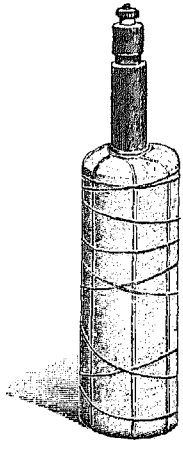


Fig. 96. Gasebeutel mit Kohlestab und Mangansuperoxydbrei.

Masse, eine Paste, die elektrochemisch denselben Dienst thut, wie die Salmiaklösung im Telephonelement. Die Zinkelektrode ist meist gleich als Gefäss ausgebildet. In ihr wird das ganze Element verstaut und dann ein Deckel aus einer Asphaltmasse daraufgegossen. In der Mitte des Zinkgefässes steht ein Kohlestab. Ihn umgiebt, von einem Gasebeutel umschlossen, der depolarisierende Brei, gewöhnlich Mangansuperoxyd. Der Raum zwischen Gase und Zinkcylinder ist durch die Salmiakpaste ausgefüllt. Nach aussen ist das Ganze, wie gesagt, abgeschlossen. Nur pflegt eine kleine Öffnung den sich etwa entwickelnden Gasen den Abzug zu gestatten, nachdem sie durch Sägemehl gestrichen sind und dort ihren Wassergehalt abgegeben haben.

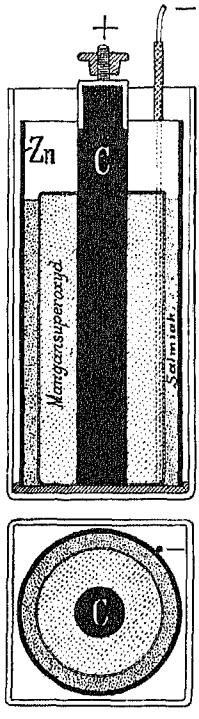


Fig. 97. Längs- und Querschnitt durch eine Hellesensche Zelle.

Freilich kann man in die Elemente nicht hineinsehen und muss sich beim Einkauf der einzelnen Zellen auf den guten Ruf der liefernden Firma verlassen. Schon deshalb neigt man zu den von Siemens & Halske gefertigten Zellen nach Hellesen (Ton auf der ersten Silbe). Hier (Fig. 96) sehen Sie aus einem dem Hellesenschen ähnlichen Elemente den Beutel mit Mangansuperoxyd, aus dem oben der Kohlestab mit der positiven Klemme hervorragt. Diese Tafel (Fig. 97) zeigt Längs- und Querschnitt durch die Hellesensche Zelle, wobei die grundsätzlich weniger wichtigen Teile fortgelassen sind. Auch die Trockenelemente von Gassner und andere sind bei der Reichspost im Gebrauch. Bei der Hellesenschen Zelle ist der Zinkcylinder noch in einen prismatischen Pappkasten gesetzt, der sie besonders handlich macht und ihr ein recht gefälliges Äussere (Fig. 98)

giebt. Die Elektromotorische Kraft des neuen Elementes beträgt 1,5 Volt. Sie sinkt durch den Gebrauch allmählich, erholt sich jedoch in Pausen wieder, wie das schon von der des Fleischerelementes erwähnt wurde. Der innere Widerstand einer mittleren Type beträgt zu Anfang nur 0,2 Ohm. Er steigt durch den Gebrauch.

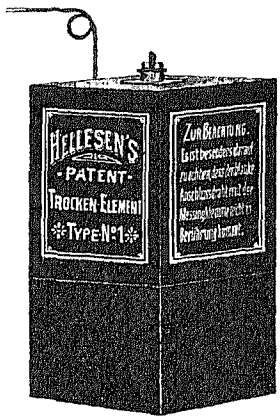


Fig. 98.

Die Hellesenschen Elemente werden in einer ganzen Reihe von Grössen gebaut, die sie hier wie die Orgelpfeifen aufgestellt sehen. Alle Grössen haben dieselbe Elektromotorische Kraft, ob sie nun einen Raum von 1750 cm^3 oder von 75 cm^3 einnehmen. Die Elektromotorische Kraft eines Elementes ist von seiner Grösse und seinem mechanischen Aufbau unabhängig und wird nur von der chemischen Natur der galvanischen Materialien bestimmt. Für den inneren Widerstand hingegen kommen Grösse und Aufbau in wesentlichen Betracht, denn sie beeinflussen Länge und Querschnitt des zu durchfliessenden Elektrolyten, daher die vielen einander widersprechenden Angaben der inneren Widerstände. Das Gleiche gilt für die Klemmenspannung, denn sie folgt aus der Gleichung (S. 139) $E = E_k + Jw_i$. Eine grössere Zelle wird natürlich ohne Erneuerung der Materialien längere Zeit den gleichen Strom liefern können, als eine kleinere, wenn sie nur sonst im Stande bleibt oder darin erhalten wird. Sie enthält eben mehr Elektricität-erzeugendes Material, einen grösseren Vorrat an in elektrische umzusetzender chemischer Arbeit.

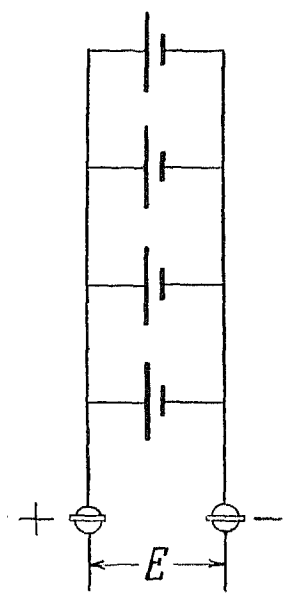


Fig. 99.
Elemente in Parallelschaltung.

Jetzt liegt uns die Aufgabe ob, durch Vereinigung mehrerer Zellen die Elektromotorische Kraft der einzelnen zu vervielfältigen, die Zellen zu Batterien zusammenzufassen. Wie soll man schalten? Man kann zum Ersten (Fig. 99) alle Kupferklemmen von n Telegraphenzellen durch einen Draht verbinden und alle Zinkklemmen durch einen andern, mithin die Schaltungsart wählen, die Sie früher (S. 22) als Parallel- oder Nebeneinanderschaltung kennen gelernt haben. Zwischen den beiden Drähten herrscht dann aber nur derselbe Spannungsunterschied, wie zwischen der Kupfer- und Zinkklemme eines einzigen Elementes. Ich halte es nicht für Zeitverschwendung, Ihnen das im Versuche zu zeigen. Hier liegen zwei Kupferdrähte an den Klemmen eines Spannungszeigers, dessen Einrichtung uns jetzt noch ebenso gleichgiltig ist, wie seiner Zeit (S. 20) die des Stromzeigers. Augenblicklich genügt es, dass die

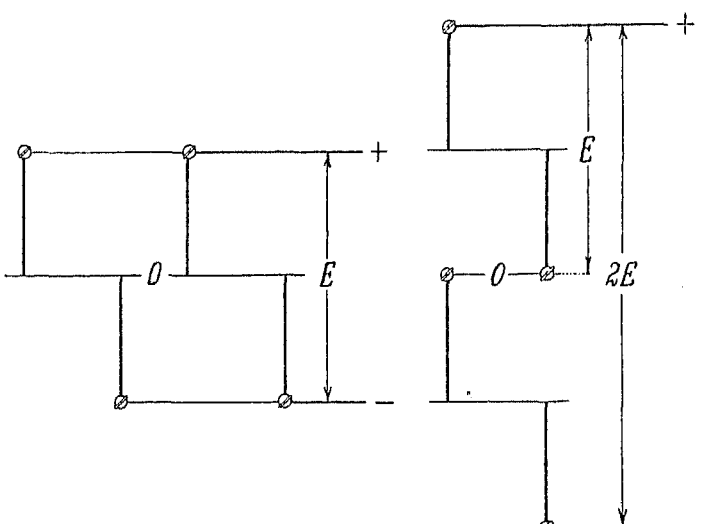


Fig. 100. Diagramm der Elektromotorischen Kraft zweier Elemente.

a) in Parallel- (links Element I, rechts Element II)

b) in Reihenschaltung (oben Element II, unten Element I).

Teilung, welche die Spannungen von Null bis fünf Volt umfasst, und der auf ihr spielende Zeiger weithin sichtbar ist. Zwischen beide Drähte wird ein Telegraphenelement geschaltet. Das

Instrument zeigt ein Volt an. Sie sehen, der Ausschlag ändert sich nicht, ob man noch ein Element und noch eins und noch eins parallel hinzufügt. Auch vier parallele Zellen haben nur die Endspannung ein Volt. Dem einen Draht hat eben schon die Kupferklemme des ersten Elementes die Spannung + 0,5 Volt erteilt. Die andern Kupferklemmen haben die gleiche Spannung. Sie können mithin die Elektricität des Drahtes nicht vermehren, seine Spannung nicht erhöhen. Dasselbe gilt von der Spannung des die Zinkklemmen verbindenden Drahtes. Ob mit einer oder mit n Zinkklemmen verbunden, er hat die Spannung — 0,5 Volt, und der Spannungsunterschied beider Drähte ist in alien Fällen ein Volt. Zum Überfluss kann man das, wie Sie sehen (Fig. 100a) auch graphisch darstellen. Die Parallelschaltung liefert keine Spannungserhöhung. Trotzdem wird sie unter Umständen verwendet.

Zum Zweiten ist die Hintereinander- oder Reihenschaltung (S. 22) der Elemente zu besprechen. Sie kommt dadurch zu Stande, dass man die positive Klemme jedes Elementes mit der negativen des folgenden verbindet (Fig. 101).

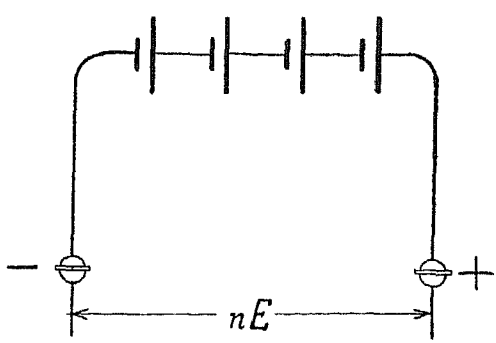


Fig. 101. Elemente, hintereinander geschaltet.

Der Nutzwiderstand liegt zwischen der positiven Klemme des $n$ten Elementes und der negativen des ersten. Lassen Sie uns den Versuch zeigen, wie gross der Spannungsunterschied zwischen den beiden genannten Klemmen, den Batterieklemmen bei vier hintereinander geschalteten Telegraphenelementen ist. Sie sehen, er beträgt vier Volt. Unter Zuhilfe-

nahme der graphischen Darstellung (Fig. 100b) kann man sich diese Thatsache folgendermassen erklären.

Dadurch, dass die negative Klemme eines Elementes II mit der positiven des vorhergehenden I verbunden wird, erhöht sich ihre negative Spannung $-\frac{E}{2}$ (= — 0,5 Volt)[1]) um die gleiche positive $+\frac{E}{2}$. Sie wird zu Null. Andererseits besitzt die positive Klemme des Elementes II gegen seine negative einen Spannungsunterschied von $+E$ (+ 1 Volt). Da dieser Spannungsunterschied aufrecht erhalten wird, so muss mit der negativen Klemme von II auch die positive von II ihre Spannung um $+\frac{E}{2}$, das heisst auf $+E$ erhöhen. Entsprechend wird der positiven Klemme von I zu ihrem ursprünglichen $+\frac{E}{2}$ ein neues $-\frac{E}{2}$ aufgedrückt, die Spannung folglich zu Null gemacht. Ebenso wird der negativen Klemme von I ihre Spannung $-\frac{E}{2}$ in $-E$ verändert. Im graphischen Bilde werden die Spannungen des Elementes I um $\frac{E}{2}$ nach unten und von II um $\frac{E}{2}$ nach oben gerückt. Die mit einander verbundenen Klemmen von beiden liegen auf Null, die positive von II auf $+E$, die negative von I auf $-E$. Legen Sie bei unsern vier in Reihe geschalteten Elementen unsern Spannungsmesser zwischen die negative Klemme des ersten Elementes und die Batteriemitte, das ist die verbundene positive Klemme des zweiten und negative des dritten, so zeigt das Instrument zwei Volt an und den gleichen Spannungsunterschied von der Batteriemitte zur positiven Klemme des vierten. Versuch und Überlegung lehren, die Elektromotorische Kraft einer Batterie von n hintereinander geschalteten Elementen von der Elektromotorischen Kraft E ist gleich $n\,E$.

[1]) Hierbei ist zur Vereinfachung wieder vorausgesetzt worden, dass an jeder Elektrode der Spannungssprung die Hälfte der Elektromotorischen Kraft der Zelle ausmacht.

Die Elektricität erhält in jedem Element eine neue Spannungserhöhung, oder denken Sie sich, wie in der ersten Vorlesung (S. 6) Unterschiede der Spannung durch solche eines elektrischen Niveaus versinnbildlicht, dann können Sie in der Hintereinanderschaltung der Elemente ein Aufeinandertürmen von Spannungen erblicken, so dass die Mitte der Batterie das Niveau Null — das elektrische Meeresniveau — die positive Batterieklemme ein um $n \frac{E}{2}$ höheres und die negative ein um ebenso viel tieferes besitzt. Als gesamter Höhenunterschied kommt dann $2 \frac{n E}{2} = n E$ heraus.

Bis lang war nur von der offnen Batterie die Rede. Jetzt wird nach der Grösse des von ihr gelieferten Stromes gefragt, denn Stromwirkungen sind das im Farbschreiber, im Fernsprecher nützlich verwendete. Es soli also eine aus n hintereinander geschalteten Elementen, von denen jedes die Elektromotorische Kraft E und den inneren Widerstand w_i hat, bestehende Batterie durch einen (Telegraphen-) Draht vom Widerstande w_l einen Strom schicken. Das Ohmsche Gesetz (S. 138)

$$J = \frac{E}{w_i + w_l}$$

muss ihn berechnen lassen. Statt der Elektromotorischen Kraft einer Zelle ist jetzt die n-fache der Batterie, $n E$ wirksam. Auch w_i, der innere Widerstand einer Zelle, ist nicht der der gesamten Batterie. Denn da der Strom durch sämtliche Zellen hintereinander in einem einzigen ungeteilten Wege fliesst, ist eine n mal so lange Elektrolytschicht zu durchlaufen, mithin bei unverändertem Querschnitt ein n-facher innerer Widerstand $n w_i$ zu überwinden. Der Strom von n hintereinander geschalteten (deshalb der Index h) durch den äusseren Widerstand w_l geschlossenen Elementen ergiebt sich folglich zu

$$J_h = \frac{n E}{n w_i + w_l}.$$

Die n Elemente liefern zwar hiernach, so viel ist sicher, mehr Strom als ein Element, aber durchaus nicht n mal so viel. Auf

der rechten Seite der Gleichung wird Zähler und Nenner durch n dividiert und dadurch erhalten.

$$J_h = \frac{E}{w_i + \frac{w_l}{n}}.$$

Die Stromerhöhung, die man durch Anwendung von n hintereinander geschalteten Elementen erreicht, ist gerade so gross, als ob der Wert des Nutzwiderstandes w_l die Länge des Telegraphendrahtes, auf den $n$ten Teil verkleinert würde.

Nun werden Sie auch erkennen, dass die Ihnen vorher vielleicht absurd erschienene Parallelschaltung von Elementen Sinn haben kann. Mögen die n nebeneinander geschalteten Elemente auch nur die Elektromotorische Kraft eines einzelnen haben, so haben sie in ihrer Gesamtheit nur den $n$ten Teil des inneren Widerstandes einer Zelle. Denken Sie sich, die nebeneinander geschalteten Zellen (Fig. 99 auf S. 167) lieferten nicht selbst Strom, sondern es seien n Zersetzungszellen, etwa Kupfervoltameter (Fig. 77 auf S. 119), wie eine Batterie nebeneinander geschaltet, und durch die Enddrähte würde Strom von aussen zu den Klemmen in sie hineingeschickt. Dann wird jede einzelne Zelle nicht von dem ganzen Strome, sondern nur von dessen $n$ten Teil durchflossen. Es besteht eine Stromverzweigung. Jeder Zweig hat den inneren Widerstand w_i. Der Gesamtwiderstand ist folglich $\frac{w_i}{n}$. Es ist, als ob ein elektrolytischer Leitungsweg vom n-fachen Querschnitt durchlaufen würde, wie Sie das für feste Leiter schon längst wissen (S. 21). Ob man nun von aussen Strom in parallel geschaltete Zersetzungszellen hineinschickt oder ihn in parallel geschalteten Elementen selbst erzeugt, bleibt für die Grösse des elektrolytischen Widerstandes gleichgiltig. Bei der Nebeneinanderschaltung wird also nicht die Länge der Elektrolytsäule ver-n-facht, wie bei der Hintereinanderschaltung, sondern der Querschnitt. Also keine Multiplikation des einzelnen w_i mit n, sondern Division durch n. Hintereinandergeschaltete Elemente liefern alle ein und denselben Strom, und jedes einzelne erteilt ihm den $n$ten Teil der Spannung. Bei Parallelschaltung erzeugt jedes Element einen Teilstrom, der

sich mit den andern zum Gesamtstrom vereinigt, und alle Zellen liefern die gleiche Spannung. Die Anwendung n parallelgeschalteten Zellen hat denselben Erfolg, als ob man alle ihre Elektroden in eine einzige grosse Zelle setzte, oder als ob in dieser nur zwei Elektroden mit n mal so grosser wirksamer Oberfläche vorhanden wären. Daher der französische Ausdruck für Parallelschaltung: groupement en surface. Der von einer Batterie parallel geschalteter Elemente erzeugte Strom ergiebt sich schliesslich zu

$$J_p = \frac{E}{\frac{w_i}{n} + w_l}$$

Das frühere $$J_h = \frac{E}{w_i + \frac{w_l}{n}}$$

sei zum Vergleich darunter gesetzt.

Wie dieser Vergleich lehrt, ist für den weitaus häufigeren Fall, dass der Nutzwiderstand w_l den inneren Widerstand w_i einer Zelle sehr stark überwiegt, die Reihenschaltung die einzig richtige, es sei denn, dass uns zur Zeit noch fremde Verwicklungen eintreten. Die Anwendung des Ohmschen Gesetzes auf eine galvanische Zelle war in der vorigen Vorlesung (Fig. 82 auf S. 140) graphisch dargestellt worden. Ein ähnliches Diagramm soll für einen Fall der praktischen Telegraphie gezeichnet werden. Ein telegraphischer Nutzwiderstand von 2500 Ohm werde aus einer vierzigzelligen Batterie mit Strom gespeist. Es ist kein Zweifel, dass Reihenschaltung gewählt werden muss, wenn ein nennenswerter Strom fliessen soll. Setzt man nämlich in den beiden Gleichungen

$$J_h = \frac{E}{w_i + \frac{w_l}{n}}$$

und $$J_p = \frac{E}{\frac{w_i}{n} + w_l}$$

$E = 1$, $w_i = 5$, $w_l = 2500$ und $n = 40$, so ergiebt sich J_h zu 0.0148, J_p zu 0,0004 Ampere. J_h ist in der That von der Grössenordnung des Morsestromes, der (S. 16) zu etwa 13 Milli-

ampere mitgeteilt worden war. Wollten Sie versuchen, im Diagramm Volt und Ohm im gleichen Masstab zu zeichnen, so würde auch für die in Reihe geschaltete Batterie die Linie CB so gut wie horizontal werden, denn für tg $B = 0{,}0148$ finden Sie die Grösse des Winkels B zu etwa $0^0\,55'$ angegeben. Da also ein gleicher Maasstab für Volt und Ohm die Zeichnung unmöglich macht, so muss eben der Maasstab für die Spannung viel grösser als der für den Widerstand gewählt werden. In unserm alten Diagramm (Fig. 82) war er ja auch zehnmal so

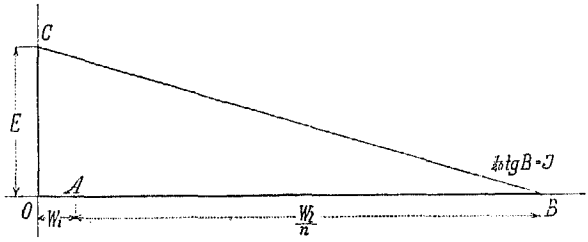


Fig. 102. Stromlieferung n hintereinander geschalteter Elemente.

gross. Nehmen wir ihn jetzt zwanzigfach. Dann wird tg $B = 20 \cdot 0{,}0148$ und B etwa $16^0\,40'$. Es wird also (Fig. 102) vertikal $OC = E$ zu 20 Teilstrichen und horizontal $OA = w_i$ zu 5 und $AB = \frac{w_l}{n}$ zu $\frac{2500}{40} = 62{,}4$ aufgetragen. Das ist das Diagramm für die Hintereinanderschaltung. Für Parallelschaltung gelingt die Zeichnung deshalb nicht, weil AB statt $\frac{2500}{40}$ jetzt 2500 Ohm wiedergeben müsste. Mehrere Dutzend Tafeln müssten neben einander hängen, um auch nur im Zwanzigstel-Maasstab das ganze, nicht durch n geteilte w_l aufzunehmen, und BC würde so gut wie horizontal verlaufen (Neigung etwa $0^0\,30'$). In kleinerem Maasstab kann aber w_l auch nicht gezeichnet werden, weil $\frac{w_i}{n}$ schon bei $^1/_{20}$ fast verschwindend klein wird. Sie sehen, wie wenig die Division des kleinen inneren Widerstandes durch die Elementenzahl im Vergleich zu der fortfallenden Verkleinerung des grossen äusseren Widerstandes ausmacht. In Fällen, wie dem angeführten, ist eben nur Reihenschaltung möglich.

10. Vorlesung.

Chemische Stromspeicherung.

Verwertung der Polarisation zu Polarisationszellen und secundären Stromquellen. — Bleielektroden. Wasserstoff-beschlagenes Blei und Bleisuperoxyd. Im Akkumulator wird elektrische Energie in chemische verwandelt und als solche aufbewahrt. — Grosse Oberfläche der Platten. Formieren nach Planté und Faure. Beispiele einiger Konstruktionen. — Capacität. Maximaler Lade- und Entladestrom. Capacität und Stromentnahme. Capacität pro Kilogramm Plattengewicht. — Chemische Vorgänge bei Entladung und Ladung. Schemata. Grundgleichung. — Bezeichnung der Klemmen. — Säuredichte. Aräometer. Ladung bis zur Gasentwicklung. Überladung. Sulfatieren. — Lade- und Entladespannung. Kurven. — Wirkungsgrad. Reinheit der Materialien. Nachfüllen von Säure und Wasser. Notwendigkeit sachgemässer Bedienung. — Geringer innerer Widerstand und seine Ursachen. Plattenanordnung. Schaltung der Zellen zur Batterie. — Zellen für Telegraphenbetrieb.

Die galvanische Polarisation ist uns bis jetzt als eine höchst lästige Erscheinung entgegengetreten. Sie raubt den chemischen Stromquellen ihre wichtigste Eigenschaft, die Constanz, wenn man ihr Eintreten nicht durch verwickelte Anordnungen verhindert. Heute wird sie sich Ihnen in besserem Lichte zeigen. Denn es ist dieselbe Polarisation, welche erlaubt, in den Akkumulatoren oder Stromsammlern elektrische Arbeit aufzuspeichern und sie ihnen zu passender Zeit oder am passenden Ort zu nützlicher Verwertung wieder zu entnehmen.

Sie lernten die Polarisation als Rückwirkung des einem galvanischen Elemente entfliessenden Stromes auf dieses Element selbst kennen. Sie tritt ebenso in einer Zersetzungszelle ein, wenn von aussen aus einer beliebigen Elektricitätsquelle Strom in sie hineinfliesst. Hier (Fig. 103a) wird, wie früher, verdünnte Schwefelsäure zwischen Platinblechen elektrolysiert. Die Bleche bedecken sich alsbald mit Gasblasen, das des Stromeintritts mit Sauerstoff, das des Stromaustritts mit Wasserstoff. Sie sind jetzt einander chemisch nicht mehr gleich und erzeugen vermöge ihres chemischen Unterschiedes eine Gegenspannung, eine Elektromotorische Gegenkraft der Polarisation gegen die

der äusseren Elektricitätsquelle. Ein Strom im alten Sinne fährt nur dann fort zu fliessen, wenn seine Spannung ausreicht, die ihm aus der Zelle entgegenwirkende zu überwinden.

Reicht die äussere Spannung dazu nicht aus, so verriegelt ihr eine solche Polarisationszelle trotz der leitenden Verbindung den Weg. Wenn Sie die Gegenspannung der Zelle zu etwa 1,6 Volt annehmen, so können Sie durch Hintereinanderschaltung von n Polarisationszellen ungefähr n . 1,6 Volt aufhalten. Wohlverstanden, gelingt das nur bei Gleichspannungen. Wechselströme können die Ionen immer nur über eine ganz kleine Strecke hin- und herschieben, sie nie wirksam vorwärts bringen und folglich auch keine Gase ausscheiden. Wechselströmen stellt sich deshalb keine Polarisation entgegen. Sie werden von der Polarisationszelle nicht aufgehalten. Die Zelle stellt also gleichsam ein Sieb dar, das Wechselströme ungehindert hindurchlässt und Gleichspannungen aufhält, eine Thatsache, von der jetzt in der Fernsprechtechnik Gebrauch gemacht wird. Genau umgekehrt wirkt eine Spule mit grosser Selbstinduktion. Sie lässt einen Gleichstrom ungehindert hindurch, setzt aber eben vermöge ihrer Selbstinduktion einer Wechselspannung einen hohen Widerstand entgegen.

Unsere Zelle (Fig. 103a) ist inzwischen unter Überwindung der Polarisation von Strom durchflossen worden. Schaltet man die äussere Stromquelle ab und beendigt dadurch den gewaltsamen Stromlauf, so fehlt der Zelle nichts zu einem galvanischen Element. Offenbar tauchen in einen Elektrolyten — verdünnte Schwefelsäure — zwei chemisch verschiedene Elektroden — Platin plus Wasserstoff und Platin plus Sauerstoff. Schliesst man jetzt die beiden Elektroden durch einen Metalldraht (Fig. 103b), so entsteht für eine kurze Zeit ein Polarisationsstrom, ein Rückstrom. Schon die einfache Überlegung sagt, dass er in einer Richtung fliessen muss, welche der des ursprünglichen Stromes entgegengesetzt ist, durch den Draht also vom Sauerstoff-beschlagenen Platin zum Wasserstoff-beschlagenen, im Electrolyten umgekehrt. Natürlich bewirkt auch der Rückstrom eine Elektrolyse und zwar eine ebenfalls der ursprünglichen entgegengesetzte. Die neue Elektrolyse führt demnach Wasserstoff-Ionen zu dem mit Sauerstoff beschlagenen Blech und Sulfat-Ionen zu dem mit Wasserstoff beschlagenen. Beide Bleche

werden dadurch von ihrem Gasbelag befreit. Der Polarisationsstrom stellt die alten Verhältnisse wieder her. Mit dem chemischen Unterschied der Elektroden verschwindet er aber auch selbst. Die sekundäre Stromquelle versiegt nach kurzer Thätigkeit. So zeigt es der Versuch; so verlangt es auch das Gesetz von

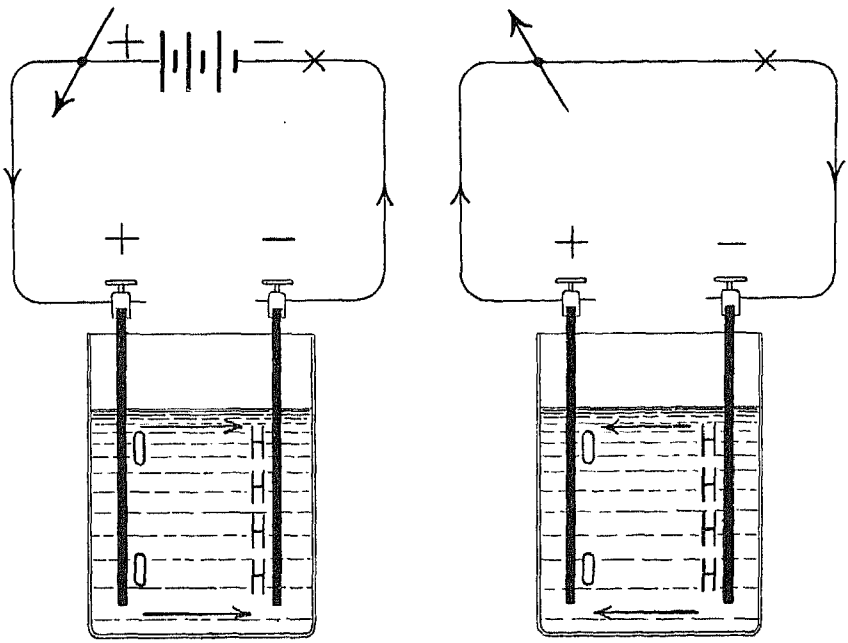


Fig. 103. Platinbleche in verdünnter Schwefelsäure.

a.

Eine äussere Stromquelle schickt unter Überwindung der Gegenspannung Strom durch die Zelle.

b.

Nach Abschaltung der äusseren Stromquelle und metallischer Verbindung der Klemmen bewirkt der chemische Unterschied der Platten einen Rückstrom.

der Erhaltung der Energie. Damit Sie sich die entgegengesetzte Richtung des die Polarisation verursachenden und des durch sie verursachten Stromes recht einprägen, will ich den Versuch nochmals ausführen und dabei neben den die Klemmen verbindenden Metalldraht einen Magneten stellen. (Schon in Fig. 103 als Nadel gezeichnet). Im ersten Fall wird der Magnet nach

links, im zweiten nach rechts abgelenkt. Der zweite Strom fliesst also dem ersten entgegengesetzt.

Eine heftigere Gegenspannung und einen länger andauernden Gegenstrom bekommt man durch die Elektrolyse der verdünnten Schwefelsäure zwischen Bleielektroden. Hier tauchen zwei Bleiplatten in verdünnte Schwefelsäure. Nur kurze Zeit geht ein Strom durch die Zelle, und schon reicht, nachdem die fremde Stromquelle abgeschaltet ist, die Polarisation aus, um einen grossen Wecker diesen unangenehmen Lärm — glücklicher Weise nicht lange — vollführen zu lassen. Die neue Stromrichtung ist auch hier, wie Sie aus der Ablenkung der neben dem Leitungsdraht stehenden Magnetnadel ersehen, der ursprünglichen entgegengesetzt. Der Vorgang ist dem bei der Elektrolyse zwischen Platinblechen ähnlich. Wasserstoff- und Sulfat-Ionen wandern einander entgegen. Wie das Platin wird auch das Bleiblech von Wasserstoff bedeckt. Der Sauerstoff heftet sich aber nicht nur an der Bleiplatte, sondern er verändert sie chemisch. Er oxydiert das Blei und zwar zu der Sauerstoff-reichsten Verbindung, die es eingehen kann, zu chokoladenbraunem Bleisuperoxyd, PbO_2, das Sie an das Mangansuperoxyd MnO_2 erinnert. Wir haben auf elektrischem Wege ein galvanisches Element, ein Sekundärelement hergestellt. Denn in den Elektrolyten: verdünnte Schwefelsäure tauchen die beiden chemisch verschiedenen Leiter erster Ordnung: Wasserstoff-getränktes Blei und Bleisuperoxyd, und zwar vertritt das Wasserstoff-getränkte Blei das Zink und das Bleisuperoxyd das Kupfer oder die Kohle eines der uns bekannten galvanischen Elemente. Im metallischen Teile des Stromkreises fliesst der Strom vom Bleisuperoxyd zu Blei plus Wasserstoff, im elektolytischen umgekehrt, wie man wieder leicht mit dem Elektrolyt-Galvanometer zeigen könnte.

Sie haben schon gefühlt, dass dieses kleine Gefäss mit den Bleiplatten in der verdünnten Schwefelsäure das Modell eines Akkumulators ist. Zuerst wird Strom in ihn hineingeschickt. Der Strom bewirkt die chemische Veränderung der Bleiplatten. Der Akkumulator wird **geladen** (Fig. 103a kann auch dafür gelten). Die äussere Stromquelle wird abgeschaltet, und nun kann die Zelle selbst als Stromquelle dienen (Fig. 103b). Während der chemische Unterschied wieder verschwindet, wird sie **entladen.**

Im Akkumulator wird die elektrische Energie in chemische verwandelt und als solche aufbewahrt. Bei Bedarf verbindet man die Klemmen mit dem Verbrauchsapparat, und die Rückverwandlung der chemischen Energie in elektrische tritt ein.

Für die Praxis wird ein Akkumulator nur dann verwendbar sein, wenn er eine grössere Energiemenge zu speichern im Stande ist, wenn sich eine stattliche Bleimenge zum einen Teil mit Wasserstoff tränkt, zum anderen in Superoxyd verwandelt. Man bietet deshalb durch Verwendung von Bleiplatten mit grosser Oberfläche dem chemischen Angriff eine breite Front dar. Von unserm akademischen Standpunkte aus, bleibt

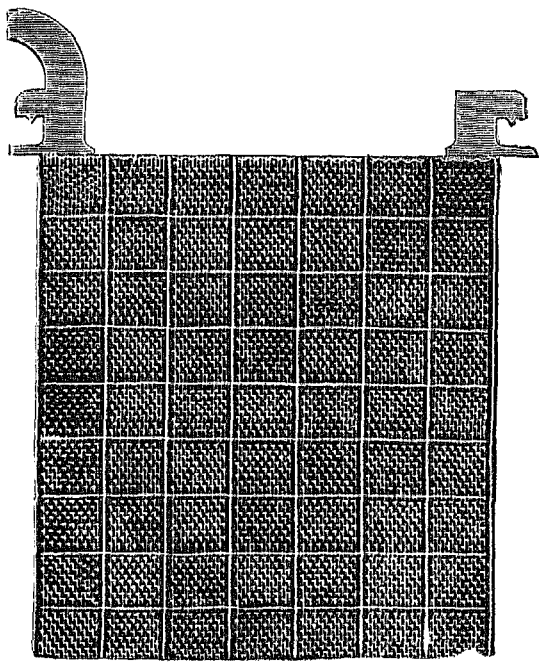


Fig. 104. Gewalzte Platte von Pollak.

es sich dabei gleichgiltig, ob man — wie zum Beispiel beim Pollakschen Verfahren — den langen Bleibändern, welche nachher quer in einzelne Platten (Fig. 104) zerschnitten werden, ein reiches Reliefmuster von Wellen, Rippen, Leisten, Haken

oder Nasen zwischen gezahnten Stahlwalzen einpresst, oder ob man, wie zum Beispiel in Hagen (Fig. 108 auf S. 184), den Platten eine ähnliche Modellierung erteilt dadurch, dass man sie in mit grosser Kunst hergestellten Formen giesst.

Aber massive Bleiplatten, mögen sie noch so reich modelliert sein, verhalten sich gegen die andringenden Gase immer noch zu abweisend. Sie nutzen sie nur wenig aus und speichern nur eine kleine Elektricitätsmenge. Die Platten müssen von ihrer Oberfläche aus erst ordentlich aufgelockert werden. Das geschieht am besten durch das Laden selbst, so dass allmählich kleine Höhlen und Zerklüftungen in die Plattenoberfläche und weiter in ihr Inneres gefressen werden. Beim erneuten Laden dringt dann die chemische Veränderung wesentlich tiefer in die Platten ein, als zuvor. Auch ist bald in einem, bald im anderen Sinne zu laden, weil durch das Umladen der jedesmalige chemische Eingriff in die Platten besonders gründlich wird. Dieses Verfahren, durch den Ladevorgang selbst die Bleiplatten elektrisch gleichsam aufzuschliessen, zu „gerben", seine Bezeichnung als Formieren, wie überhaupt ein grosser Teil der Grundlagen unserer heutigen Akkumulatorentechnik, rührt von dem Erfinder des Bleiakkumulators, Planté, her.

Den Einfluss des Formierens können Sie schon an unserm Modell sehen. Die Platten von eben sind heute zum ersten Male benutzt worden. Sie können keine grosse Elektricitätsmenge aufspeichern. Nach kurzer Stromabgabe sind sie erschöpft. Hier ist aber ein Paar ganz ähnlicher Platten, die schon öfter zu diesen Versuchen gedient haben und, da ich absichtlich an den Klemmen kein Plus- und Minuszeichen angegeben habe, bald im einen, bald im andern Sinne geladen worden sind. Diese lassen sich schon bedeutend länger mit Nutzen laden und geben, wie der beharrliche Galvanoskopausschlag anzeigt, einen lang andauernden Entladestrom.

Im Wettbewerb mit dem Formierungsverfahren Plantés stand für eine Reihe von Jahren eins, dessen Prinzip sein Assistent Faure angegeben hat. Dieser benutzte zwei Bleioxyde, die an Sauerstoff-arme, gelbe Bleiglätte $Pb\,O$ und die Sauerstoff-reichere, feurig rote Mennige $Pb_3\,O_4$. Mit einem Bindemittel zu einem Brei angerührt, werden diese Oxyde in gitterartig gegossene Bleiplatten, wie diese hier (Fig. 105) oder durch Walzen mit

Rippen, Häkchen, Nasen und ähnlichen Vorsprüngen versehene mit einem Spatelholz hineingeschmiert und zwar die Mennige in das später positive und die Glätte in das später negative Gitter. Die Platten werden dann gehärtet, in Zellen eingebaut und mit Strom beschickt. Der durch die Elektrolyse der ver-

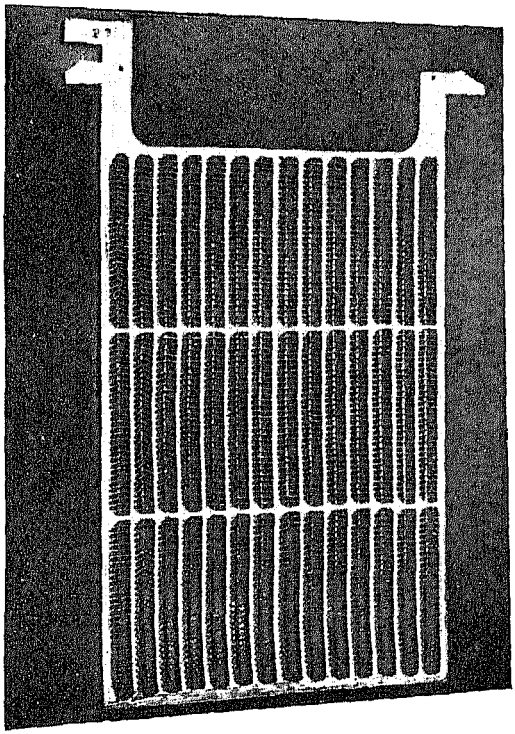


Fig. 105. Gitter der Kölner Akkumulatorenwerke.

dünnten Schwefelsäure indirekt gebildete Sauerstoff oxydiert die Mennige durch und durch zu Bleisuperoxyd, und der in der Stromrichtung bewegte Wasserstoff reduziert die Glätte zu schwammigem metallischem Blei. Der Vorgang wird für die positive Elektrode durch:

$$Pb_3\,O_4 + 2\,O = 3\,Pb\,O_2$$

und für die negative durch:

$$Pb\,O + 2\,H = Pb + H_2\,O$$

wiedergegeben. Während das Plantésche Verfahren auch in der jetzigen Ausführung noch viel Zeit und viel elektrische Energie kostet, werden auf die zuletzt beschriebene Weise die Platten in kurzer Zeit und ohne grossen Aufwand an elektrischer Energie fertig. Sie bestehen aus einem Bleigerüst, das mit poröser aktiver, das heisst an Ladung und Entladung thätig teilnehmender Masse gefüllt ist. Die sich an ihr vollziehenden chemischen Vorgänge verändern die Platten so durch und durch, dass an deren mechanische Widerstandsfähigkeit die höchsten Anforderungen gestellt werden. Den heftigsten Angriff muss die positive Platte aushalten, und es kam bei positiven nach Faure hergestellten Platten gewöhnlich vor, dass die bei den chemischen Vorgängen ihr Volumen verändernde aktive Masse aus ihrem gitterförmigen Träger in Brocken herausfiel. Die herausgefallene Masse bildete dann leicht von Platte zu Platte eine leitende Brücke von geringem Widerstande. Ein starker Kurzschlussstrom entlud sofort die ganze Zelle. Ihre Elektromotorische Kraft verschwand, die aufgespeicherte Arbeit war zu nutzloser Schwefelsäurezersetzung verschwendet worden. Auch nach Entfernung der herausgefallenen Masse blieben die Platten doch durch die plötzliche Entladung in ihrer Güte gemindert und gaben bei nächster Gelegenheit zu neuen Störungen Anlass. Mit einigen Ausnahmen fertigen leistungsfähige Firmen deshalb keine positiven Platten mehr nach dem Faureschen Verfahren an. Zu diesen Ausnahmen gehört in Deutschland neben den Kölner Akkumulatorenwerken, von denen ich Ihnen ein Gitter (Fig. 105) vorzeigte, die Bösesche Fabrik. Sie füllt einen Hartbleirahmen dieser Form (Fig. 106) — Hartblei ist eine Legierung von viel Blei und wenig Antimon — oder mit Ausnahme eines

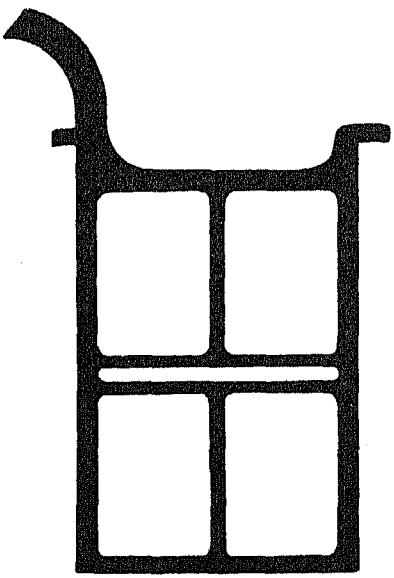


Fig. 106. Boesesches Gitter mit Schlitz.

Schlitzes oder mehrerer mit einem Gemisch von Bleiverbindungen und Produkten der Theerfabrikation. Ein geheimgehaltener Vorgang macht die Platten steinhart, so dass sie beim Anschlagen geradezu metallisch klingen. Sie besitzen offenbar eine grosse Festigkeit, wenn man sich auch über deren Ursprung wundern mag. Bekanntlich werden sie sogar in den Batterien verwendet, mit denen das Reich seine Bahnpostwagen[1]) erleuchtet (Fig. 107).

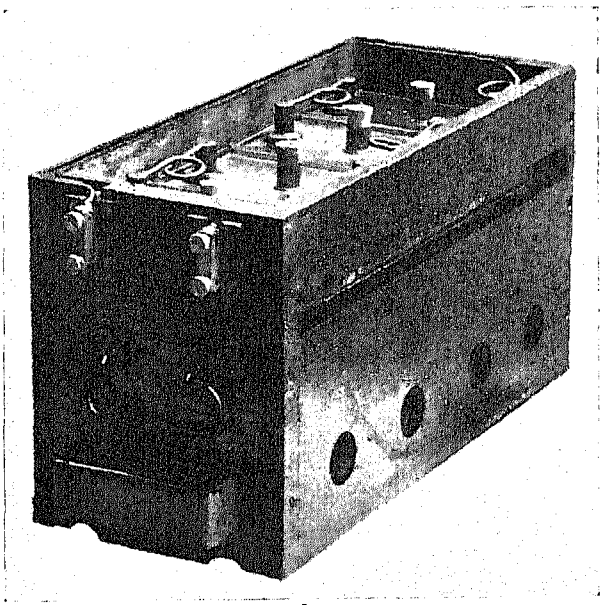


Fig. 107.
Vierter Teil einer Böseschen Batterie zur Beleuchtung eines Bahnpostwagens.

Trotzdem die Zellen im Eisenbahnwagen fortgesetzt gerüttelt und geschüttelt werden, halten sie immerhin ein Jahr und mehr aus, für eine Masseplatte eine achtungswerte Lebensdauer.

Im Allgemeinen ist man, wie gesagt, für die positiven Platten auf das ursprüngliche, elektrische, nur durch Kunst-

[1]) Ein merkwürdiger Zufall lässt mich die Korrektur dieses Bogens in einem ausländischen Coupé lesen, das von einer deutschen Firma mit zwei Glühlampen verhältnismässig prächtig beleuchtet ist. Unsere Eisenbahn hält freilich noch immer an der ungenügenden Flammenbeleuchtung fest.

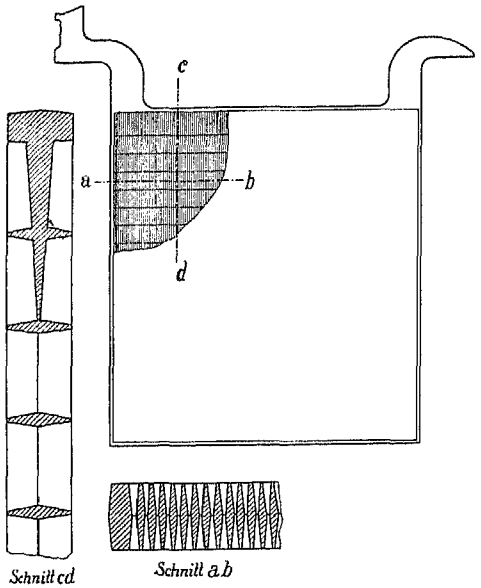


Fig. 108. Positive Hagener Platte. (Platte $^1/_4$, Schnitte annähernd $^1/_1$.)

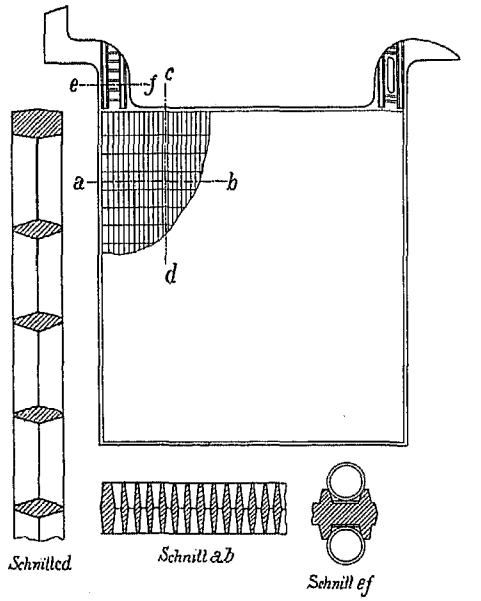


Fig. 109. Negative Hagener Platte.
(Platte $^1/_4$, Schnitte $c\,d$ und $a\,b$ annähernd $^1/_1$, $e\,f$ $^1/_2$.)

griffe beschleunigte Formierungsverfahren zurückgekommen. Höchstens bedeckt man die Platte oberflächlich auf mechanischem oder chemischem Wege mit einer dünnen Schicht lockeren Bleies, welche ihr besonders über die erste Zeit ihrer Thätigkeit, wo der Bleikern noch nicht genügend zugänglich ist, hinforthelfen soll. Zum Festhalten der aufgetragenen Bleischicht dient die Plattenmodellierung, wie bei der Pollakschen Platte (Fig. 104) die Häkchen.

Die bekannteste deutsche Firma, die Akkumulatoren-Fabrik A. G. in Hagen, formiert ihre positiven Platten, deren Modellierung Sie aus dieser Zeichnung (Fig. 108) erkennen, elektrisch. Die negativen Platten (Fig. 109) sind zu ähnlichen, nur weitmaschigeren Gittern ausgebildet und werden nach dem für negative Platten allgemein beibehaltenen Verfahren mit einem Mennigebrei gefüllt, geschmiert.

Ganz eigenartig fabriziert Gülcher. Auf einem Webstuhl wird ein Gewebe mit dünnen Bleidrähten als Kette und feiner Glaswolle als Schuss erzeugt. Das Gewebe wird zu Plattengrösse zugeschnitten, nach Bloslegung der Drahtenden mit einem Bleirahmen umgossen (Fig. 110) und mit aktiver Masse gefüllt. Eine Schicht Glaswolle wird dann noch zwischen die einzelnen Platten einer Zelle gefügt und das Ganze von aussen fest zusammengehalten. Die Masse ist eben so locker, dass die chemischen Veränderungen ihr Volumen ausdehnen können, ohne dass dazu nach aussen Platz gebraucht würde. Trotz des lockeren Gefüges in ihrem Innern sind deshalb die Gülcherzellen sehr strapezierfähig. Es wäre ihnen schon wegen ihres geistvollen Grundgedankens und seiner glücklichen technischen Durchführung eine allgemeinere Anwendung wenigstens für transportable Zellen zu wünschen.

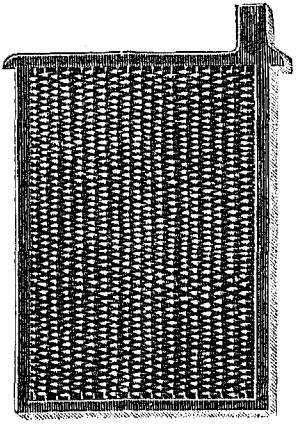


Fig. 110.
Gülchers gewebte Platte.

Die rein nach Planté fabrizierten positiven Platten bieten dem Käufer noch den Vorteil, dass durch den Gebrauch die Formierung weiterschreitet, demnach das Aufspeicherungs-

vermögen der Zelle wächst. Unter dem Aufspeicherungs- oder Fassungsvermögen einer Zelle versteht man nämlich diejenige Elektricitätsmenge, welche man der vollkommen geladenen Zelle entnehmen kann, bis sie praktisch als entladen angesehen wird. Man nennt diese Zahl gewöhnlich die Capacität der Zelle, wobei man sich freilich hüten muss, an statische Capacitäten, gemessen in MF, zu denken. Die Capacität einer Sammlerzelle ist die von ihr abzugebende Elektricitätsmenge, zu messen in Coulomb gleich Amperesekunden, praktisch in Amperestunden. Sie bestimmt sich nach $Q = J \cdot t$ als der durchschnittliche Entladestrom, multipliziert mit der Dauer der Entladung. Eine Bahnpostzelle, welche 7 Ampere 10 Stunden lang hergiebt, hat eine Capacität von 70 Amperestunden. Für die Zellen einer grossen Berliner Bahnzentrale wird eine Capacität von 14 000 Amperestunden angegeben. In der Schwachstromtechnik kommt man mit viel kleineren Capacitäten aus. In Deutschland werden für Telegraphierbatterien 15, für Mikrophonzellen 40 Amperestunden als reichlich angesehen.

Natürlich muss man, um aus einer Zelle eine bestimmte Elektricitätsmenge entnehmen zu können, eine etwas grössere in sie hineingeladen haben, um den durch unwirksam entwickeltes Gas verursachten Verlust zu decken. Man kann annehmen, dass ein Akkumulator im normalen Betriebe bis zu 92 % der eingeladenen Elektricitätsmenge wieder hergiebt.

Zur Erhaltung der Capacität ist es verboten, stärkere Ströme ein- oder auszuladen, als vom Fabrikanten für die betreffende Zelle als zulässig angegeben ist. Geht man bei der Ladung oder Entladung über diesen maximalen Strom hinaus, so verlaufen die Veränderungen der Platten allzu heftig. Diese elektrischen Stösse sind dem Akkumulator ebenso verderblich, wie die mechanischen. Sie setzen seine Capacität herab und richten ihn allmählich zu Grunde. Man baut aber Zellen für jede gewünschte Stromstärke, durch Anwendung einer grossen Anzahl mächtiger Platten selbst für mehrere Tausend Ampere. Jeder kann sich mithin eine für seinen Zweck passende Type kaufen und sie dann ohne Schaden so weit als nötig beanspruchen.

Nach dem, was Sie über die Schädlichkeit zu grosser Ströme gehört haben, wird es Sie nicht Wunder nehmen, dass man in kleineren Strömen grössere Elektricitätsmengen aus ein und

derselben Zelle herausbekommt, als in grösseren. Zu den Vorgängen im Akkumulator gehört, wie wir das ähnlich schon beim Hellesenelement sahen, Zeit, und wenn man ihnen diese Zeit zu ihrer Vollendung lassen kann, wird man durch einen elektrischen Gewinn entschädigt, gerade wie unser Körper die Nahrung besser ausnützt, wenn sie in Musse, als wenn sie hastig verzehrt wird.

So erholen sich einerseits häufig die Zellen, wenn man die Entladung durch eine Pause unterbricht. Die Spannung steigt während dieser Pause wieder über den Wert an, bis zu dem sie abgefallen war. Andererseits kommt man dadurch in die Lage, für dieselbe Zelle verschiedene Werte der Capacität anzugeben, wie es die Firmen thatsächlich thun. Natürlich entspricht einem kleineren Entladestrom eine grössere Capacität, wie es Ihnen für eine bestimmte Zelle dieses Diagramm (Fig. 111) zeigt.

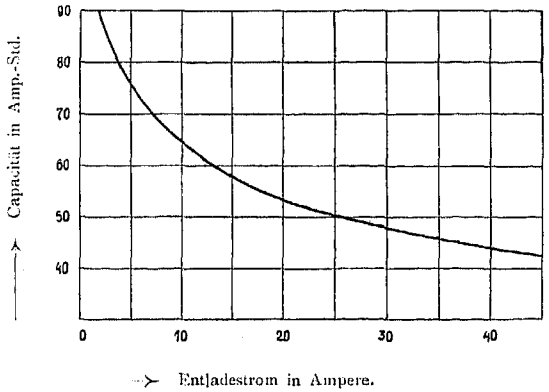


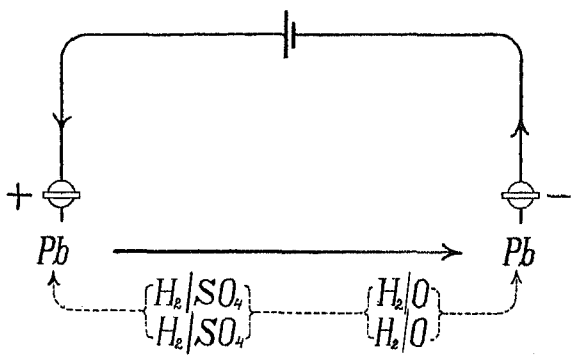
Fig. 111. Abhängigkeit der Capacität vom Entladestrom. Nach Liebenow.

Zum Vergleich verschiedener Zellen setzt man ihre Capacität in Beziehung zum Gewicht der Zelle oder auch nur der Platten, weil Gefäss, Zubehör und Säure bei verschiedenen Zellen gleicher Capacität ungefähr gleich viel wiegen. Diese Zahl: Capacität pro Kilogramm Plattengewicht muss bei den Bleiakkumulatoren immer klein bleiben. Denn, wie bekannt, macht das Blei mit seinem spezifischen Gewicht von über Elf die Platten ungeheuer schwer. Nicht minder bekannt sind die Bemühungen, das Blei

durch leichtere Materialien zu ersetzen, Bemühungen, welche bis jetzt noch zu keinem technischen Ergebnis geführt haben.

Wenn nun die Akkumulatorenindustrie des schweren Bleies nicht erraten kann, so trachtet sie seit ihrem Bestehen dahin, die Zahl $\frac{\text{Capacität}}{\text{Zellengewicht}}$ möglichst zu erhöhen, ein Bestreben, dem die notwendige mechanische Festigkeit der Platten eine baldige Grenze setzt. Stationäre Zellen, deren positive Platten nach Planté formiert sind, geben etwa drei Amperestunden pro Kilogramm Zellengewicht her, während man für ebensolche transportable Zellen die Zahl bis auf das Doppelte heraufschraubt. Für transportable Sammler mit Masseplatten werden sieben, acht und noch höhere Zahlen angegeben.

Zur Betrachtung der chemischen Vorgänge im Akkumulator erinnern Sie sich an den Versuch, neue, noch nicht gebrauchte Bleiplatten in verdünnter Schwefelsäure mit Strom zu beschicken. In bekannter Weise wandern mit dem Strom zum negativen Bleiblech die Wasserstoff-, gegen den Strom zum positiven die Sulfat-Ionen. Es entsteht Wasserstoff-getränktes Blei und durch die indirekte Entbindung von Sauerstoff aus dem Wasser Bleisuperoxyd. Die erste Ladung wird demnach durch das Schema:



wiedergegeben.

Bei der Entladung kehrt der Strom seine Richtung um, so dass er im Elektrolyten jetzt vom Wasserstoff-getränkten Blei zum Bleisuperoxyd fliesst. Der Wasserstoff wandert zum

Bleisuperoxyd, entreisst ihm die Hälfte seines Sauerstoffs und verbrennt ihn zu Wasser. Das Bleisuperoxyd geht in Bleioxyd über, welches sich mit der Schwefelsäure zu Bleisulfat und Wasser umsetzt.

$$Pb\,O_2 + H_2 = Pb\,O + H_2\,O$$
$$Pb\,O + H_2\,SO_4 = Pb\,SO_4 + H_2\,O$$

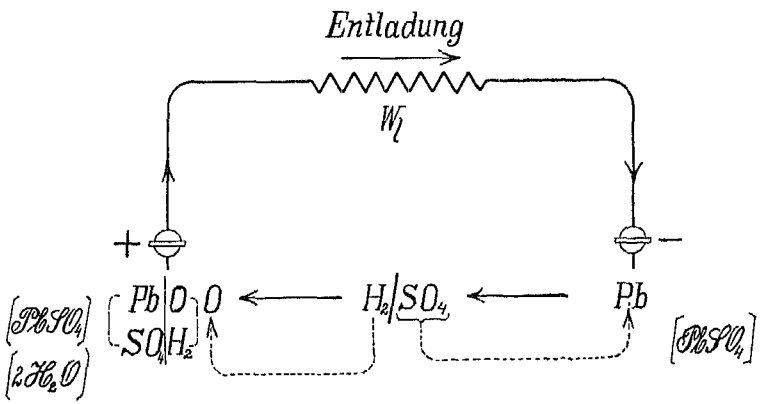
Andererseits wird der negativen Platte erst der an ihr haftende Wasserstoff durch den auf sie zugeführten Sulfatrest fortgenommen und darauf ihr Blei in Bleisulfat verwandelt nach:

$$Pb + H_2 + 2\,(SO_4) = H_2\,SO_4 + Pb\,SO_4.$$

Bei der gewöhnlichen Ladung wird das negative Blei nur wenig mit Wasserstoff getränkt. Für die praktische Entladung kann man diesen Wasserstoff ganz vernachlässigen und nur von Bleisuperoxyd und Blei als den wirksamen Elektroden ausgehen. Es gilt dann für den **Entladungsvorgang** die Gesamtgleichung

$$\overset{+}{Pb}\,O_2 + \overset{-}{Pb} + 2\,H_2\,SO_4 = 2\,Pb\,SO_4 + 2\,H_2\,O$$

und das Schema:



Bei der erneuten **Ladung** findet der umgekehrte Vorgang statt. Der mit dem Strom bewegte Wasserstoff reduziert das Bleisulfat der negativen Elektrode zu Blei. Wird noch weiter geladen, so wird das Blei mit Wasserstoff getränkt.

$$Pb\,SO_4 + H_2 = \overline{Pb} + H_2\,SO_4$$

oder

$$Pb\,SO_4 + 2\,H_2 = \overline{Pb + H_2} + H_2\,SO_4.$$

Hiervon werde aber wieder abgesehen. Die zur positiven Elektrode bewegte Sulfatgruppe zersetzt dort eine Molekel Wasser und macht dessen Sauerstoff frei. Inzwischen wird aus dem Bleisulfat und einer zweiten Molekel Wasser Schwefelsäure und Bleioxyd, welches Bleioxyd der Sauerstoff in Bleisuperoxyd verwandelt. Eine Gleichung für den Ladungsvorgang an der positiven Elektrode würde lauten:

$$Pb\,SO_4 + (SO_4) + 2\,H_2\,O = \overset{+}{Pb}\,O_2 + 2\,H_2\,SO_4.$$

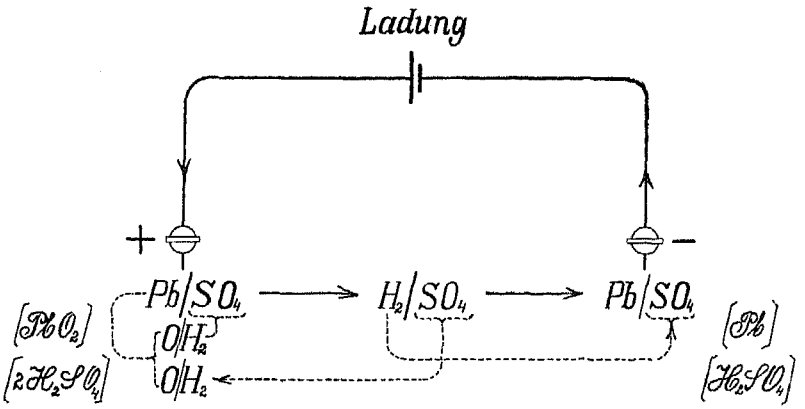
Insgesamt ergiebt sich die **Ladungsgleichung:**

$$2\,Pb\,SO_4 + H_2\,SO_4 + 2\,H_2\,O = \overset{+}{Pb}\,O_2 + \overline{Pb} + 3\,H_2\,SO_4$$

oder einfacher

$$\boldsymbol{2\,Pb\,SO_4 + 2\,H_2\,O = \overset{+}{Pb}\,O_2 + \overline{Pb} + 2\,H_2\,SO_4}$$

und das Ladungsschema:



Ladungs- und Entladungsvorgang werden, wie man sieht, durch dieselbe Gleichung wiedergegeben, wenn man Ausgangs- und Endprodukt, rechte und linke Seite, vertauscht. Der Akkumulator ist ein wahres Kehrelement. Beide Gleichungen lassen sich deshalb zu einer Grundgleichung vereinigen; die man für die Entladung von rechts nach links oder für die Ladung von links nach rechts lesen kann.

$$Pb^{+}O_2 + Pb + 2\,H_2SO_4 \underset{\text{Ladung}}{\overset{\text{Entladung}}{\rightleftharpoons}} 2\,PbSO_4 + 2\,H_2O$$

Die Klemmenbezeichnung eines Akkumulators ist bei der Ladung und Entladung gleich, trotzdem in beiden Fällen die Ströme einander entgegengesetzte Richtung haben. Bei der Entladung stellt der Akkumulator eine Stromquelle vor. Der Strom fliesst zur positiven Klemme aus ihm heraus. Die braune Bleisuperoxydplatte trägt die positive, die graue Bleiplatte die negative Klemme. Mit der Ladung wird der Sammler aus einer Stromquelle ein Stromempfänger. Zur positiven Klemme fliesst jetzt der Strom, der Ladestrom, in ihn hinein. Bei der Ladung bleibt deshalb — um es zu wiederholen — die Klemmenbezeichnung die gleiche, wie bei der Entladung. Deshalb

gilt für das Laden die Regel, mit der positiven Klemme der ladenden Stromquelle die positive Klemme der Akkumulatorenbatterie und ebenso die beiden negativen zu verbinden. (Vgl. auch Fig. 103 auf S. 177.)

Aus der Grundgleichung für die Chemie des Akkumulators lässt sich unter anderen folgende wichtige Thatsache erkennen. Bei der Entladung verschwinden zwei Molekeln Schwefelsäure und es entstehen zwei Molekeln Wasser. Da auch Schwefelsäure dicker ist als Wasser, nimmt das spezifische Gewicht des Elektrolyten bei der Entladung ab. Beobachtet man eine Zelle während der Entladung, so sieht man an den Elektroden in der Flüssigkeit Schlieren — von verdünnter Säure — aufsteigen. Bei der Ladung fliessen umgekehrt Schlieren — starker Säure — an den Platten hinab; entstehen doch jetzt zwei Molekeln Schwefelsäure, während zwei Molekeln Wasser verschwinden. Bei der Ladung steigt demnach das spezifische Gewicht der Säure.

Die Beobachtung des spezifischen Gewichtes des Elektrolyten liefert ein bequemes Mittel, über den jeweiligen Ladezustand einer Batterie einen Anhalt zu gewinnen. In einer Zelle jeder stationären Batterie schwimmt deshalb immer ein solches Aräometer (Fig. 112). Bei seitlichem Daraufsehen (Fig. 112 unten rechts) erkennt man, dass der untere Teil des Aräometerkörpers von vorn nach hinten plattgedrückt ist, um in der Zelle zwischen den Platten Raum zu finden. Dieses Instrument trägt eine Einteilung von 1,30 bis 1,05, entsprechend einem ungefähren Gehalt des Elektrolyten von 39 bis 4% Schwefelsäure. Zu oberst steht natürlich das kleinste spezifische Gewicht, denn das Aräometer muss in die spezifisch leichtere Flüssigkeit tiefer einsinken, um von ihr dasselbe Gewicht, wie von der schwereren, zu verdrängen. Dieses englische Aräometer (Fig. 113) eignet sich zur Messung der Säuredichte in allen Schichten des Elektrolyten, nicht nur in der oberen und auch besonders für transportable Zellen. Wie man es benutzt, lehrt der Augenschein.

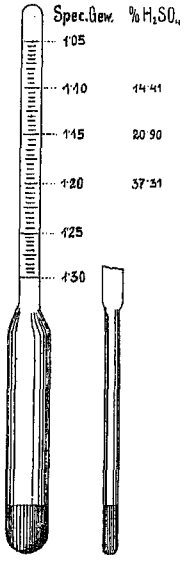


Fig. 112
Akkumulatoren-Aräometer.

Die Änderung der Säuredichte bewegt sich in jedem einzelnen Falle in viel engeren Grenzen, als die Aräometerteilung vermuten lässt. Hat in der geladenen Batterie die Säure zum Beispiel ein spezifisches Gewicht[1]) von 1,17, was einem ungefähren Gehalt von 23,5 % H_2SO_4 entspricht, so sinkt bei der Entladung das Aräometer bis zur Marke 1,14 ein, weil im Elektrolyten nur noch 20 % Schwefelsäure vorhanden sind. Eine andere Zelle zeigt die Grenzwerte 1,20 (27,3 %) und 1,18 (24,8 %). Die verschiedenen Fabriken schreiben ihrer Ausgangssäure eine verschiedene Dichte vor, die für jeden einzelnen Fall aus der der Batterie beigegebenen Bedienungsvorschrift zu ersehen ist.

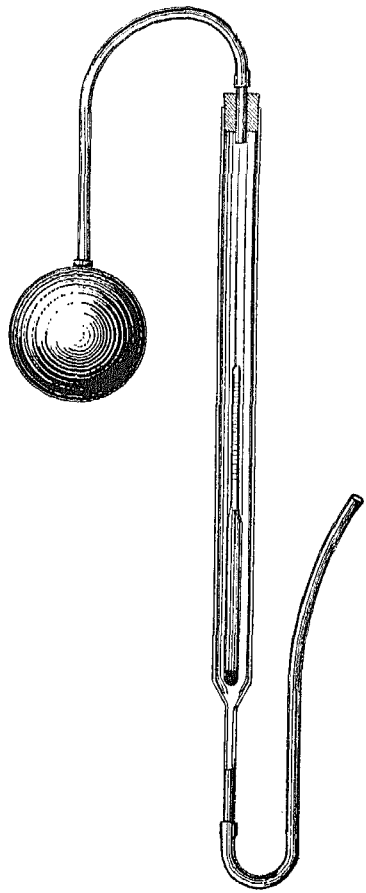


Fig. 113.
Aräometer englischer Konstruktion.

Nähert sich die Ladung ihrem Ende, so beginnt an den Elektroden — zuerst an den positiven — eine immer heftigere Gasentwicklung, welche anzeigt, dass die Produkte der Elektrolyse nicht mehr nützlich verwertet werden. Für gewöhnlich wird die Ladung so weit getrieben, bis beide Arten von Platten gleich stark Gas entwickeln. Bleibt eine Zelle hinter den andern in der Gasentwicklung zurück, obgleich sie nicht stärker beansprucht worden ist, als die andern, so hat sie irgend ein Gebrechen, das sofort aufgesucht werden muss. In jedem Akkumulatorenraum findet sich zu dem Zweck eine bewegliche Glühlampe, mit der man die Zellen von alien Seiten und unten ableuchten kann. Vorschriftsmässig soil das übrigens alle

[1]) Statt der spezifischen Gewichte wird man sich die lästigen, aber in der Praxis allgemein gebräuchlichen Beaumégrade einsetzen können.

Woche mit sämtlichen Zellen der Batterie geschehen. Bei dieser Gelegenheit sei darauf hingewiesen, dass in einem Akkumulatorenraum wegen des auch bei guter Lüftung immer etwas vorhandenen Knallgases keine Flamme entzündet werden darf. Es soll also geladen werden, bis alle Platten Gas entwickeln. Nur hin und wieder — bei täglich benutzten Zellen höchstens alle vierzehn Tage — soll die Ladung trotz heftiger Gasentwicklung noch fortgesetzt, die Batterie überladen werden.

In enger Beziehung zum Gehalt des Elektrolyten an Schwefelsäure steht auch die bis jetzt noch nicht betrachtete Elektromotorische Kraft eines Akkumulators und damit seine Klemmenspannung. Da, wie noch zu besprechen ist, die Zellen einen ausserordentlich kleinen inneren Widerstand haben, fallen Elektromotorische Kraft und Klemmenspannung so gut wie zusammen. Hier (Fig. 114)

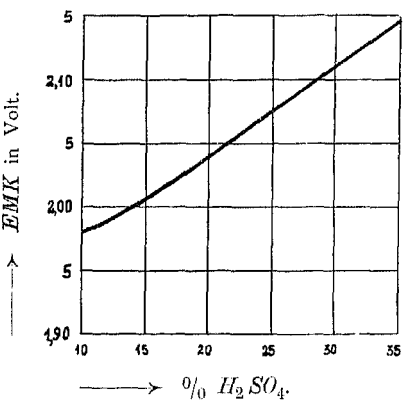


Fig. 114. Abhängigkeit der Elektromotorischen Kraft einer Sammlerzelle vom Säuregehalt. Nach Dolezalek.

ist für eine bestimmte Sammlerzelle in demselben Ladezustand die Elektromotorische Kraft in Abhängigkeit von dem Säuregehalt aufgetragen. Die Volt steigen nahezu geradlinig mit den Prozenten H_2SO_4 an. Man würde deshalb im Akkumulator weit stärkere Schwefelsäure als üblich anwenden, wenn nicht die Gefahr eines unmittelbaren chemischen Angriffs der Platten durch die Schwefelsäure davon abhielte. Ein solcher Angriff, nach

$$Pb + H_2SO_4 = PbSO_4 + H_2,$$

überzieht die Platten mit einer zusammenhängenden weissen Schicht von Bleisulfat. Er ist als Sulfatieren von jedem Akkumulatorenbesitzer gefürchtet und tritt besonders dann ein, wenn die Batterie längere Zeit in entladenem Zustande stehen bleibt. Dieses ist also unbedingt zu vermeiden; denn gründlich sulfatierte Platten nehmen nicht mehr am Lade- und Entladevorgang teil. Nur wenn rechtzeitig eingegriffen wird, kann man sie durch mehrmalige abwechselnde Überladung und Entladung wieder brauchbar machen. Man nimmt an, dass dann der heftige chemische Vorgang, besonders die Gasentwicklung, das Bleisulfat lockert und fortspült. Übrigens bleibt es merkwürdig, dass derselbe hier so schädliche Körper im normalen Betriebe als ganz unschuldig entstehen und nur durch seine feine Verteilung von der neuen Ladung so willfährig in Blei und Bleisuperoxyd zurückverwandelt werden soll.

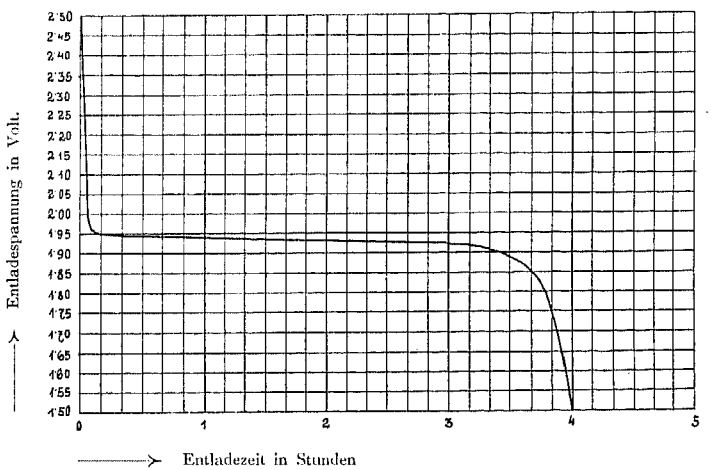


Fig. 115. Verlauf der Klemmenspannung eines Akkumulators während der Entladung.

Das Ansteigen der Elektromotorischen Kraft mit der Säuredichte erklärt ein wenig die verschiedenen Klemmenspannungen eines Akkumulators bei verschiedenem Ladezustande. Hier haben Sie im Lichtbilde zwei Diagramme vor sich. Das erste (Fig. 115) stellt die Klemmenspannung einer Zelle bei Entladung,

die Entladespannung E_k'' in Abhängigkeit von der Zeit der Entladung vor. In den ersten fünf Minuten der Entladung stürzt die Spannung auf 1,95 Volt herunter und hält sich dann durch drei Stunden nahezu constant. In der ganzen Zeit sinkt sie nur um etwa drei Hundertstel Volt, während sie dann in immer schnellerem Tempo vollständig abfällt. Für die technische Entladung, deren Constanz ausserordentlich wichtig ist, kommt deshalb nur die Strecke zwischen 1,95 bis 1,90 bis höchstens 1,85 Volt in Betracht. Tiefere Entladungen schädigen den Akkumulator, abgesehen von ihrem geringen Ertrag, und sind verboten.

Aehnliches, nur umgekehrt, giebt das zweite Diagramm (Fig. 116) wieder. Bei Beginn der Ladung steigt die Klemmen-

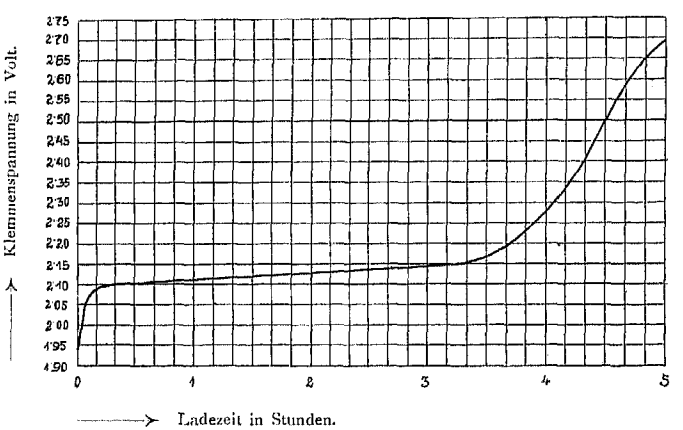


Fig. 116. Verlauf der Klemmenspannung eines Akkumulators während der Ladung.

spannung E_k' sofort auf 2,10 Volt an und verläuft dann über drei Stunden nahezu constant unter der geringen Zunahme von nur fünf Hundertstel Volt. Eine reichliche Stunde weiterer Ladung bringt dann die Spannung auf 2,5 Volt und eine noch längere Fortsetzung treibt sie schnell bis auf 2,7 Volt hinauf. Die eigentliche technische Ladung liegt zwischen 2,10 und 2,15 Volt und der schnell ansteigende Ast von 2,5 in der Gasentwicklung, welche die Ladung gewöhnlich abbrechen heisst. Bei Ueberladung steigt die Klemmenspannung bis 2,7 Volt an.

Der Unterschied der Lade- und Entladespannung und die Veränderung der Spannung während des Lade- und Entladevorgangs wird, wie schon erwähnt, durch Aenderungen im Säuregehalte des Elektrolyten, besonders in oder an den Platten, erklärt. In Erinnerung an unser Diagramm (Fig. 114 auf S. 194) leuchtet im Allgemeinen diese Erklärung ein. Nur vermisst man einen wirklichen Grund dafür, warum Lade- und Entladekurve gerade so eigentümlich verlaufen und je an zwei Stellen unvermittelt ihre Richtung ändern.

Der Unterschied in der Klemmenspannung beim Laden, E_k', und beim Entladen, E_k'', drückt den Wirkungsgrad[1]) des Akkumulators, das heisst den Quotienten aus der hergegebenen Arbeit A'' zur vorher eingeladenen A', herab. Von der eingeladenen Elektricitätsmenge Q' sollte man normaler Weise bis 92 % wieder bekommen. Als Beispiel ist demnach $\frac{Q''}{Q'} = 0{,}92$. Nehmen Sie die mittlere Ladespannung E_k' zu 2,2 Volt und die mittlere Entladespannung E_k'' zu 1,92 Volt an, so ergiebt sich das Verhältnis der Arbeiten

$$\frac{A''}{A'} = \frac{E_k'' \cdot Q''}{E_k' \cdot Q'} = \frac{1{,}92}{2{,}2} \cdot 0{,}92 = 0{,}8$$

oder ein Wirkungsgrad von etwa 80 %. Von der zum Laden des Akkumulators aufgewandten Arbeit gehen in ihm 20 % nutzlos verloren. Er gleicht auch darin einer Maschine. Sein Nutzeffekt scheint als der einer elektrischen Maschine nicht besonders gross. Gegen den galvanischer Elemente ist er allerdings glänzend. Man denke nur an die Verschwendung an Substanz, das heisst an dem ihm chemisch mitgegebenen Arbeitsvorrat, den das Telegraphenelement treibt; lösen doch in Folge der Kupferausscheidung auf dem Zink Lokalströme die Zinkelektrode ohne jegliches nutzbare elektrische Entgelt auf. Beim Akkumulator sind die Produkte der Elektrolyse in der

[1]) Manche Lehrbücher machen für die Akkumulatoren im Gegensatze zu der bei anderen Maschinen üblichen Ausdrucksweise einen künstlichen und verwirrenden Unterschied zwischen Wirkungsgrad und Nutzeffekt. Beide Worte sollten immer nur den Quotienten der Arbeiten bezeichnen.

Schwefelsäure wenig löslich, und dann bestehen beide Elektroden aus Blei. Lokalströme wie beim Telegraphenelement sind beim Akkumulator deshalb solange ausgeschlossen, als nicht fremde Metalle in ihn hineingelangen. Dann findet auch beim Akkumulator, und zwar in kürzester Zeit, Selbstentladung statt. Die Platten sind deshalb aus ganz reinen Ausgangsmaterialien herzustellen. Auch ist, damit man wirklich reine Schwefelsäure erhalte, beim Ankauf ausdrücklich anzugeben, dass sie zur Füllung von Akkumulatoren gebraucht wird. Sie darf auch nicht in eisernen oder zinkenen Gefässen aufbewahrt werden. Die gleiche Reinheit wird von der Schwefelsäure und dem destillierten Wasser verlangt, welche in die im Betriebe befindliche Batterie nachgefüllt werden. Beide dürfen keine Salzsäure enthalten, worauf sie trotz aller Angaben des Lieferanten mit Silbernitrat geprüft werden sollen. Man hat für diese Prüfung durch Nicht-Chemiker zweckmässige Reagenzkästchen gebaut, die einige Reagenzgläser und ein Tropfglas mit Silbernitratlösung in praktischer Anordnung enthalten. Die Akkumulatoren entladen sich aber auch dann ein wenig innerlich von selbst, wenn alle diese Vorsichtsmassregeln getroffen sind, und zwar sollen pro Tag 1 bis 2 % der gespeicherten Elektricitätsmenge verschwinden. Garnicht oder wenig benutzte Akkumulatoren sind deshalb mindestens alle zwei Monate frisch aufzuladen.

Dass die Zellen im Betriebe ausser dem verdunstenden Wasser auch Schwefelsäure verlieren, weiss jeder, der mal die Säure-geschwängerte Luft eines Akkumulatorenraumes — man erinnere sich der früheren Berliner Strassenbahnwagen — geatmet hat. Die sich entwickelnden Gase reissen flüssige Säureteilchen mit sich. Ob Säure oder destilliertes Wasser nachgefüllt werden muss, sagt der Stand des Aräometers. Als Regel wird ein vier- bis fünfmaliges Nachfüllen von Wasser auf einmaliges von Säure als notwendig angegeben. Die Flüssigkeit soil einen Centimeter über die Platten ragen. Bei dieser Gelegenheit sei auf die genaue Befolgung der jeder Batterie gedruckt beigegebenen Bedienungsvorschriften hingewiesen. Denn die auf die Batterie verwandte verständige Sorgfalt macht sich bei guten Fabrikaten — man soil bei Akkumulatoren nicht auf den Preis sehen — in ununterbrochener Betriebsfähigkeit und langer Lebensdauer

bezahlt. Andere Maschinen pflegen bekanntlich sogenannte Kinderkrankheiten zu haben, die sich mit der Zeit verlieren. Bei den Sammlerzellen ist es umgekehrt. Sie arbeiten gewöhnlich im Anfang befriedigend, und bei schlechter Fabrikation oder unaufmerksamer Behandlung stellen sich allmählich immer neue Gebrechen ein, die kostspielige und nicht abreissende Reparaturen erfordern. Der Abschluss eines Beaufsichtigungs- und Versicherungsvertrages mit der liefernden Firma — über die Garantiezeit hinaus — ist deshalb sehr zweckmässig.

Der Hauptvorzug, den der Akkumulator als Schwachstromquelle vor allen anderen bietet, ist sein geringer innerer Widerstand, ein Vorzug, dessen wahre Bedeutung Sie in den Vorlesungen über Telegraphenbetrieb und über Physik des Fernsprechens einsehen werden. Der innere Widerstand kleiner Zellen, wie sie in der Telegraphie gebraucht werden, beträgt nur einige Hundertstel Ohm, der grösserer geht gar auf Tausendstel Ohm und noch tiefer hinunter. Der erste Grund dieser kleinen Werte liegt in der — verhältnismässig — grossen spezifischen Leitfähigkeit des im Akkumulator angewandten Elektrolyten.[1]) 30 %ige Schwefelsäure ist der beste elektrolytische Leiter. Noch 20 %ige hat einen specifischen Widerstand von 1540, während der einer 15 %igen Kupfersulfatlösung 23 900, etwa fünfzehn mal so gross ist. Ausserdem ist in den Akkumulatoren alles darauf angelegt, den inneren Widerstand herabzudrücken. Um bei der Ladung möglichst viel wirksame Masse chemisch zu verändern, mithin die Capacität zu erhöhen, vereinigt man in jeder Zahl eine Anzahl von Platten und schaltet die mit gleichem Vorzeichen einander parallel. Durch Einbau vieler Platten in eine Zelle — über drei Platten geht man in der Schwachstromtechnik allerdings bei uns gewöhnlich nicht hinaus — wird dasselbe, wie mit einer Vervielfachung der Plattengrösse, erreicht. Diese lässt sich ja aus naheliegenden Gründen nicht unbegrenzt steigern. Es ist zu beachten, dass man die positiven Platten, deren wirksame Masse einem besonders heftigen chemischen Angriff ausgesetzt ist und darauf mit beträchtlichen

[1]) Der Übergangswiderstand von den (nicht sulfatierten) Platten auf den Elektrolyten ist ebenfalls nur klein, schon weil die Säure in die Plattenporen eindringt und das ganze Innere der aktiven Masse erfüllt.

Volumänderungen antwortet, immer mit negativen Platten umgiebt und sie dadurch von beiden Breitseiten aus mit Strom versorgt oder nach beiden Seiten Strom liefern lässt. Dann geschehen auch die Volumänderungen nach beiden Seiten hin gleichmässig, und einer Verkrümmung der Platten ist vorgebeugt. Positive und negative Platten wechseln also in der Zelle mit einander ab. Deshalb ist stets eine negative Platte mehr vorhanden, als positive. Zusammen mit einer positiven werden zwei negative, mit zwei positiven drei negative, mit drei positiven vier negative Platten eingebaut u. s. f. (Fig. 117a, b, c). Durch

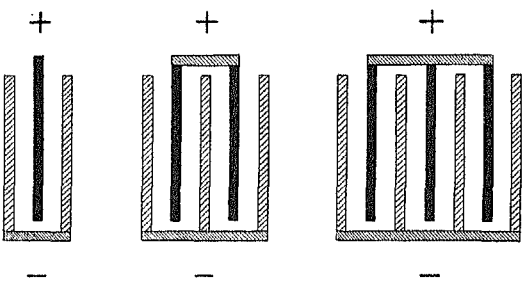


Fig. 117

a b c

Jede Akkumulatorenzelle enthält eine negative Platte mehr, als positive.

die geschilderte Vermehrung der Platten vervielfacht man gerade so, wie durch ihre unthunliche Vergrösserung, den Querschnitt des Elektrolyten, worauf deshalb schon bei dem Tauchelement (S. 150) vorbereitend hingewiesen wurde. In der Zelle *a* (Fig. 117) ist der durchflossene Elektrolytquerschnitt doppelt, in *b* viermal, in *c* sechsmal so gross, als eine Plattenoberfläche, weil der Raum auf beiden Seiten jeder positiven Platte zur Stromleitung benutzt wird. Jeder Elektrolytquerschnitt ist aber bei der Ausbildung der Elektroden zu Platten und der Gegenüberstellung ihrer Breitseiten schon an sich viele Male so gross, als etwa bei einem Telegraphenelement, dessen Elektroden sich nur mit ganz schmalen Flächen ansehen, als ob sie sich böse wären. Schliesslich ist auch beim Akkumulator die Länge des elektrolytischen Leitungsweges nur klein. Denn die Platten sind — durch Hartgummigabeln oder Glasstäbe (Fig. 108 Schnitt *ef* auf

S. 184 und Fig. 118) getrennt — einander so nahe gestellt, als es die Rücksicht auf die Vermeidung von Kurzschlüssen zulässt. — Sie haben sich, so darf ich hier hinzufügen, jetzt gewiss überzeugt, wie notwendig die Kenntnis des Ohmschen Gesetzes für das Verständnis der chemischen Stromquellen ist, und werden zweckmässig nochmals Gelegenheit nehmen, es sich einzuprägen.

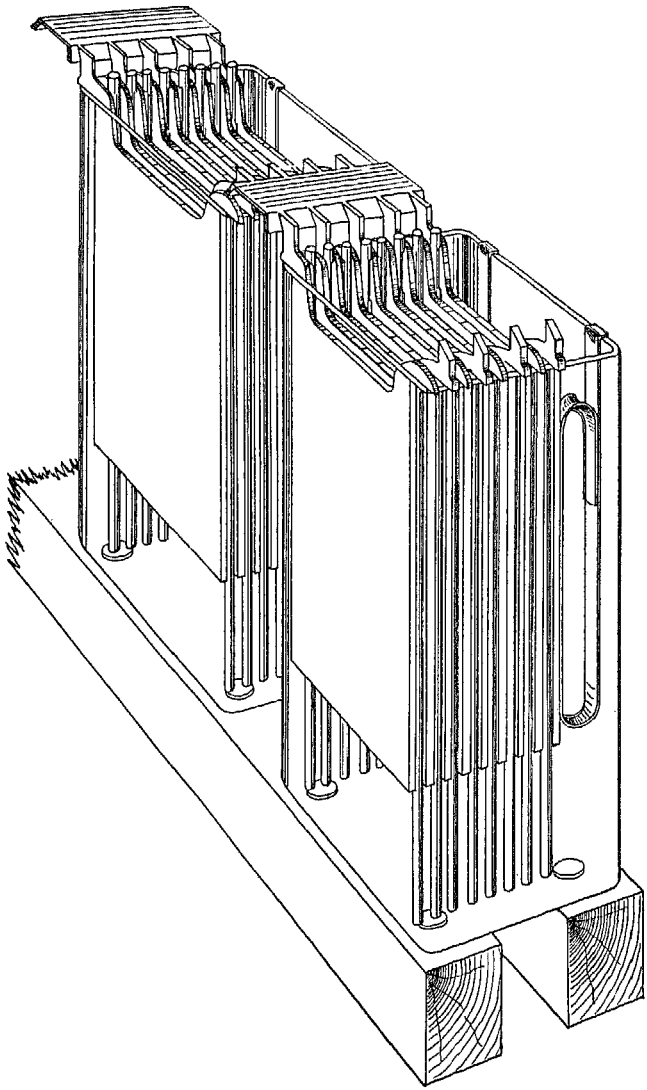


Fig. 118. Zwei hinter einander geschaltete grössere Hagener Zellen.

Soll ich auch jetzt noch, wie bei den galvanischen Elementen, nach der Schaltung der einzelnen Zellen, ob hinter oder neben einander, fragen? Praktisch ist w_i Null. Die beiden Gleichungen nehmen deshalb, auf Akkumulatoren angewandt, die Gestalt an

$$J_h = \frac{n\,E}{w_l} \qquad \text{und} \qquad J_p = \frac{E}{w_l}.$$

Man schaltet also immer hinter einander, und zwar in der Art, wie Sie es hier für zwei grössere Hagener Zellen (Fig. 118) sehen. Die gleichnamigen Platten jeder Zelle werden unter einander und mit den ungleichnamigen der Nachbarzelle dadurch verbunden, dass man alle diese Platten mit Blei an ein dachartiges Bleibrettchen in der hohen Temperatur einer Wasserstoff-Stichflamme anschmilzt. Ein Löten in der gewöhnlichen Weise ist deshalb ausgeschlossen, weil das aus Blei, Lötzinn und heraufspritzender Schwefelsäure entstehende galvanische Element die Lötstelle zerstört. Beachten Sie auch, bitte (Fig. 118) die Bleibügel, welche durch ihre Federung ein Ausdehnen und Zusammenziehen des ganzen, nur einen Teil des Gefässes ausfüllenden Plattenpacketes gestatten und dadurch ein Werfen oder Verziehen der einzelnen Platten verhindern. Beachten Sie ferner, dass die Platten an Nasen auf dem oberen Gefässrand hängen, und welcher grosse Abstand der Platten von dem Gefässboden dadurch erreicht wird. Herausfallende aktive Masse kann hier keinen Kurzschluss verursachen.

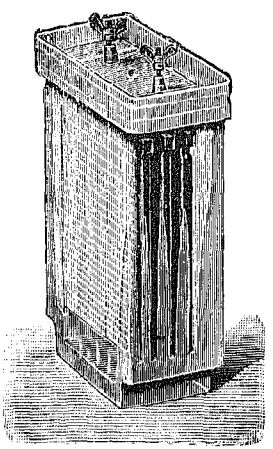


Fig. 119.
Hagener Telegraphenzelle.

Eine Nebeneinanderstellung von Akkumulatorenzellen kommt nur dann in Frage, wenn man einer Batterie grössere Ströme und grössere Elektricitätsmengen entnehmen will, als jede einzelne Zelle hergeben kann. Ein solcher Fall, überhaupt selten, ist in der Schwachstromtechnik ausgeschlossen. Denn hier werden den Zellen immer weit geringere Zahlen an Ampere und Amperestunden entnommen, als sie liefern können.

Auf alles, was sonst die Akkumulatoren in der Schwachstromtechnik betrifft, behalte ich mir vor, später in den speziellen Vorlesungen einzugehen und will nur zum Schluss Ihnen einige

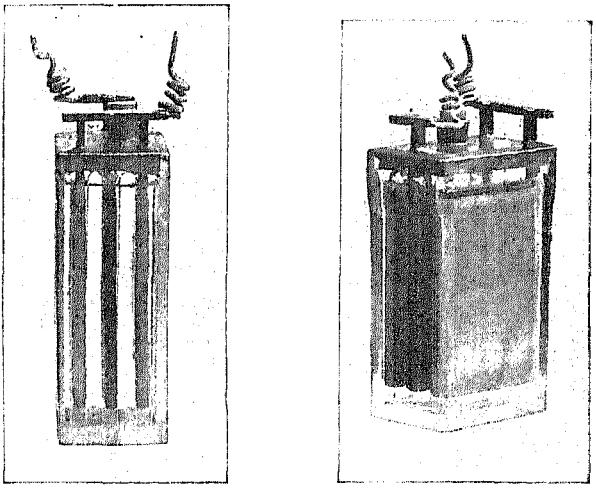


Fig. 120. Telegraphenzelle von Boese.

Fabrikate von telegraphischen Sammlerzellen, hier (Fig. 119) von der Akkumulatoren-Fabrik A.-G. in Hagen, hier (Fig. 120) von Boese in Berlin vorzeigen.

11. Vorlesung.

Wellen und Schall.

Wasserwellen. Fortbewegung der Welle, nicht des Wassers. — Seilwellen. Ausbiegung. Amplitude. Phase. Wellenlänge. Periode. Wechselstrom und -spannung als Wellen. Wellenberg und -thal. Schwingungszahl und -dauer einander reziprok. Grundgleichung $c = n \cdot l$. — Diagramme. Phasenverschiebung zwischen Ausbiegungs- und Geschwindigkeitswelle. — Zurückwerfung der Seilwelle und zwar in der entgegengesetzten Phase. Stehende Seilwellen. Interferenz. — Stehende Wellen mit dem Wagnerschen Hammer. Beziehung zwischen Faden- und Wellenlänge. Platindraht an einer Stimmgabelzinke (Elektrischer Widerstand und Temperatur). — Quer- und Längswellen.

Schallwellen. Töne und Geräusche. — Intensität, Amplitude, Höhe, Schwingungszahl, Wellenlänge. Eindruck der Tonstärke. Klangfarbe. Obertöne. Deren Phase für die Klangfarbe, nicht für die Schwingungsform gleichgiltig. — Zurückwerfung des Schalles. Schallkammer des Klopfers. Die Intensität dem Quadrat der Entfernung umgekehrt proportional. Fortleitung in Röhren. Beispiele. — Resonanz. Beispiele. Freie Schwingung. — Tönende Luftsäulen. Pfeifen. Menschliche Stimme. — Dämpfung. Schallsichere Fernsprechzellen.

Die heutige, letzte Vorlesung des allgemeinen Teiles soll die Grundthatsachen der Wellenlehre und daran anschliessend insoweit die Schallwellen behandeln, als sie zum Verständnis des Fernsprechers notwendig sind. Sie werden dabei ausserdem unentbehrliche Vorkenntnisse für die schwierigen Kapitel der Kabel- und Funkentelegraphie erwerben. Betrachten wir zunächst die Wasserwellen. Der in einen See geworfene Stein stört die Ruhe des Wasserspiegels. Krümmungen der Oberfläche, die wir Wellen nennen, bilden sich kreisförmig um die getroffene Stelle als Mittelpunkt aus. In ihr hat der Steinwurf Wasser nach unten gedrückt und dadurch in ihrer nächsten Nachbarschaft Wasser auf der Oberfläche aufgetürmt. Der Spiegel ist zerstört. Die Schwere sucht ihn wiederherzustellen. Ihr folgend, begeben sich die Wasserteilchen in ihre Ruhelage zurück. Aber die Trägheit lässt sie über das Ziel hinausschiessen und, wie Pendel, um die Gleichgewichtslage der Ebene herumschwingen. Ein Kreis schwingender Wasser-

teilchen stösst den nächst grösseren Nachbarkreis an. Auch er gerät in Schwingungen und so fort. Allmählich hat sich die ganze von dem geworfenen Steine an das Wasser abgegebene Arbeitsmenge in Reibungswärme verwandelt. Die Welle klingt ab. Die Wasseroberfläche ist wieder eben.

Unterrichten wir uns über die Natur der Wasserwellen. Sie scheinen in einer Fortbewegung von Wasser vom Wellenmittelpunkte aus nach aussen zu bestehen. Aber wer beobachtet, wie die von einer Schiffsschraube zum Ufer gewandten Wellen schwimmende Körper, wie eine Boje oder eine Ente, nur aufheben und niedersenken und nicht auf das Ufer zu bewegen, sieht, dass die Wellen thatsächlich in einem periodischen Auf- und Niedergehen, in einem Auf- und Niederschwingen und nicht in einem Vorwärtsbewegen von Wasser bestehen. Nur der Eindruck einer Vorwärtsbewegung wird hervorgerufen. Die Welle schreitet fort, aber nicht das Wasser. Einen Beweis dafür liefern auch die Wellen, die der Wind in einem Kornfeld erzeugt. Wie die Wasserteilchen schwanken die Halme auf und nieder, und widersinnig wäre der Gedanke, dass sie sich mit der Welle über das Feld fortbewegen sollten. Eine Welle (von der betrachteten Art) ist kein Körper, der bleibend dieselben Bestandteile — Wasserteilchen, Kornähren — enthält, sondern nur eine gekrümmte Form der Oberfläche, und eine Fortbewegung der Welle ist nur eine Fortbewegung dieser Form. Allerdings dürfen Sie hier nicht an die von andauerndem Winddruck gegen die Küste geworfenen Wellen denken, die kippend thatsächlich Wasser das Ufer heraufspülen. Diese Wellen scheiden, als nicht im physikalischen Sinne typisch, hier aus.

Die Wasserwellen pflanzen sich nach allen Seiten der Ebene gleichmässig fort. Sehr ähnlich sind ihnen die Seilwellen. Nur ist bei denen eine deutliche Fortpflanzungsrichtung, eben das Seil entlang, ausgeprägt. Hier ist ein mehrere Meter langes Hanfseil — eins aus Gummi wäre besser — zwischen seinen Enden leidlich straff ausgespannt. Ein auf das Seil gegebener Schlag dehnt es aus und reisst es an der getroffenen Stelle nach unten. Vermöge seiner Elasticität schwingt es wieder in die Gleichgewichtslage zurück. Einmal in Bewegung, durchschreitet es diese nach oben, so weit es die Elasticität erlaubt. Inzwischen hat das dem geschlagenen benachbarte Seilstückchen

einen Anstoss bekommen, und es entstehen, wie wir an der Hand dieser Zeichnung (Fig. 121) sehen wollen, periodische Bewegungen der Seilpunkte. Es entsteht eine Seilwelle.

Zu dem Ende werden acht von einander gleich weit entfernte Punkte eines Seilstückes betrachtet. Seilpunkt 1 erhält den Schlag und senkt sich, bis er von der Horizontalen um die Strecke, die Ausbiegung, *a* entfernt ist. Während er im Zeitabschnitt II bis zur grössten vorkommenden Ausbiegung *b*, der Amplitude weiterschwingt, setzt sich Punkt 2 in Bewegung

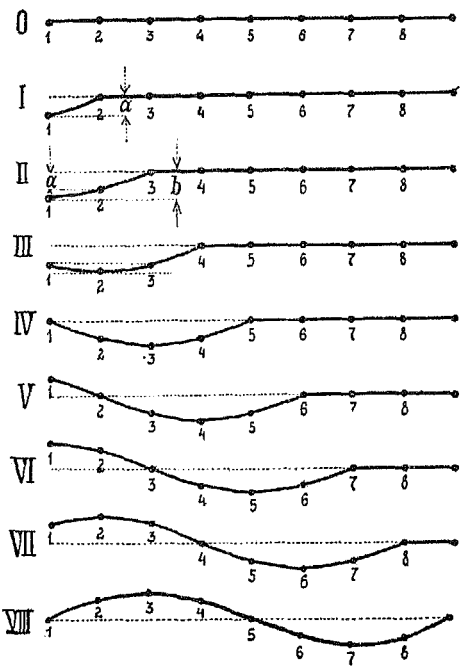


Fig. 121. Zustandekommen einer Seilwelle.

und hat *a* zur selben Zeit, das heisst zu Ende des Zeitteilchens II, zurückgelegt, da Punkt 1 in der Amplitude angelangt ist. Punkt 1 kommt in der Amplitude einen kleinen Augenblick zur Ruhe, kehrt dann seine Bewegungsrichtung um und schwingt von unten bis zur Ausbiegung *a* zurück, während 2 in die Amplitude vorrückt und Seilpunkt 3 von oben in der Ausbiegung *a* anlangt. Das geschieht während des Zeitteilchens III. In

Stellung IV ist 1 wieder in der Gleichgewichtslage, 2 auf dem Rückweg in *a*, 3 in der Amplitude *b*, 4 auf dem Hinweg in *a* und 5 noch in Ruhe. Die Trägheit des Seiles reisst Punkt 1 jetzt über die Gleichgewichtslage fort, so dass im Zeitteilchen V Stellung V entsteht. So schreitet die Welle fort, bis mit Vollendung des Zeitteilchens VIII Punkt 1 die acht Achtel eines Hin- und Herganges, eine ganze Schwingung zurückgelegt hat. Teil 2 hat dann sieben Achtel, Teil 3 sechs Achtel, Teil 8 ein Achtel der ganzen Balm hinter sich. Die einzelnen Seilpunkte gelangen nach einander in die entsprechenden Stellen ihrer Bahnen. Jeder Punkt durchläuft in derselben Zeit einmal seine Bahn, als die Welle die ihre. Punkt 1 erreicht nach einer ganzen Schwingung in demselben Augenblick wieder die Ebene, in welchem die Welle in Punkt 9 angekommen ist, sich demnach um die Entfernung der acht Punkte fortgepflanzt hat. Punkt 9 bewegt sich jetzt in demselben Sinne, wie Punkt 1. Dessen Bewegung ist nur um eine ganze Schwingung älter. Beide Punkte — 1 und 9 — bewegen sich in demselben Sinne. Sie befinden sich in dem gleichen Schwingungszustand, in derselben **Schwingungsphase.** Unter Phase, welche zu einem der wichtigsten Begriffe der modernen Welt geworden ist, versteht man demnach den augenblicklichen Zustand einer periodischen Bewegung. Auch Teilchen 2 und 10 wären in derselben Phase, desgleichen 3 und 11. Die Entfernung zweier in derselben Phase schwingenden Teilchen heisst eine Wellenlänge *l*. Die Welle schreitet gerade einmal um ihre Länge fort, während ein Teilchen einmal hin und herschwingt, eine volle Schwingung, eine ganze Periode zurücklegt. Das muss so sein. Wenn zwei um eine Wellenlänge entfernte Teilchen dieselbe Phase haben sollen, muss das früher angestossene gerade eine volle Schwingung mehr gemacht haben. Hätte es erst einen Teil der Schwingung zurückgelegt, so wäre es noch nicht in derselben Stellung, und hätte es mehr, als gerade eine Schwingung, hinter sich, so müsste es schon in der Phase voraus sein.

Eine volle Schwingung heisst auch, wie eben erwähnt wurde, eine Periode, eine Bezeichnung, die Sie vom Wechselstrom (S. 81) her kennen. In der That verläuft ein Wechselstrom nach Art einer Welle. Auch er steigt von Null zu einem Höchstwert, zu einer Amplitude an, nimmt wieder ab und wird

in der elektrischen Gleichgewichtslage zu Null. Dann wird er negativ, wächst zu einem negativen Höchstwert und wird nach Zurücklegung einer ganzen Periode wieder zu Null. Ebenso kann eine Wechselspannung als Welle gedacht werden. Dass man deshalb von der Phase eines Wechselstromes oder einer Wechselspannung redet, wird Ihnen nicht merkwürdig erscheinen.

Die Bezeichnungen Wellenberg und Wellenthal (Fig. 122) verstehen sich von selbst. Wellenberg ist die höchste Erhebung über die Gleichgewichtslage, Wellenthal das tiefste Versinken unter sie. Abgesehen vom Vorzeichen sind beide einander gleich. Ihre Summe ist Null, ihre Differenz der Maximalwert

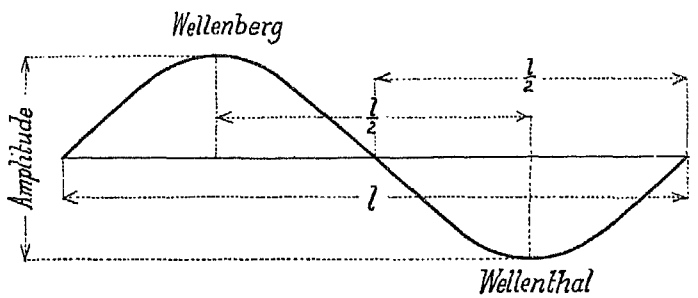


Fig. 122. Wellenlänge l, Wellenthal, Amplitude.

der Schwingung, die Amplitude. Der Wellenberg ist vom benachbarten Wellenthal gerade um eine halbe Wellenlänge $l/2$ entfernt. Sie befinden sich in entgegengesetzter Phase. Sie sind gegeneinander in der Phase um eine halbe Periode verschoben. Die verschiedenen Wellenberge eines Wellenzuges sind von einander um eine oder mehrere ganze Wellenlängen, oder eine gerade Zahl halber Wellenlängen, entfernt. Ebenso die Wellenthäler von eineinander. Wellenthäler und Wellenberge sind dagegen um $^1/_2\ l$ oder $^3/_2\ l$ oder $^5/_2\ l$ u. s. w., also um eine ungerade Zahl halber Wellenlängen gegen einander verschoben. Die Entfernung einer Amplitude von dem nächsten in der Ruhelage befindlichen Wellenpunkt macht nur eine Viertel Wellenlänge aus.

Für eine Welle heisst die Zeit in Sekunden, welcher jedes Teilchen zur Vollendung einer ganzen Schwingung bedarf, die Schwingungsdauer T. Ihr reciproker Wert ist n, die Schwingungsanzahl pro Sekunde:

$$T = \frac{1}{n} \qquad \text{und} \qquad n = \frac{1}{T}$$

Sie haben gesehen, dass die Welle während T-Sekunden, das heisst, während ein Teilchen eine volle Periode zurücklegt, gerade einmal um ihre Länge fortschreitet. Mithin ist auch die Anzahl während einer Sekunde zurückgelegter Wellenlängen gleich der Schwingungszahl n. Dann ist weiter die von der Welle während einer Sekunde durchlaufene Strecke oder ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit c (von celeritas) gleich der Länge l einer Welle mal der Anzahl n der pro Sekunde zurückgelegten Wellenlängen

$$c = n \,.\, l \qquad \text{oder} \qquad c = \frac{l}{T}$$

Sie werden hierin eine Grundgleichung für die ganze Wellenlehre erkennen. Denn jede Wellenart pflanzt sich in dem gleichen Körper mit derselben Geschwindigkeit c fort. Die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit c ist ihr ein für alle Mal bestimmt. Wählen kann sie sich deren beide Faktoren n und l. Mit einer Vergrösserung der Schwingungszhl ist dann untrennbar eine Verkleinerung der Wellenlänge verbunden und umgekehrt mit einem kleineren n ein grösseres l.

Betrachten Sie dieses Bild einer Welle. (Fig. 123 auf der folgenden Seite.) Als solche stellt es zunächst die Ausbiegungen der einzelnen Punkte der ganzen Welle in Abhängigkeit von ihrer Entfernung vom Wellenanfang dar.

Sie können dem Bilde auch einen anderen Sinn (Fig. 124a) beilegen. Denn die jeweiligen Ausbiegungen irgend eines Punktes des Seiles in Abhängigkeit von der Zeit seiner Schwingung geben ebenfalls eine Welle. Zur Zeit Null beginnt der gerade gewählte Seilpunkt seinen Weg und hat zur Zeit T eine volle Schwingung zurückgelegt.

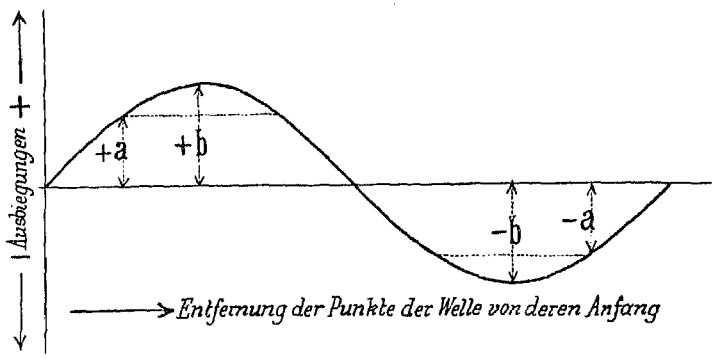


Fig. 123. Welle.

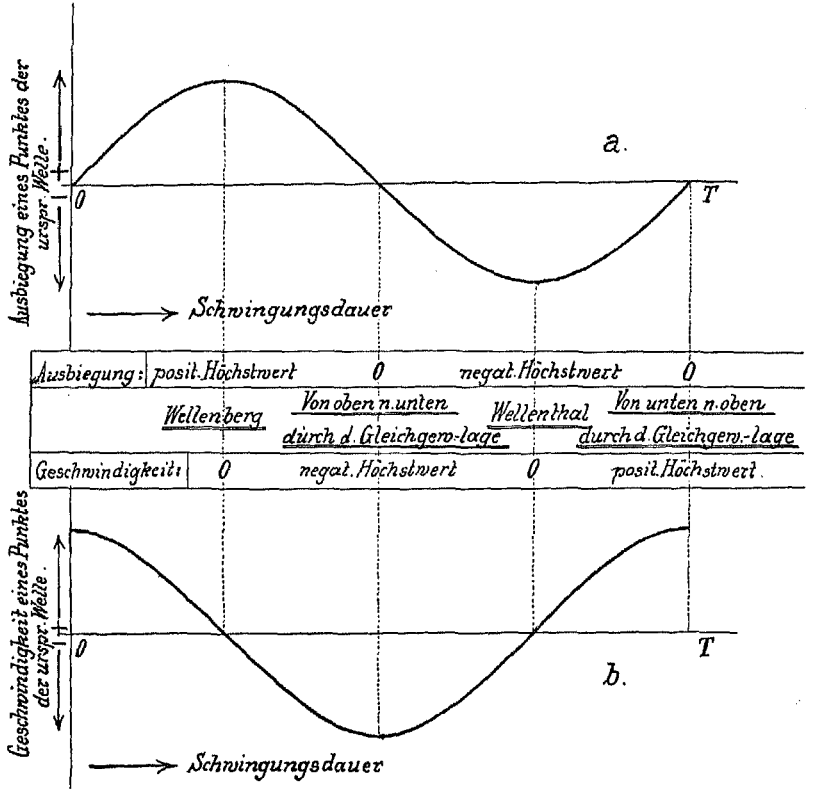


Fig. 124.

Ausbiegung (Fig. a) und Geschwindigkeit (Fig. b) eines Wellenpunktes in Abhängigkeit von der Schwingungsdauer werden gleichfalls durch Wellen dargestellt. Beide sind gegen einander um eine Viertel Periode in der Phase verschoben.

Um über den Begriff der Phasenverschiebung zweier Welllen klar zu werden, beachten Sie bitte, dass noch eine andere Abhängigkeit durch eine Welle wiedergegeben wird. Sehen wir uns noch einmal das erste Wellenbild (Fig. 121 auf S. 206) an. Jeder Punkt soli sich in derselben Zeit aus der Gleichgewichtslage um die Ausbiegung a verschieben, als er aus dieser Stellung in die Amplitude b gelangt, obgleich der zweite Weg offenbar viel kleiner ist.

$$b - a < a$$

Soll dieser Weg $b - a$ in derselben Zeit durchlaufen werden, als der kleinere Weg a, so kann das nur mit kleinerer Geschwindigkeit geschehen. Der immer wachsende Gegenzug des Seiles verlangsamt die Bewegung des schwingenden Teilchens auf dem Wege von der Gleichgewichtslage zur Amplitude. Dort wird die Geschwindigkeit einen Augenblick Null und wächst dann auf dem umgekehrten Wege, das heisst negativ, bis sie beim Durcheilen der Gleichgewichtslage ihren negativen Höchstwert gewonnen hat und so fort. Die Geschwindigkeit eines beliebigen Seilpunktes in Abhängigkeit von der Schwingungsdauer stellt demnach ebenfalls eine Welle dar. Nur ist diese neue Welle (Fig. 124b) um eine viertel Wellenlänge gegen die vorige (Fig. 124a) versetzt. Die Geschwindigkeitswelle ist gegen die Ausbiegungswelle um eine viertel Periode in der Phase verschoben. Begrifflich stellen beide Wellen natürlich ganz verschiedene Dinge vor. Auch sind in der Zeichnung (Fig. 124) ihre Amplituden, die im ersten Falle Ausbiegungen, in zweiten Geschwindigkeiten eines Seilpunktes vorstellen, nur durch die Wahl der Massstäbe künstlich gleich gemacht. Es kam blos darauf an, Ihnen für die Phasenverschiebung zweier Wellen ein Beispiel zu geben. Dieses ist leicht im Gedächtnis zu behalten, wenn man sich daran erinnert, dass in der Amplitude die Geschwindigkeit Null, dass in ihr für einen Augenblick Ruhe herrscht, hingegen in der Ebene, der Lage des ruhenden Seiles, die Geschwindigkeit am grössten, die Bewegung am heftigsten ist.

Die Seilwelle verlangt noch einige Aufmerksamkeit. Wieder erzeugt ein Schlag eine Welle. Sie schreitet über das Seil bis zu seinem Ende fort. Wie Sie sehen, ist sie aber dort nicht

zu Ende, sondern wird von dem befestigenden Wandhaken zurückgeworfen, wie ein Ball vom Schlagholz, wie der Schall von der Bergwand, wie ein Lichtstrahl vom Spiegel. Sie durchläuft rückwärts das Seil, kehrt auch vom anderen Ende wieder zurück und eilt in wechselnder Richtung mehrmals hin und her, bis das Seil allmählich zur Ruhe kommt. Ein auf einen Spiegel schief auffallender Lichtstrahl wird bekanntlich nicht auf seine alte Bahn zurückgeschickt, sondern nimmt einen auf der anderen Seite des Einfallslotes liegenden Weg, und zwar ist der Spiegelungs- dem Einfallswinkel gleich (Fig. 125). Aus gleicher

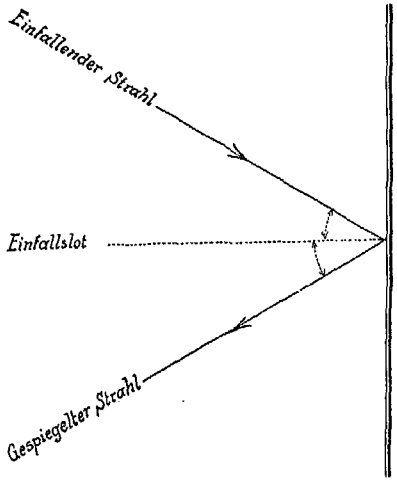


Fig. 125. Spiegelung.

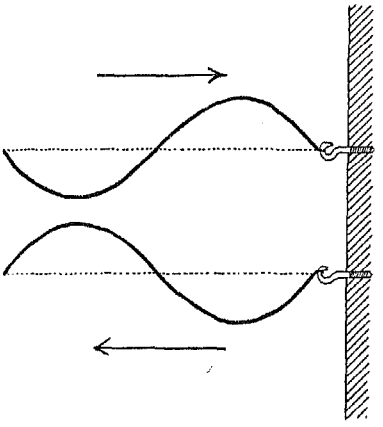


Fig. 126. Die Seilwelle wird vom Wandhaken, um eine halbe Periode verschoben, zurückgeworfen.

Ursache wirft der Befestigungshaken die bei ihm gerade nach oben schwingende Seilwelle als nach unten schwingende zurück. Wellenthal wird als Wellenberg gespiegelt und umgekehrt. Die Welle kehrt vom Seilende in der entgegengesetzten Phase, um eine halbe Wellenlänge, eine halbe Periode verschoben, zurück (Fig. 126).

Bis jetzt begnügten wir uns mit einem Schlag auf das Seil und warteten den Verlauf der Welle ab, wie sie hin und her das Seil durchmass und allmählich verklang. Nun wird durch schnelles, taktmässiges Schlagen fortwährend der Anstoss

zu neuen Wellen gegeben. Welches ist das Ergebnis? (Fig. 127.) Sie sehen, das Wellenbild ändert sich vollständig. Die neue Welle schreitet nicht mehr über das Seil fort, sondern behält einen festen Standort bei. Sie bleibt auf dem Seile stehen. Sie ist eine stehende Welle. Das Seil ist in gleiche Teile geteilt, von denen die benachbarten immer in entgegengesetzter Richtung schwingen. Gewisse Punkte des Seiles (k' und k'') bleiben unverändert in Ruhe oder zeigen nur eine ganz kleine Bewegung. Es sind die Knoten der stehenden Welle. Andere Teile des Seiles bleiben in fortwährender Bewegung und bauchen sich abwechselnd nach oben und unten aus. Es sind die Bäuche. Verfolgen Sie die einzelnen Stellungen der stehenden Welle (Fig. 127). Bei I ist Ruhe. Das als Linie gedachte Seil bildet eine Horizontale. Bei II erhebt sich die Seilmitte und die Enden senken sich. Bei III dasselbe, nur verstärkt. Bei IV kehrt das Seil wieder in die Stellung II und bei V in die Ruhelage I zurück. Dann findet derselbe Vorgang nach unten statt, bis bei IX wieder Ruhe herrscht.

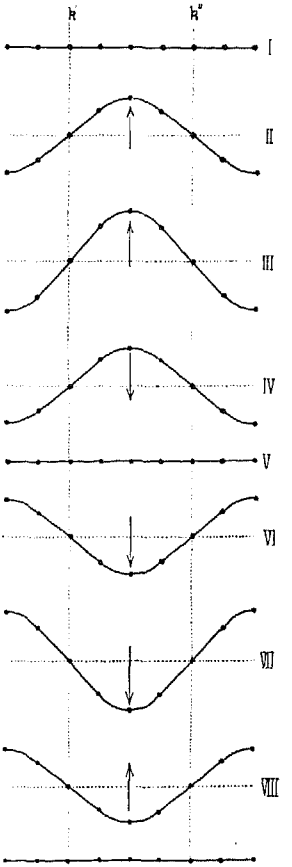


Fig. 127. Stehende Seilwelle.

Lassen Sie uns nun überlegen, wie die stehende Welle zu Stande kommt, deren Verlauf wir eben betrachtet haben. Der erste Schlag meines Fingers auf das Seil erzeugt eine von Ihnen aus nach rechts fortschreitende Welle, welche vom Ende, um eine halbe Wellenlänge verschoben, nach links zurückgeworfen wird. Inzwischen hat ein neuer Schlag eine zweite Welle nach rechts geschickt. Es gehen demnach gleichzeitig zwei Wellen über das Seil, und dessen einzelne Punkte sollen

den Kraftwirkungen zweier Wellen folgen. Die Seilpunkte sollen zween Herren dienen, die mit einander im Widerspruch sind, und es bleibt ihnen nichts übrig, als die berühmte mittlere Linie. Beide Wellen schliessen einen Kompromiss. Es kombiniert sich immer die nach rechts verlaufende ursprüngliche Welle von der Nummer n mit der in der entgegengesetzten Phase nach links zurückgeworfenen Welle n-1. Sie kombinieren sich oder, wie man sagt, sie interferieren. Die Interferenz besteht darin, dass die von beiden Wellen auf jedes Seilstückchen nach oben und nach unten ausgeübten Zugkräfte sich unter Berücksichtigung ihres Vorzeichens addieren. Bei gleichem Vorzeichen unterstützen sich die Kräfte. An diesen Stellen schwingt das Seil weiter aus, als in einer der beiden Wellen allein. Bei entgegengesetztem Vorzeichen bekämpfen sich die Zugkräfte an den betreffenden Punkten. In ihnen schwingt das Seil nach der stärkeren von beiden Kräften. Sind die Zugkräfte nach oben und unten gleich, so herrscht Ruhe. Hier liegen die Knoten.

Die stehende Welle ergiebt sich also durch einfache Addition der auf jeden Punkt des Seiles wirkenden vertikalen Zugkräfte unter Berücksichtigung derer Vorzeichen. Dort sind die Bilder der ursprünglichen und der zurückgeworfenen Welle auf Pappe gezeichnet und so in einem Rahmen befestigt, dass ich sie an einander vorbei schieben kann. Auf diese Weise kann man die verschiedenen Stellungen beider Wellen festhalten, für jeden der acht Seilpunkte die Ausbiegungen unter Berücksichtigung des Vorzeichens addieren und jede Stellung der resultierenden stehenden Welle Punkt für Punkt aufzeichnen, wie das hier[1]) gesehen ist. Das Ergebnis ist wirklich unsere stehende Welle von vorhin. Wollen Sie beachten, dass die Länge der stehenden Welle der der zusammengesetzten fortschreitenden Wellen gleich ist. Denn der Abstand zweier in gleichem Sinne bewegten Teilchen ist unverändert geblieben. Dasselbe gilt von der Schwingungszahl n. Die Amplitude aber ist gegen die der interferierenden Wellen verdoppelt. Die Entfernung von einem Bauch zum nächsten beträgt eine halbe und die von einem Bauch zum nächsten Knoten eine viertel Wellenlänge.

[1]) Ein solches Pappmodell konnte natürlich dem Buche nicht beigegeben werden. Jeder kann es sich aber leicht selbst machen. Fig. 128 zeigt die einzelnen Stellungen der an einander vorbeigeschobenen Pappwellen und die durch ihre gemeinschaftliche Wirkung erzeugte stehende Welle.

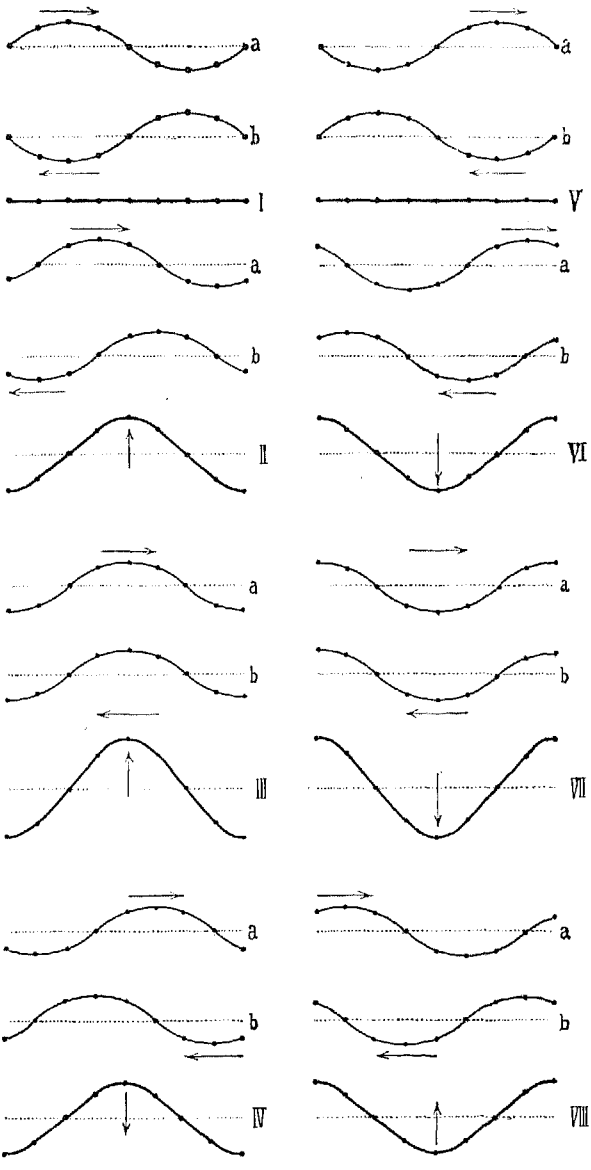


Fig. 128.

Bildung der stehenden Welle (von Fig 127) I bis VIII aus zwei sich begegnenden fortschreitenden Wellen a und b.

Zum Versuche kann man stehende Wellen statt mit der Hand auch mit einem Wagner'schen Hammer (S. 78) hervorrufen. Man schraubt einem elektrischen Wecker die Glocke ab und bindet an den Klöppel einen mit Kreide geweissten, mehrere Meter langen, ganz dünnen Bindfaden, der an seinem anderen Ende passend befestigt ist. Der schwingende Klöppel versetzt den Faden in stehende Wellen, wenn man die Wellenlänge l auf die vorhandene Fadenlänge s passend abstimmt. Der Faden gerät nur dann in Mitschwingung, in Resonanz, wenn

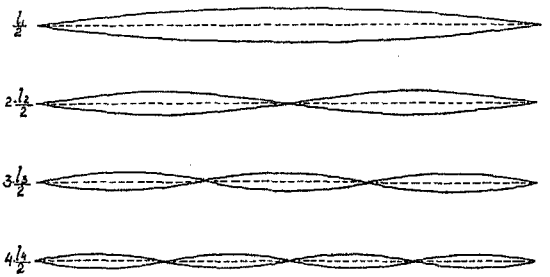


Fig. 129. Stehende Wellen verschiedener Länge auf einem Seil.

er in einer halben, einer ganzen, in anderthalb, in zwei, kurzum in einer kleinen ganzen Anzahl halber Wellenlängen schwingen kann (Fig. 129), wenn also eine der Gleichungen

$$l_1 = 2s \qquad l_2 = s \qquad l_3 = {}^2/_3 s \qquad l_4 = {}^1/_2 s$$

erfüllt wird. Da s, die Fadenlänge, gegeben ist, muss l, die Wellenlänge, auf sie passend eingestellt werden. Die Gleichung $l = \frac{c}{n}$ ergiebt die Wellenlänge als Quotienten von Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Schwingungszahl, von denen die erste durch stärkeres oder schwächeres Anspannen des Fadens, die zweite mittelst der Stellschraube des Wagnerschen Hammers verändert werden kann. Man ist dadurch leicht im Stande, l so zu treffen, dass schöne stehende Wellen verschiedener Längen entstehen. Andere Wellen lassen sich dem Faden nicht aufzwingen.

Stehende Wellen zeigt Ihnen auch folgender hübsche Versuch. Ein vertikaler Platindraht wird von Strom durchflossen und dadurch zum Glühen gebracht. Mit seinem unteren Ende ist er an der einen Zinke einer Stimmgabel befestigt. Lässt man die Stimmgabel (elektromagnetisch) erzittern, so gerät bei richtiger Anordnung der Platindraht ebenso in stehende Wellen, wie der Bindfaden am Weckerklöppel. Alsbald wird der Draht an den Bäuchen, welche die fortwährende Bewegung wie ein Fächer kühlt, dunkel. Um die Knoten hingegen, die Orte der Ruhe, fährt er fort, zu glühen.[1])

Es ist jetzt an der Zeit, auf die grundlegende Zweiteilung aller Wellen in Quer- und Längswellen hinzuweisen. Die Seilwellen sind ausgeprägte Querwellen. Die Schwingungsrichtung der Teilchen steht senkrecht auf der Fortpflanzungsrichtung der Welle, dem Wellenstrahl. Betrachten Sie dagegen diese horizontale Drahtspirale. Wird sie an einem Ende parallel zu ihrer Achse angestossen, so pflanzt sich der Anstoss als Welle durch die ganze Spirale fort, so dass die einzelnen Spiralwindungen sich abwechselnd einander nähern und von einander entfernen. Es findet genau dasselbe statt, wie bei der Seilwelle; nur pflanzt sich die Welle parallel zur Schwingungsrichtung, längs den schwingenden Teilchen fort. Werden die einzelnen Windungen der Spirale durch vertikale Striche bezeichnet, so erhält man für die einander folgenden Schwingungsphasen diese Bilderreihe (Fig. 130).

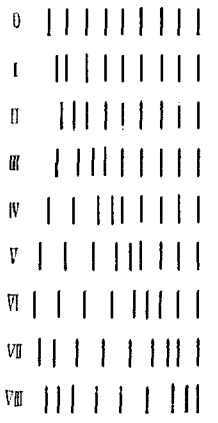


Fig. 130. Längswelle.

Die einzelnen Windungen sind in den verschiedenen Teilen der Spirale bald mehr, bald weniger von einander entfernt und bilden gleichsam periodische Verdichtungen und Verdünnungen.

[1]) Das Glühen wird dort sogar heftiger. Denn der Widerstand des zum grossen Teil gekühlten Platindrahtes ist kleiner als der des vollständig glühenden. Der Widerstand der Metalle steigt eben, wie bei der Gelegenheit erwähnt werde, mit der Temperatur, und zwar pro Grad Temperaturerhöhung im allgemeinen 3 bis 4 $^0/_{00}$. Bei unverändertem Spannungsunterschied seiner Klemmen wird der kältere Draht also von einem grösseren Strome durchflossen und glüht an den nicht gekühlten Stellen heftiger.

So schwingt denn auch die Luft, wenn sie von einem tönenden Körper erregt wird, in Längswellen. Dies Lichtbild (Fig. 131) giebt die bekannte schematische Abbildung der Verdünnungen und Verdichtungen wieder, welche eine tönende Glocke im umgebenden Luftraume hervorruft. Zunächst mögen diese Verdünnungen und Verdichtungen fortschreiten. Die Glocke fährt aber fort, zu tönen, und die Luftwellen werden von entgegenstehenden Wänden zurückgeworfen. Demnach interferieren beide Wellenzüge, wie die des Seiles, und erzeugen stehende Wellen, deren Verdünnungen und Verdichtungen positive und negative Bäuche vorstellen. Damit solche Luftwellen als

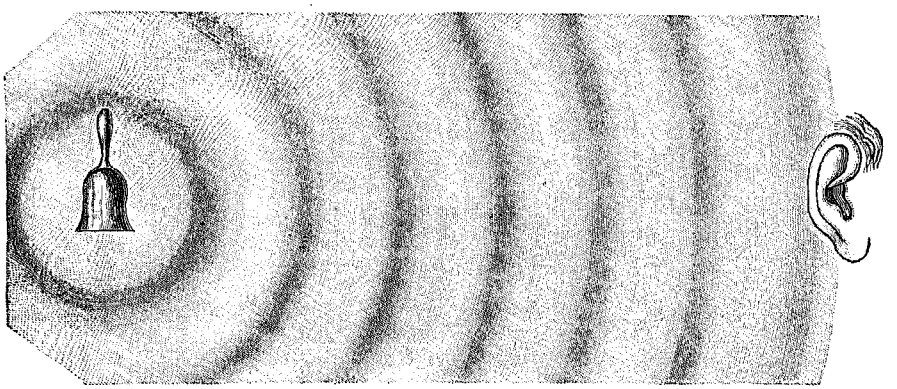


Fig. 131. Verdichtungen und Verdünnungen tönender Luft, schematisch.

Schall auf unser Ohr wirken, wird von ihnen eine Schwingungszahl n von mindestens sechzehn und höhstens vierzig Tausend in der Sekunde verlangt. Hier ist beizufügen, dass sich der Schall, das heisst alles Hörbare, in zwei Arten teilt, in Töne und Geräusche. Ein Ton (Klang) verläuft vollkommen ruhig und — mit Ausnahme der langsam abnehmenden Amplituden — gleichmässig und unverändert. Ein Geräusch hingegen entsteht durch schnellen unregelmässigen Wechsel verschiedenartigen Schalles, wie es zum Beispiel bei Wagengerassel, Blätterrauschen, Stimmengewirr der Fall ist.

Die erste Eigenschaft eines Tones ist seine Stärke, die Intensität, mit der er erregt, das heisst angeschlagen, ge-

strichen, geblasen, gesungen wird. Die Intensität beruht in der Grösse der Amplitude. Eine kleine Amplitude ruft ein Piano, eine sehr grosse ein Fortissimo hervor.

Ausser durch seine Stärke wird ein Ton durch seine Höhe und diese durch die Schwingungszahl n bestimmt. Je höher der Ton, umso grösser die Schwingungszahl. Der Gesang eines Bassisten besteht in langsameren Luftschwingungen, als der einer Sopranistin. Macht der bekannte Kammerton a, vierhundertfünfunddreissig volle Schwingungen in der Sekunde, so das nächst höhere a achthundert und siebzig, doppelt so viel:

	a_1	a_2	
n =	435	870	Schw.-Sek.
l =	76	38	cm.

Erinnern Sie sich an die Motoren der Strassenbahn, wie beim Anfahren, also bei wachsender Drehungszahl, ihr pfeifender Ton höher, beim Abstellen tiefer wird. Die Schwingungszahlen musikalischer Töne bewegen sich nach den Angaben zwischen den Grenzen vierzig und höchstens vier Tausend, die der menschlichen Stimme von fünfundsechzig bis zwei Tausend. Unsere Grundgleichung $c = n \cdot l$ lässt aus den Schwingungszahlen die Wellenlänge berechnen, wenn die Schallgeschwindigkeit zu constant drei Hundert und dreissig Meter pro Sekunde angenommen wird. Für a_1 wäre dann $l = \frac{330}{435}$ m = etwa 76 cm, für das höhere a_2 halb so viel. Die Längen musikalischer Wellen schwanken nach den eben angegebenen Schwingungszahlen etwa zwischen 8,25 m für den tiefsten, und 8 cm für den höchsten Ton, also über eine stattliche Skala.

Die Höhe hat für den Ton aber noch eine weitere Bedeutung. Töne von mechanisch gleicher Intensität, das heisst gleicher Amplitude, machen auf das Ohr eines Hörers einen umso stärkeren Eindruck, werden umso heftiger wahrgenommen, je höher sie sind. So wird angegeben, dass die dem Ohre fühlbare Stärke eines Tones der dritten Potenz seiner Schwingungs-

zahl proportional sei, eine Thatsache, die der Anstellung der Gehilfinnen im Fernsprechdienst einen Teil ihrer physikalischen Begründung geliefert hat.

Die Tonstärke, beruhend in der Amplitude, ist ein Charakteristikum eines Tones, die Höhe, begründet in der Schwingungszahl, das zweite, die Klangfarbe das dritte. Denken Sie sich etwa vor einem Wilden die beiden Töne a_1 und a_2 auf dem Klaviere angeschlagen. Er wird sie vielleicht nicht auseinander halten können, wenigstens in der Erinnerung nicht. Streichen Sie aber dasselbe a_1 auf einer Violine an oder singen es oder blasen es auf der Posaune, so werden ihm diese Töne völlig verschieden vorkommen, obgleich sie alle die gleiche Höhe haben. Verschieden ist ihre Klangfarbe. Die Klangfarbe beruht auf der Beimischung einer Reihe sogenannter Obertöne, das heisst von Tönen höherer Oktaven, die mit dem Grundton interferieren und den Klang des Tongemisches ganz verschieden färben. Die Vermischung geschieht ähnlich, wie die der Töne der verschiedenen Instrumente im Orchester. Ein ganz reiner Ton, der keine Obertöne beigemischt enthält, kann übrigens nur durch besondere Vorrichtungen hergestellt werden. Stellen Sie sich eine kräftige Wasserwelle vor, deren Oberfläche von anderen, kleineren Wellen gekräuselt wird, und Sie haben ein ungefähres Bild für den Grundton mit seinen Obertönen, die in ihrer Vermischung einen Ton (Klang) erzeugen.

Es sei hier bemerkt, dass diese Tongemische auf unser Ohr den gleichen Eindruck machen, wenn die dem gleichen Grundton beigemischten Obertöne von gleicher Höhe und Stärke sind. Die gegenseitige Lage ihrer Phasen kommt für die Klangfarbe nicht in Betracht, während die Form der gemeinschaftlichen Tonwelle sehr wohl von ihnen abhängt. Man ist deshalb nicht berechtigt, als den Ausdruck der Klangfarbe die Schwingungsform anzugeben; kann doch jede Klangfarbe durch unendlich viele Schwingungsformen hervorgerufen werden. Die Gleichgiltigkeit der Phasen für die Klangfarbe möchte ihren Grund darin haben, dass das Ohr die Teiltöne des Gemisches getrennt auffasst und diese erst in der psychischen Wahrnehmung verschmelzen. Zusammenfassend hat man sich einzuprägen, dass Intensität, Höhe, Klangfarbe, bedingt durch Schwingungsweite, Schwingungszahl, Obertöne einem Tone seine Eigenart verleihen.

Es wurde schon angedeutet, dass ebenso wie andere Wellen auch die Schallwellen von der Grenzfläche entgegenstehender Körper zurückgeworfen werden, eine Erscheinung, die besonders rein als Echo auftritt. Zur möglichst vollkommnen Zurückwerfung von Lichtwellen dienen Spiegel, ebene wie Hohlspiegel. Einen Hohlspiegel für Schallwellen stellt die aus poliertem Holz gefertigte Schallkammer des Klopfers (Fig. 132) dar. Die

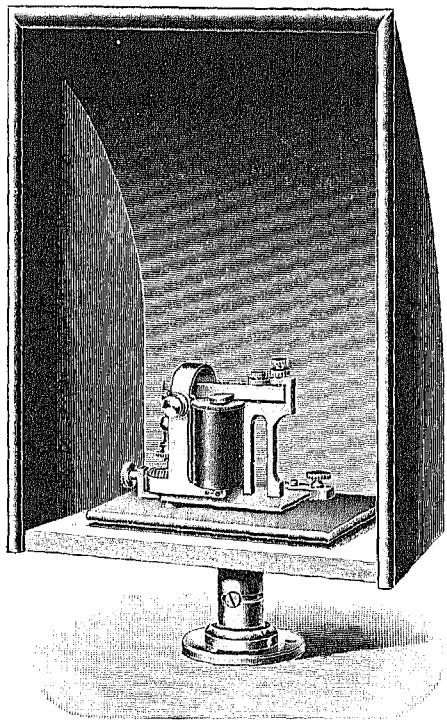


Fig. 132. Schallkammer mit Klopfer.

spiegelnde Fläche ist nach einem Zweige einer Parabel gekrümmt. In dessen Mitte liegt der hölzerne Boden der Schallkammer, damit das Grundbrett des Klopfers und die unter und über ihm befindlichen Luftschichten, welche beide tönen, der Brennlinie der Parabelfläche so nahe wie möglich sind. Die Politur des Holzes vervollkommnet die Zurückwerfung des Schalles geradeso,

wie ein blankgewichster Stiefel spiegelt, ein berusstes Glas nicht. Damit die Klopfer durch ihr Geräusch die an Nachbarapparaten arbeitenden Beamten nicht stören und andererseits deren Platz nicht unnütz verdunkelt wird, zäunt man diesen zweckmässig durch Glaswände ein.

Kann der Schall sich frei um seine Quelle ausbreiten, so nimmt bekanntlich seine Intensität, für die es allerdings kein anderes Messinstrument giebt, als das Ohr, mit wachsender Entfernung ab, und zwar sind die Intensitäten den Entfernungen von der Quelle umgekehrt proportional. Um die Schallquelle breiten sich kugelförmige Längswellen, kugelschalenförmige Verdichtungen und Verdünnungen der Luftteilchen aus. Da die Oberflächen dieser Kugeln mit dem Quadrat ihrer Radien wachsen — denn $4r_1^2\pi : 4r_2^2\pi = r_1^2 : r_2^2$ —, werden in der Entfernung r_2 im Verhältnis $r_2^2 : r_1^2$ mehr Luftteilchen in Schwingung versetzt, als in der Entfernung r_1. Die gleiche Schwingungsenergie bestreicht bei r_2 eine im Verhältnis $r_2^2 : r_1^2$ mal so grosse Fläche. Sie verteilt sich auf $r_2^2 : r_1^2$ mal so viele Luftteilchen. Die immer gleiche Anzahl solcher Luftteilchen, welche auf des Hörers Trommelfell stösst und dadurch mittelbar die Schallempfindung hervorruft, wird folglich in der grösseren Entfernung mit einer im Verhältnis $r_2^2 : r_1^2$ mal kleineren Energie stossen. Das heisst eben, die Schallintensitäten verhalten sich umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen.

$$J_1 : J_2 = r_2^2 : r_1^2.$$

Das Geometrische des Gesetzes kann ich Ihnen durch ein Modell (in Fig. 133 schematisch gezeichnet) zeigen, das mir allerdings gewöhnlich dasselbe Gesetz für die Lichtintensitäten verdeutlichen hilft. Der bequemeren Ausführung wegen sind die Kugelflächen durch Ebenen ersetzt. Die eine Ebene ist von der Schallquelle doppelt so weit entfernt, als die andere und, wie man sieht, vier mal so gross. Dadurch, dass sich die gleiche Schallmasse auf sie ergiesst, erhält dort eine Fläche gleicher Grösse nur den vierten Teil davon. Ebenso erklärt sich das Verhältnis der umgekehrten Quadrate in den beiden Coulombschen Gesetzen, wie in ihrem Urbilde, dem Newtonischen.

Für den Schall gilt das Gesetz aber nur, wenn er sich um seine Quelle nach allen Seiten frei ausbreiten kann. Verhindert man die Ausbreitung, indem man den Schall in eine Röhre einschliesst, so ist seine Intensität in den verschiedenen Teilen

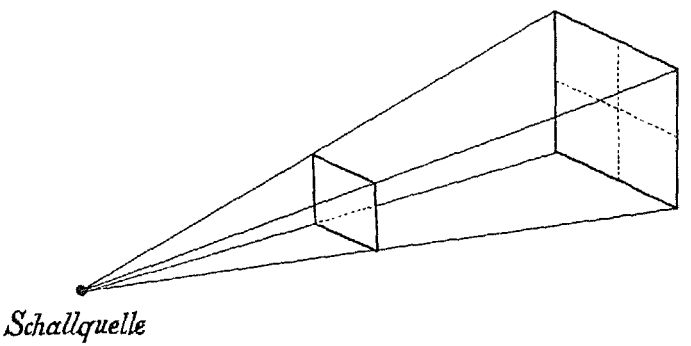


Fig. 133. Die Schallintensitäten verhalten sich umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen von der Schallquelle.

der Röhre ungefähr gleich. Er wird durch das Durchlaufen eines Weges nur wenig geschwächt. Will man deshalb den Schall fortleiten, so muss man ihn durch eine Röhre mit glatter Innenfläche schicken, wobei kegelförmige Erweiterungen des

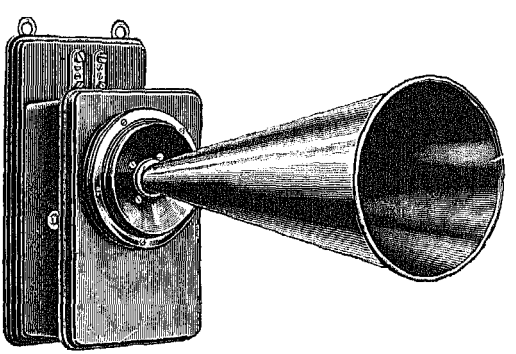


Fig. 134. Schalltrichter des lautsprechenden Telephons.

Röhrenendes hohlspiegelartig den Eintritt des Schalles in die Röhre und seinen Austritt aus ihr erleichtern. Beispiele dafür sind das jetzt gewöhnlich nur noch auf kleineren Schiffen

gebrauchte, sonst meist durch Fernsprecher und Kommandoapparate verdrängte Sprachrohr, die Hörmuschel des gewöhnlichen Telephons und gar der Schalltrichter des lautsprechenden (Fig. 134), endlich der Schallbecher der Mikrophone, wie hier (Fig. 135) der des Berlinerschen.

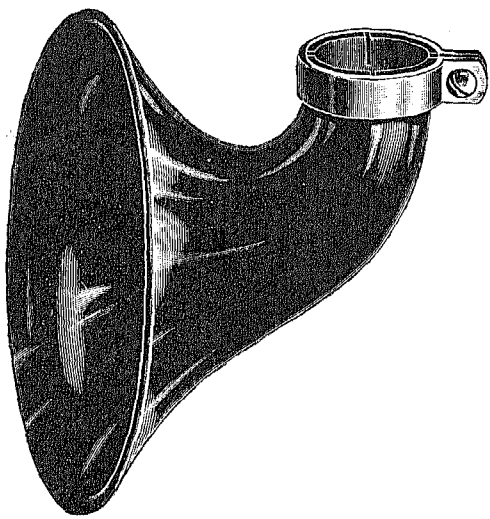


Fig. 135. Schallbecher des Berlinerschen Mikrophons.

Eine Erscheinung, von der schon eben die Rede war, erfordert noch weiter unsere Aufmerksamkeit. Ich meine die Resonanz, welche für ganz verschiedene technische Gebiete von grosser Bedeutung ist. In der Akustik pflegt sie in der Weise gezeigt zu werden, dass man eine tönende Stimmgabel erst in der Hand hält und dann auf den Tisch oder einen Kasten aus elastischem Holz aufsetzt. In der Hand tönt sie leise, auf dem Tisch oder dem Holzkasten stehend, ist sie im ganzen Saale hörbar. Tischplatte und Holzkasten werden von der Stimmgabel mit in Schwingung versetzt. Ihre Teilchen schwingen mit; sie resonieren. Ihre Oberfläche ist sehr viel grösser als die der Stimmgabel, und dadurch wird einer viel grösseren Luftmenge der Antrieb zum Schwingen erteilt. Die Resonanzböden der Musikinstrumente — man denke an Klavier, Violine, Bassgeige — haben den Zweck, die Anzahl der

schwingenden Luftteilchen zu vermehren und damit die Lautstärke zu erhöhen. Als solcher Resonanzboden wirkte ja das Grundbrett des Klopfers und die über und unter ihm befindliche Luftschicht. Der Wind versetzt die frei ausgespannten Telegraphendrähte in Schwingungen und sie das elastische Holz der Telegraphenstangen, die dann das bekannte dumpfe Geräusch vollführen.

Die Resonanz tritt am besten ein, wenn der Ton, auf den resoniert werden soll, mit dem Tone übereinstimmt, den der resonierende Körper giebt, wenn er unmittelbar in Schwingungen versetzt wird, wenn er frei schwingt, mit seinem Eigenton.[1]) Eine ähnliche Erscheinung sahen Sie schon (S. 216), als der Wagnersche Hammer eine Schnur in stehende Wellen versetzen sollte. Auch sie giebt bei gegebener Fadenspannung und -länge gewissermassen einen Eigenton, eine freie Schwingung.[2]) Sie verlangt mit einer von ein Paar bestimmten Schwingungszahlen erschüttert zu werden, wenn sie stehende Wellen schlagen soll. Fadenlänge s und Wellenlänge l müssen in den damals angegebenen Beziehungen stehen. Als plattes Gleichnis könnte man anführen, dass ein Redner die Seele seiner Zuhörer umso leichter in Mitschwingung versetzen wird, je mehr er den Inhalt seines Vortrages ihren Ansichten und Kenntnissen und die Form ihrem Geschmack anzupassen versteht.

Die Resonanz eines Körpers auf seinen Eigenton lässt sich durch einige akustische Versuche mit ganz einfachen Hilfsmitteln schlagend nachweisen. Hier sind in einiger Entfernung von einander zwei Stimmgabeln mit ihren hölzernen Resonanzkästen so aufgestellt, dass deren seitliche Öffnungen sich ansehen. Beide Gabeln sind, wie ihre Aufschrift angiebt, auf den gleichen Ton abgestimmt. Ich schlage die eine Gabel an. Sie ertönt und setzt durch die Luft die andere mit in Schwingung. Dass in der That Gabel II tönt, erkennen Sie, wenn ich Gabel I durch Festhalten am Tönen verhindere. Wird jetzt auch Gabel II festgehalten, so ist der Ton zu Ende. Verstimmt man aber die Gabel II durch Aufschrauben eines Stückchens Eisen

[1]) Der Resonanzboden eines Musikinstrumentes muss natürlich auf alle seine Töne resonieren, und doch wird zum Beispiel dem Resonanzboden einer Violine durch fortgesetztes gutes oder schlechtes Spiel eine Eigenart zu tönen erteilt.

[2]) Oder deren mehrere.

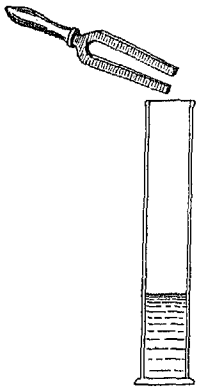


Fig. 136.
Resonanz einer Luftsäule bestimmter Länge auf eine Stimmgabel.

auf die eine Zinke, so fällt es ihr nicht ein, auf die tönende Gabel I zu resonieren, wie der Gegenversuch zeigt. Also eine tönende Stimmgabel versetzt eine zweite mit in Schwingung, wenn und solange sie auf den gleichen Ton abgestimmt ist.

Ein zweiter Versuch! Wieder wird eine Stimmgabel angeschlagen, jetzt aber in der Hand gehalten. Sie tönt leise. Führt man sie (Fig. 136) über die Öffnung dieses leeren Standcylinders, so tritt keine nennenswerte Resonanz ein. Lassen Sie mich jetzt Wasser in den Cylinder giessen. Der Ton wird lauter und erreicht bei einer bestimmten — nicht von Wasser verdrängten — Luftsäule seine grösste Stärke, die beim Zugiessen von mehr Wasser wieder abnimmt. Wird mit einem Heber das Wasser wieder abgezogen, so findet die stärkste Resonanz bei derselben Höhe der Luftsäule statt, wie vorher. Berechnen Sie aus der in die Stimmgabel eingeschlagenen Schwingungszahl des Tones seine Wellenlänge l und vergleichen damit die Höhe der Luftsäule bei stärkster Resonanz s, so finden Sie $s = 1/4\,l$. Die Luftsäule schwingt mit einem Tone, dessen Länge l viermal so gross ist, als ihre eigene s. Wie man sagt, schwingt die Luftsäule in einer viertel Wellenlänge.

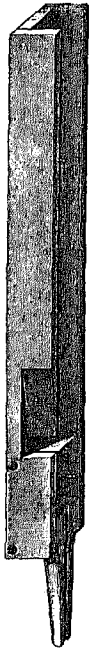


Fig. 137.
Lippenpfeife, der Länge nach durchschnitten.

Tönende Luftsäulen spielen in dem, was schliesslich — selbst oder als Bild — alles zur Schwachstromtechnik gehört, eine Rolle. Die Gesetze ihres Tönens offenbaren sich am besten in den Lippenpfeifen, die man, je nachdem ihr oberes Ende offen oder verschlossen ist, in offne und in gedeckte — in alter Wortform gedachte — sondert. Einen Schnitt durch eine offne Lippenpfeife sehen Sie hier (Fig. 137). Unserm Versuche von eben entspricht die gedeckte Pfeife, die sich von der gezeichneten nur durch den Verschluss

des oberen Endes unterscheidet. Dieser Verschluss entspricht bei dem Cylinder (Fig. 136) dem unteren Ende der Luftsäule, da, wo sie an das unelastische Wasser grenzt. Die tonerregende Stimmgabel ist durch den Luftstrom ersetzt, der aus dem Mundstück an dem Spalt der beiden Lippen vorbei bläst. Dieser Luftstrom versetzt die Luftsäule der Pfeife in stehende Längsschwingungen. Die stehenden Schwingungen kommen so zu Stande, dass, wie die Seilwelle, auch die Luftwelle um eine halbe Periode in der Phase verschoben zurückgeworfen wird und die hingehenden Wellen mit den zurückgeworfenen interferieren. Die Luftsäule der Lippenpfeifen ertönt in freien, nicht in erzwungenen Schwingungen. Der erregende Luftstrom löst den Eigenton der Pfeife aus und ersetzt die durch Reibung und Abgabe nach aussen der Pfeifenluft verloren gehende Arbeit. Das Gesetz der gedeckten Pfeife können Sie sich durch die Erwägung plausibel machen, dass am gedeckten Ende Ruhe herrschen, ein Knoten entstehen wird und am Spalt ein Bauch. Die Entfernung eines Knotens vom benachbarten Bauch beträgt eine viertel Wellenlänge (S. 214). Die gedeckte Pfeife erzeugt in der That (für gewöhnlich) einen Ton, dessen Welle viermal so lang ist, als sie selbst, $l = 4s$. Sie schwingt in einer viertel Wellenlänge. Für das Gesetz der offenen Pfeife ist zu bedenken, dass sich zwar an der Lippe ein Schwingungsbauch befindet, an dem jetzt offnen Ende aber kein Knoten mehr verlangt wird, mithin auch dort ein Bauch entstehen kann. Für gewöhnlich schwingt deshalb eine offne Pfeife in einer halben Wellenlänge $l = 2s$. Ihr Ton ist derselbe, wie der einer gedeckten Pfeife von halber Länge.

Bei den Lippenpfeifen, von denen bis jetzt die Rede war, wird die Pfeifenluft durch einen an dem Lippenspalt vorbeistreichenden Luftstrom erregt. Den Zungenpfeifen öffnet und verschliesst abwechselnd ein hin- und herschwingender leichter Körper, die Zunge, den von dem erregenden Luftstrom durchstrichenen Spalt und macht diesen Luftstrom dadurch intermittierend. Die verwickelten Gesetze der Zungenpfeife können wir gern aus dem Spiele lassen. Sie selbst musste deshalb erwähnt werden, weil das menschliche Stimmorgan als eine Zungenpfeife angesehen wird. Zwei elastische Muskelbänder, die Stimmbänder, öffnen und verschliessen abwechselnd die obere

Öffnung des Kehlkopfes, die Stimmritze, machen dadurch den aus der Lunge getriebenen Luftstrom intermittierend und bringen die Luft des Rachens und der Mundhöhle zur Resonanz. Die verschiedenen Stellungen der Lippen und der Zunge (nicht im akustischen Sinne) helfen dann die Reihe der Sprachlaute erzeugen. Die Vokale sind Töne mit ihren Obertönen, die Konsonanten kurze Geräusche, die mehr nur die Vokale einrahmen. Eine weitere Betrachtung des menschlichen Stimmorganes und des Ohres, wie der Theorien über das Zustandekommen der Sprache wäre reizvoll, aber für unseren Zweck überflüssig, so dass nur noch auf eine akustische Erscheinung, auf die Dämpfung, hingewiesen werden muss.

Bei der Schallkammer des Klopfers erfuhren Sie, dass glatte und blank polierte Flächen den Schall besonders gut zurückwerfen. Es wurde auch an die entsprechende optische Erscheinung erinnert und im Gegensatz zum blanken Stiefel ein berusstes Blech angeführt. Diesem entsprechen akustisch alle Stoffe mit rauher Oberfläche, wie zum Beispiel Teppiche, die den Schall nicht zurückwerfen, sondern verschlucken, also dämpfen. Man denke an die Läufer eines Hotels und an die blossen Treppen eines Alpengasthauses, die — dem eben eingeschlafenen zum Ärger — unter den Tritten spät ankommender Touristen erdröhnen. Im leeren Hör- oder Konzertsaal schallt die Stimme des Redners oder des Sängers. Die Stimme wird durch das ihr augenblicklich folgende Echo gestört. Die Zuhörer dagegen erteilen einem erheblichen Teile des Saales eine unregelmässige Oberfläche, welche den Schall nicht zurückwirft. Die gleiche Erscheinung verwendet man bei den sogenannten schallsicheren Fernsprechzellen (Fig. 138), in denen — sehr zweckmässig, aber leider viel zu selten — an geräuschvollen Orten der Fernsprecher untergebracht ist. Damit diese Zellen auch wirklich als Schallscheidewand und nicht etwa als Resonanzkasten wirken, sind

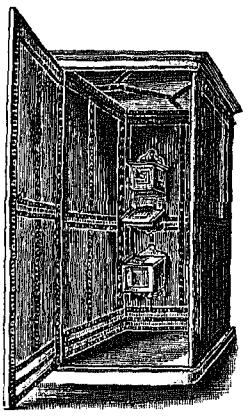


Fig. 138.
Schallsichere Fernsprechzelle.

sie mit Filz oder Fries oder ähnlichem Material, kurzum mit Körpern ausgepolstert, die gewissermassen den Schall schlecht leiten. Sie lassen ihn weder von aussen nach innen, noch von innen nach aussen durch und schützen den Fernsprechenden vor dem oft unerträglichen Lärm der Aussenwelt und zugleich vor Lauschern am Orte selbst.

Das Bild einer stark gedämpften Schwingung entspricht dem des Funkens, das seiner Zeit in der Elektrostatik (Fig. 59 auf S. 93) entworfen wurde. Die Amplituden der Schwingung werden immer kleiner, so dass sie sich schnell an Null annähern. Dass auch jede Resonanz dämpfend wirkt, folgt aus dem Gesetz von der Erhaltung der Energie. Denn bei der Resonanz wird die schwingende Masse auf Kosten der Schwingungsdauer vergrössert. Der Anstoss zum Schwingen stellt ein bestimmtes Maass an Arbeit zur Verfügung, und dieses zehrt eine grössere schwingende Masse natürlich schneller auf, als eine kleinere.

Somit schliessen wir in der heutigen Vorlesung unsere allgemeinen Betrachtungen, die Besprechung der physikalischen und chemischen Thatsachen und Theorien ab, so weit sie für ein elementares Verständnis der Telegraphie und Telephonie notwendig sind, und treten bei unserer nächsten Zusammenkunft in die Erörterung der speziellen Technik ein. Freilich konnten schon manche Einzelheiten vorweg genommen werden und manches allgemeine musste, schon um nicht durch zu viel Theorie abzuschrecken, für den speziellen Teil aufgespart bleiben. Stossen Sie sich nicht daran — die Einteilung ist schwer ganz schulmeisterlich richtig zu treffen —, und folgen Sie mir guten Mutes weiter, zunächst zu dem landläufigsten Telegraphenapparat, dem Morse.

12. Vorlesung.

Farbschreiber und Klopfer.

Morseprinzip. Morsezeichen. Reliefschreiber. — Farbschreiber: Elektromagnet. Kerne und Anker. Magnetischer Kreis. Luftzwischenraum und Ankeranziehung. — Maximale Amperewindungen. — Einstellung. — Schreibhebel. — Uhrwerk. Übersetzung der Geschwindigkeiten und Kräfte. Windfang. Auslösung und Hemmung. — Papier. — Französischer Farbschreiber. — Taste. — Klopfer und Klopfertaste. Einfachste Schaltungen.

Zu jeder telegraphischen oder telephonischen Übertragung sind offenbar zwei Hauptapparate nötig, einer, mit dem gegeben, und einer, mit dem empfangen oder aufgenommen wird. So besteht auch der Morseapparat aus zwei Teilen, aus Geber und Empfänger. Namentlich der Empfänger hat während vieler Jahrzehnte eine lange Formenreihe durchlaufen, welche, gleich anderen viel gebrauchten Erzeugnissen der Werkstatt, ganz an die eines Lebewesens erinnert.

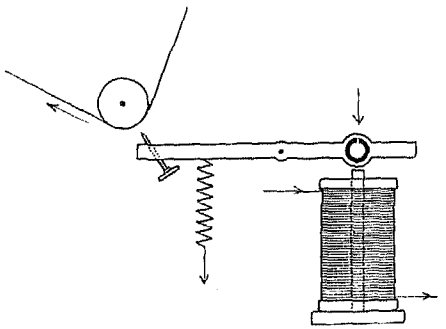


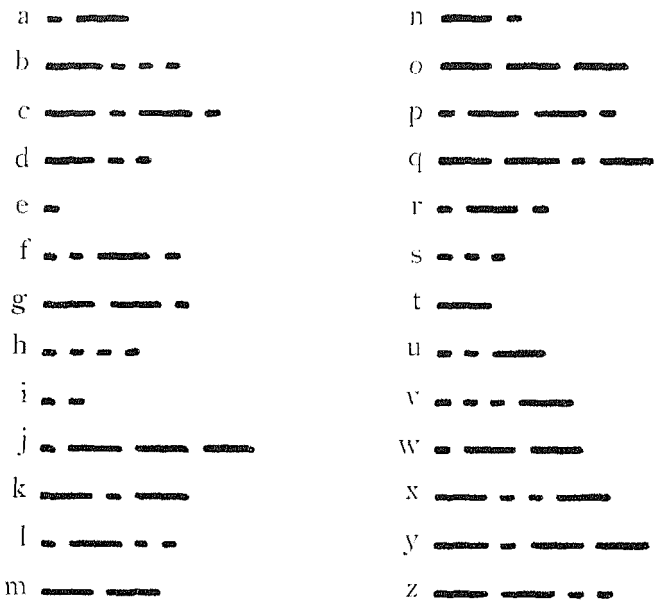
Fig 139. Schema des Morseempfängers.

Von dem Empfänger der alten Bauart seien die prinzipiell wichtigsten Teile gezeichnet (Fig. 139), zuerst der um seine horizontale Achse drehbare Schreibhebel, dessen — von Ihnen

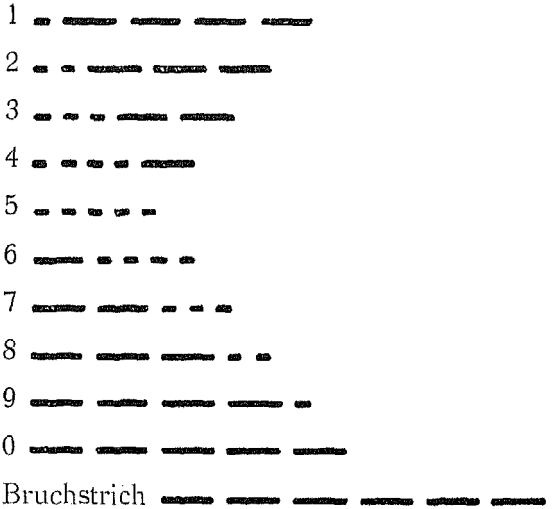
aus — rechtes Ende einen eisernen Anker umschliesst. Unter dem Anker steht ein zweischenkliger Elektromagnet, von dem hier nur eine Spule und ein Kern zu sehen ist. Werden die Spulenwindungen des Elektromagneten von einem Strome durchflossen, so ziehen die Eisenkerne den Anker an. Der Hebel dreht sich in der Richtung des Uhrzeigers und der an seinem linken Ende befestigte Stahlstift macht einen Eindruck in ein an ihm vorbeirollendes, von einer sich drehenden Walze gestütztes Papierband. Sobald der Strom zu fliessen aufgehört hat, gewinnt die dem elektromagnetischen Zuge entgegenwirkende Spiralfeder wieder die Oberhand und führt den Schreibhebel in seine ursprüngliche Lage zurück. Die Länge des Papiereindruckes hängt somit von der Dauer des Stromschlusses ab. Bei langer Stromdauer entsteht ein langer Papiereindruck, ein Strich, bei kurzer ein kurzer, ein Punkt. Aus Punkten, verschieden langen Strichen und der Länge der Zwischenräume hat Morse ein Alphabet erdacht und in Amerika eingeführt. So drückte er zum Beispiel durch • • • das *s*, durch — • — das *c* und durch • — • das *r* aus. Es bedeutete — *t* und ——— *l*. Die Zwischenräume verursachten Irrtümer, und obschon sie und die verschieden langen Striche für Amerika notgedrungen bestehen blieben, setzte man die für Europa bestimmte Morseschrift nur aus Punkten und einer Art Strichen zusammen, ohne den Zwischenräumen eine besondere Bedeutung beizulegen. Auf dieser Tafel (S. 232 und 233) sind die in Europa gebräuchlichen Morsezeichen aufgeschrieben. Besonders häufig vorkommende Buchstaben, wie zum Beispiel das *e*, sind möglichst einfach gebaut. Die Morseschrift zu erlernen, giebt es nur ein Mittel: Übung. Gedächtnisregeln helfen nur für ein paar Buchstaben. Zur Einübung hat man Apparate (Fig. 140 auf S. 234) ohne jede elektrische Einrichtung gebaut. Bei ihnen werden die Bewegungen der gebenden Taste, auf deren Besprechung wir nachher kommen, mechanisch unmittelbar auf den Schreibhebel übertragen, und der Lernende ist in der Lage, auf dem Papierstreifen zu prüfen, ob er richtig gegeben hat. Diese Kontrolle fällt beim Üben mit der Taste allein fort; sonst thut sie aber denselben Dienst. Dem Praktiker gehen die Morsezeichen bald in Fleisch und Blut über, und er handhabt sie mit einer dem Unkundigen imponierenden Sicherheit.

Die wichtigsten

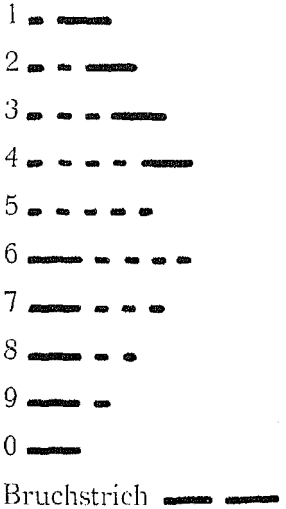
Buchstaben.



Ziffern.

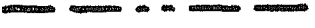


Abgekürzte Ziffern.

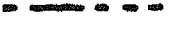
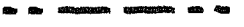


Morsezeichen.

Interpunktion.

Punkt	
Semikolon	
Komma	
Doppelpunkt	
Fragezeichen	
Ausrufungszeichen	
Apostroph	
Bindestrich	
Klammer (auf und zu)	

Dienstzeichen.

Anruf	
Auffordern zum Geben	
Warten	
Verstanden	
Nicht verstanden	
Irrtum oder Unterbrechung	
Schluss	
Quittung	
Zur Trennung { von Kopf, Adresse, Text u. Unterschrift	
Dringlich (d)	
Antwort bezahlt (R. P.)	

Die ursprünglichen Morseapparate heissen nach ihrer in Papiereindrücken bestehenden Schrift Reliefschreiber. Sie besassen der üblen Eigenschaften mehrere. Es war nötig, dass ihr Schreibhebel seine Spitze mit einiger Kraft in das Papier eindrückte. Dazu musste er heftig angezogen werden und gehörig fest sein. Doch durfte das Papierband auch nicht durchlöchert werden. Dies zu verhindern und wiederum auch genügend tiefe Papiereindrücke zu erzielen, erforderte eine fortwährende Aufmerksamkeit auf die Einstellung. Aber auch dann war die Schrift oft schwer zu entziffern, trotzdem in den

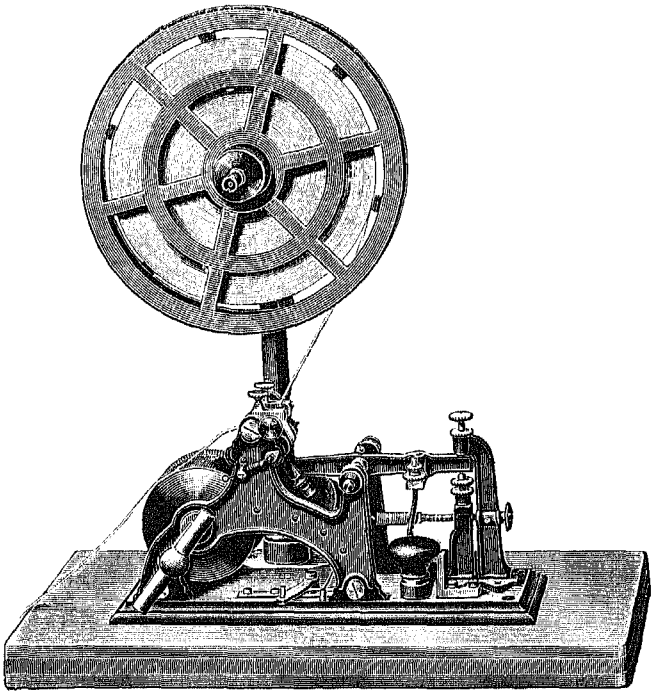


Fig. 140. Übungsapparat.

Ämtern nur die Fensterplätze benutzt wurden. Trübes Wetter oder künstliche Beleuchtung erschwerten das Lesen der Telegramme noch mehr. Oberlicht machte es ganz unmöglich. Der Reliefschreiber wurde deshalb zur grossen Freude der Beamten

durch den Farbschreiber ersetzt. Bei ihm werden die Zeichen dem Papierbande nicht eingedrückt, sondern mit Farbe aufgeschrieben.

Der Farbschreiber

steht hier (Fig. 141 und 142 auf den folgenden Seiten) in zwei sehr ähnlichen Ausführungsformen vor Ihnen. Zur besseren Übersicht teilen wir seine Besprechung in drei Abschnitte, die mit den drei Schlagworten: Elektromagnet, Schreibhebel, Uhrwerk zu überschreiben sind. Das Eingehen auf vielerlei Einzelheiten ist durch die grosse Verbreitung des Apparates und seine technische Durchbildung gerechtfertigt.

Der Elektromagnet (Fig. 143) wird von zwei Spulen gebildet, die über Eisenkerne geschoben sind. Diesen sind dann

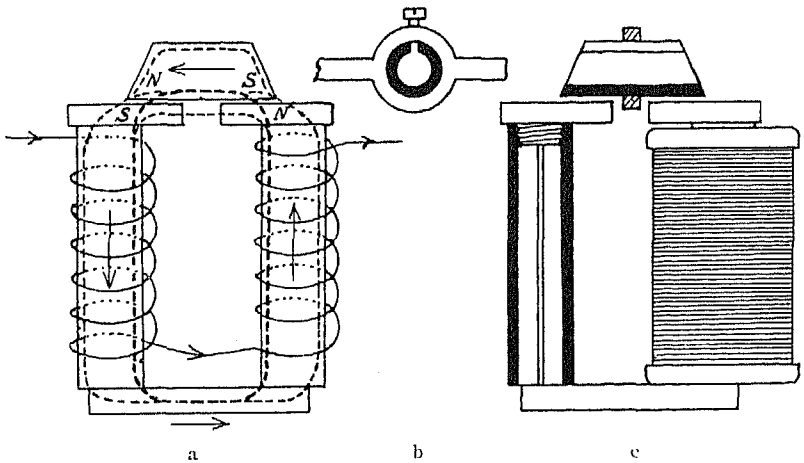


Fig. 143. Farbschreibermagnet.

Polschuhe aufgeschraubt. Pro Spule hat man etwa 500 m mit Seide umsponnenen Kupferdrahtes von 0,2 mm Durchmesser in 6500 Windungen — radial etwa 33, übereinander 200 Lagen — aufgewickelt. Der Widerstand pro Spule ist nach $W = W_s \frac{l}{q}$ mithin zu etwa $\frac{^1/_{57} \cdot 500}{0{,}1^2\,\pi} = 280$ Ohm und der von zwei hinter-

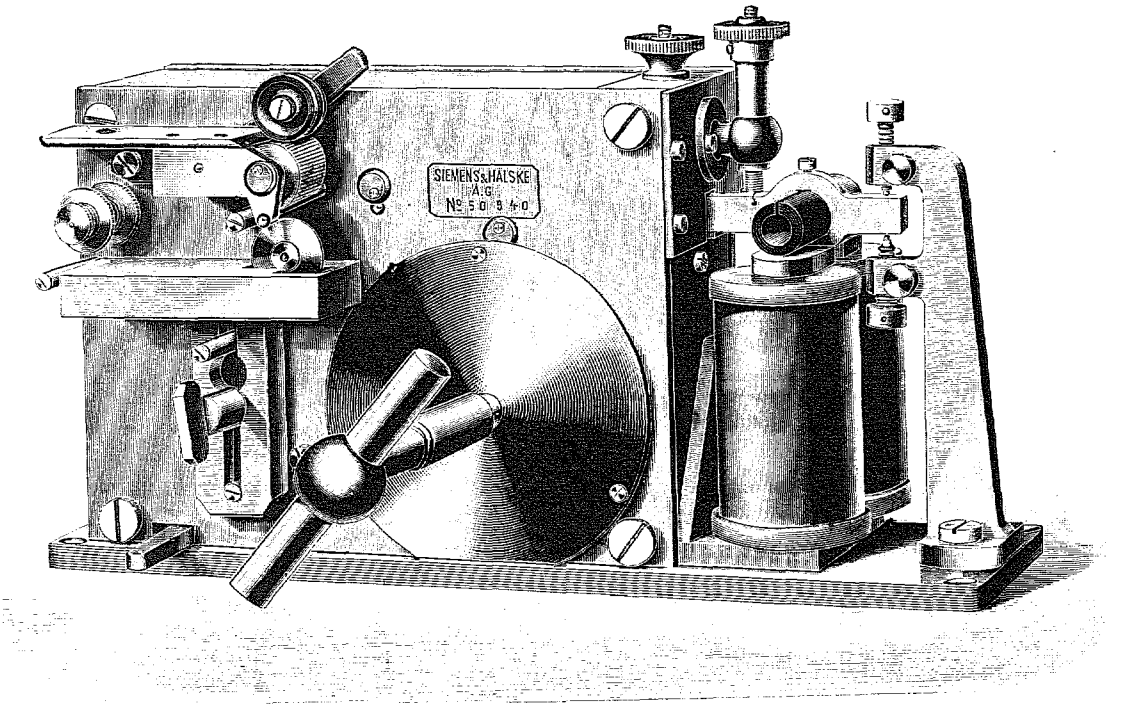


Fig. 141. Deutscher Farbschreiber. ($^1/_2$ natürliche Grösse. Federtrommel im Gehäuse.)

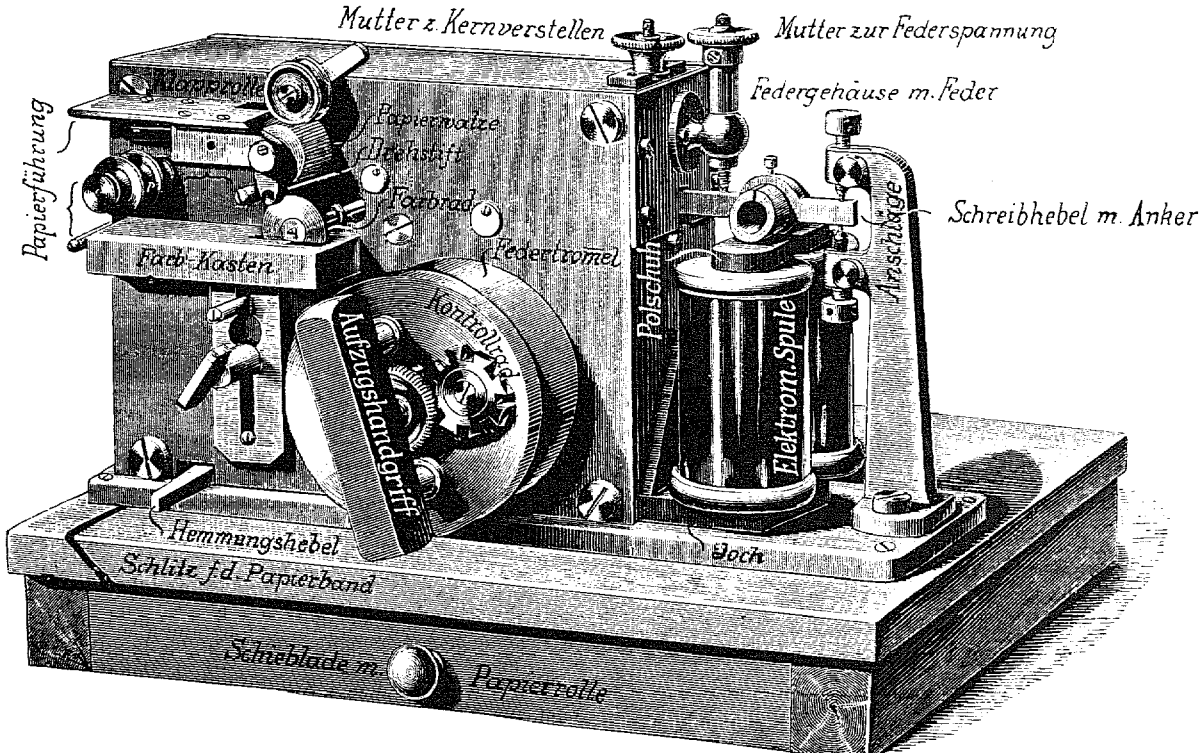


Fig. 142. Deutscher Farbschreiber. (Federtrommel vor dem Gehäuse.)

einander geschalteten Spulen R zu 560 Ohm zu veranschlagen. Früher wurde er zu etwa 300 und 600 *S.E.* angegeben.

Über den Elektromagnetkernen (Fig. 143) ist der Anker angebracht. Kerne, Polschuhe und Anker bestehen, um Remanenz und Hysteresis nach Möglichkeit einzuschränken, aus weichem Eisen. Je schlanker dessen Hysteresisschleife, umso gehorsamer folgen, wie Sie wissen, den Stromänderungen (J) und damit den magnetischen Änderungen in Luft (H) die im Eisen (B), mithin die Bewegungen von Anker und Schreibhebel. Ausserdem wird auch ein umso kleinerer Teil der übertragenen elektrischen Arbeit im Eisen vergeudet. In Anker und Kernen sollen des Weiteren keine Wirbelströme zugelassen werden. Sie zu vermeiden, sind alle drei als Röhren ausgebildet und überdies der Länge nach, also parallel zu den Kraftlinien, aufgeschlitzt. Hierdurch wird den Wirbelströmen, welche sonst in den massiven Eisencylindern und in kleinerem Maasse auch in den Eisenröhren die Kraftlinien umkreisen würden, der Weg verlegt. Ausserdem macht die Röhrenform den Anker leicht, so dass durch ihn dem Schreibhebel die Masse nur unwesentlich vermehrt und die Beweglichkeit nicht vermindert wird. Der Ankerschlitz dient gleich zum Einsetzen der Schraube, die den Anker im Schreibhebel festklemmt.

Das Arbeiten des Elektromagneten ist Ihnen aus früher gelerntem verständlich. Sie wissen, dass ein in einer Spule befindlicher Kern aus weichem Eisen für die Dauer des Stromflusses zum Elektromagneten wird, zwar so, dass an dem in der Richtung des Uhrzeigers umflossenen Ende des Kernes ein Süd-, am anderen ein Nordpol entsteht. Freilich kommen Pole nur dort wirklich zu Stande, wo die Kernenden an Luft grenzen, also in den Polschuhen dem Anker gegenüber, während die beiden unteren, durch die Jochplatte vereinigten Enden sich gleichsam magnetisch neutralisieren. Von den beiden oberen Kernenden stellen, wie die Betrachtung des Schemas (Fig. 143a) ergiebt, das eine einen Nord-, das andere einen Südpol vor. Beide influenzieren den ihnen gegenüberliegenden Eisenanker magnetisch derart, dass sich ungleichnamige Pole gegenüberstehen und Anziehung stattfindet.

Soweit die alte Betrachtungsweise. Erinnern Sie sich nun an die Kraftlinienanschauung und an das Gesetz des magnetischen

Kreises. Das Produkt des Stromes J und der Windungszahl n übernahm als Jn, als Amperewindungen, die Rolle einer Magnetomotorischen Kraft. Nehmen Sie für den Farbschreiber J zu 13 Milliampere und n zu 2 . 6500 = 13000 an, so ergiebt sich

$$Jn = 13 . 10^{-3} . 13 . 10^{3} = 169.$$

Diese 169 Amperewindungen treiben unter Überwindung des magnetischen Widerstandes den magnetischen Kraftfluss durch Kerne, Polschuhe, Joch, Anker und — nicht zu vergessen — die Luftbrücke. Der Widerstand des magnetischen Kreises setzt sich aus dem seiner einzelnen Teile, im Ganzen also aus dem des Eisen- und dem des Luftweges zusammen. Da die spezifische magnetische Leitfähigkeit L, die Permeabilität, für Eisen sehr gross — in unserem Falle mögen Sie sie zu etwa 3000 annehmen —, für Luft nur 1 ist, wird der magnetische Widerstand auch kleiner Luftbrücken unverhältnismässig gross. Die Einzelheiten der übrigens nur ganz ungefähren Rechnung will ich Ihnen ersparen und allein ihr Ergebnis anführen. Könnte der Anker unmittelbar ohne Luftzwischenraum auf den Polschuhen aufliegen, so würden die 169 Amperewindungen einen Gesamtkraftfluss von etwa 10 000 Linien durch den Magnetkreis drücken. Müssen aber die Kraftlinien zum und vom Anker auf die kurze Strecke von nur 0,5 mm durch Luft gehen, so liefern die gleichen Amperewindungen nur noch etwa 4000 Linien, und bei 0,8 mm sinkt ihre Anzahl gar auf 2500 herab. Für den Eisenweg sind im letzteren Falle nur an 20 Amperewindungen nötig. Alle übrigen, also an 150 treiben den Kraftfluss durch den Luftweg von 2 . 0,8 mm.

Lassen Sie mich in dem Schema des Elektromagneten (Fig. 143a auf S. 235) den Schnitt durch ein Kraftlinienbündel mit einer gestrichelten Linie andeuten. Dann sind, weil Kerne und Anker hohl sind und nur die — etwa 3 mm dicken — Wandungen aus Kraftlinien-leitendem Eisen bestehen, die gestrichelten Linien nahe der äusseren Wand zu zeichnen. Absichtlich zeichne ich in Kern, Polschuh und Anker die innere Linie stärker, als die äussere; wird doch der kürzere, innere Weg von mehr Linien benutzt, als der längere, äussere. Wie bei elektrischen,

wird auch bei magnetischen Verzweigungen der Weg des kleinsten Widerstandes bevorzugt. Es verläuft also ebenfalls die Mehrzahl der Kraftlinien durch den den Polschuhen benachbarten, tieferen Teil der Ankerröhre, und nur ein kleinerer Teil steigt in den mittleren und oberen Teil der Röhre hinauf. Deshalb kann diese auch ohne merkliche Erhöhung des magnetischen Widerstandes an den beiden Seiten dachartig abgeschrägt sein. Das dadurch fortfallende Eisen würde doch nur sehr wenig als magnetisches Leitungsmaterial ausgenutzt werden. Den Zusammenhang zwischen Strom- und Kraftlinienrichtung werden Sie leicht aus den früher dafür gegebenen Regeln ableiten können.

Da, wie eben mit einigen ungefähren Zahlen belegt wurde, der Luftzwischenraum zwischen Polschuhen und Anker den weitaus grössten Teil des magnetischen Widerstandes hervorruft, erkennen Sie die Berechtigung, Anker und Kerne ohne Schaden auszuhöhlen und zu schlitzen, und dadurch den Vorteil geringerer Remanenz, Hysteresis und Wirbelströme zu erreichen. Der Widerstand des Eisenweges bleibt trotzdem gegen den des Luftweges klein. Höhlung und Schlitz vernichten aber die Remanenz nicht vollständig. Das wird beim Telegraphieren dann fühlbar, wenn der angezogene Anker die Polschuhe unmittelbar ohne Luftzwischenraum berührt. Die Remanenz des Eisenkreises ist dann noch immer so gross, dass bei der nun folgenden Stromunterbrechung der Anker durch die Feder nicht abgerissen wird, sondern auf den Polschuhen gleichsam kleben bleibt. Die unmittelbare Berührung von Anker und Polschuh zu verhindern, ist der Ankerhub nach oben und unten durch einen verstellbaren Anschlagstift begrenzt. Beide Anschlagstifte sind verstellbar in einem Bock (Fig. 144) untergebracht, der ganz rechts der Grundplatte aufgeschraubt ist. Hat man aber den unteren Anschlag soweit gesenkt, dass der Anker doch die Polschuhe berührt, so verhindert ein auf beide Polschuhe aufgeklebtes Stück Papier als dünne Schicht unmagnetischen

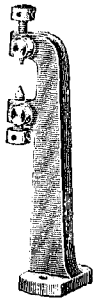


Fig. 144.
Bock mit Anschlagstiften.
($^1/_3$ natürl. Grösse.)

Materiales, das heisst solchen von der Permeabilität Eins, das magnetische Kleben des Ankers.

Die Berechnung des magnetischen Kreises wird durch eine Erscheinung einigermassen trügerisch, von der noch garnicht die Rede war, durch die Streuung. Es legen nämlich längst nicht alle in Spulen und Eisenkern erzeugten Kraftlinien wirklich den vollen von ihnen gewünsehten Weg zurück, sondern sie springen zu erheblichem Teile vorher ab, ohne erst durch den Anker hindurch zu gehen. Namentlich die einander bis auf 1 cm benachbarten Polschuhe geben zu einer derartigen Zerstreuung von Kraftlinien Veranlassung, etwa so, wie es für eine mittlere Kraftlinie in dem Schema von vorhin (Fig. 143a auf S. 235) angedeutet ist. Solche Streulinien sind natürlich garnichts nutz, obgleich ebenso gute Amperewindungen für sie aufgewendet werden, wie für die wirksamen Kraftlinien. Aber sie lassen sich nicht vermeiden, und man muss von der unter Vernachlässigung der Streuung errechneten Kraftlinienzahl einen Teil abziehen, um die Nutzlinien zu erhalten. Wieviel, ist schwer zu sagen. Ohne Verbindlichkeit möchte ich das Streufeld zu 20 bis 30% des Gesammtfeldes veranschlagen. Nur etwa 80 bis 70% entfallen auf das Nutzfeld.

Sie sollen mit dieser Rechnung auch nicht weiter behelligt werden, denn die Dinge liegen, wie später klar werden wird, verwickelter. Nur eine Kurve möchte ich Ihnen zeigen (Fig. 145 auf der folgenden Seite), welche die Änderung der Anziehung des Ankers mit seiner Entfernung von den Polschuhen wiedergiebt. Die Anziehungskraft ist für die verschiedenen Entfernungen unmittelbar gemessen worden. Wenn Sie diese Messungen als zuverlässig betrachten wollen, so entnehmen Sie der Kurve, dass im ungefähren Abstande von 2 mm der Anker mit 1,5 g, bei 0,8 mm schon mit 5 g, bei 0,5 mm mit 7 g und bei 0,2 mm mit 12 g angezogen wird. Der Anker wird ja deshalb auch bei seinem Wege auf die Polschuhe zu immer heftiger angezogen werden und den kurzen Zwischenraum mit immer stärker beschleunigter Geschwindigkeit zurücklegen. Die gestrichelte Kurve giebt die gleiche Abhängigkeit bei einem andauernden Strome von nur 4,3 Milliampere, das heisst dem dritten Teile des normalen Morsestromes wieder. Sie sehen, eine wie kleine Anziehungskraft er ausübt.

Eine einigermassen wichtige Frage ist noch zu erwägen: Wovon hängt die Zahl der erreichten Amperewindungen und damit unter sonst gleichen Umständen die Stärke der Ankeranziehung ab, und kann man sie durch Vergrösserung der Windungszahl steigern? Dadurch wächst allerdings der Faktor n des Produktes $J.n$, aber mit ihm auch der Leitungswiderstand R der Spulen, und damit sinkt der Faktor J. Nehmen Sie die

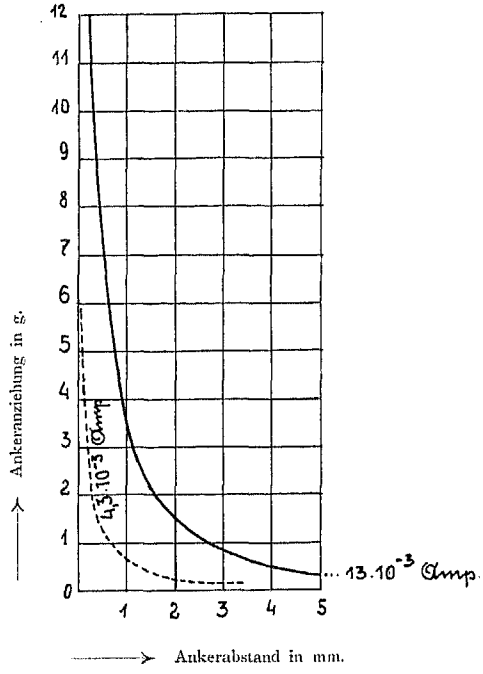


Fig. 145. Ankeranziehung und -abstand.

Höhe der Spule als gegeben an, so wird der Widerstand R mit zunehmender Windungszahl sogar stärker vergrössert, als die Windungszahl. Denn die Spule wird immer dicker und die später aufgewickelten Windungen haben einen immer grösseren Durchmesser, mithin grössere Länge als die ursprünglichen. Hier (Fig. 146) ist für die Farbschreiberspulen der Widerstand R in Abhängigkeit von der Windungszahl n aufgetragen. Man

sieht, wieviel mehr der Widerstand wächst, als die Windungszahl. Proportionalität beider würde durch die gestrichelte gerade Linie angezeigt.

Mit zunehmender Windungszahl fällt also durch das beschleunigte Anwachsen des Widerstandes R auch der Strom J.

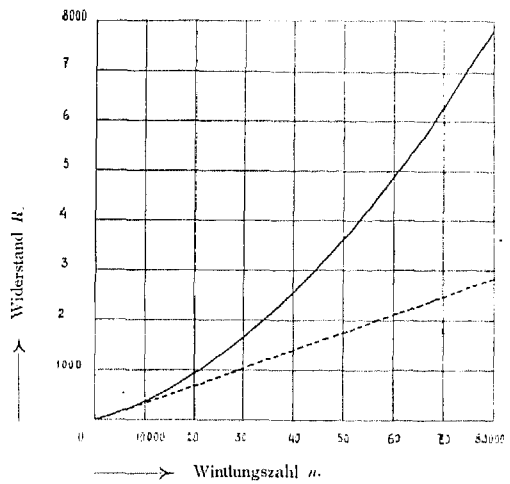


Fig. 146. Widerstand und Windungszahl der Farbschreiberspulen.

Es ist aber zu bedenken, dass R nur einen Teil des gesamten in das Ohmsche Gesetz eingehenden Widerstandes ausmacht, denn

$$J = \frac{E}{w_i + w_l + R},$$

worin w_i den Widerstand der Batterie und w_l den der Leitung bezeichnet. Bei grossem $w_i + w_l$ ist deshalb die nützliche Steigerung von n mit einer verhältnismässig unschädlichen Verkleinerung von J erkauft. Bei verschiedenem $w_i + w_l$ wird die grösste Amperewindungszahl von verschiedenem n geliefert. Die Rechnung ergiebt, dass Jn mit zunehmendem n zuerst stark, dann schwächer ansteigt und dann allmählich abnimmt. Das Maximum liegt bei derjenigen Anzahl von Windungen, deren Widerstand gleich der Summe der Widerstände von Leitung und Batterie ist.

Auch dieser Zusammenhang ist hier (Fig. 147) graphisch aufgetragen. Man sollte danach für jede Leitungslänge besonders gewickelte Farbschreiber haben, eine Forderung, welche die Praxis nicht erfüllen kann. Die Reichspost hat deshalb die

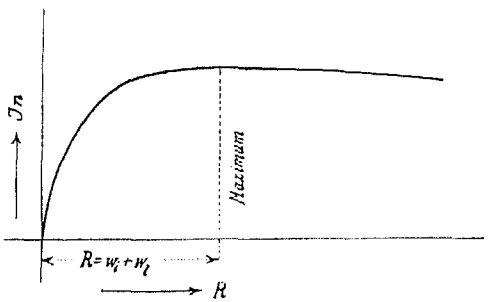


Fig. 147. Widerstand und Amperewindungen.

Windungszahl von 13 000 mit einem Widerstande von etwa 560 als eine mittlere und in alien Fällen taugliche ausgewählt und in langer Praxis erprobt.

Der wiederholt als normal angegebene Morsestrom besteht, auch wenn wir vorläufig bei der einfachen Behandlungsweise des Stromverlaufes bleiben, nur auf dem Papier. Thatsächlich werden die Farbschreiber von einem Strome nur dieser Grössenordnung, nicht dieser Grösse durchflossen. Die Gründe hierfür werden uns bald eingehend beschäftigen. Zunächst haben wir es mit einer Folge der wechselnden Grösse des Stromes zu thun. Das ist die jedem Praktiker bekannte Notwendigkeit, den Apparat auf die Grösse des gerade fliessenden Telegraphierstromes einzustellen.

Zur Einstellung bieten sich zwei Mittel. Das einfachste, rein mechanische, ist vermehrte oder verminderte Anspannung der dem elektromagnetischen Zuge entgegenwirkenden Feder. Diese Feder sitzt bei den modernen Apparaten (Fig. 141 und 142) oben rechts an der rechten Seitenwand des Gehäuses, von einem vertikalen Messingrohre (in Fig. 142 als Federgehäuse bezeichnet) schützend umgeben. Ein Drehen des Schraubenkopfes ändert die Federspannung.

Zur zweiten Verstellung dient die links daneben befindliche Mutter. Diese Verstellung wirkt elektromagnetisch und besteht in einem Heben oder Senken des Joches und der ihm aufgeschraubten Elektromagnetkerne. Das Heben der Kerne verkürzt den von den Kraftlinien zu durchsetzenden Luftraum und verkleinert damit den Widerstand des magnetischen Kreises. Die von einem verhältnismässig kleinen Strome bewirkte Amperewindungszahl erzeugt als Magnetomotorische Kraft jetzt bei dem kleineren magnetischen Widerstande annähernd die gleiche Kraftlinienzahl, wie bei grösserem Widerstande das grössere $J. n.$ Andererseits wird durch Senken von Joch und Kernen auf einen grösseren Strom eingestellt. Da der magnetische Widerstand der Luft den Hauptteil des ganzen Kreises ausmacht, bewirkt das Heben oder Senken der Kerne gleich eine sehr heftige Verstellung und ist mit besonderer Vorsicht anzuwenden. Für gewöhnlich sollen sich die Kerne in ihrer höchsten Stellung befinden, damit so die Amperewindungen möglichst ausgenutzt werden.

Nach der Besprechung des Elektromagneten wenden wir uns zu der des Schreibhebels (Fig. 148, 149 und 150). An neueren Apparaten sehen Sie von ihm nur den am weitesten rechts gelegenen Teil von reichlich fünf Centimetern, dessen Mitte den Anker umschliesst. Dann tritt der Schreibhebel durch die rechte Seitenwand in das Apparatgehäuse ein und biegt im rechten Winkel erst nach vorn und dann nach links um. In dem nach vorn verlaufenden Stück, gleich links von der Wand, ist er gelagert. Dann setzt er sich dicht hinter der Vorderwand bis zur Achse (IVb) des Farbrades fort, welche er mit seinem linken, haken- oder fingerförmigen Ende umgreift. Das Umgreifen ist durch eine in die Achse eingeschnittene Nut gesichert. Der durch das Wechselspiel des elektromagnetischen und des Federzuges bald im Uhrzeigersinne, bald gegen ihn gedrehte Schreibhebel führt mit seinem fingerförmigen Ende die Farbradachse und damit das von der vorderen Gehäusewand liegende Farbrad auf und nieder. Der dazu notwendige Spielraum ist der Achse gelassen, ohne dass deshalb ihr fast um die ganze Gehäusetiefe dahinter liegender Zahnradantrieb beeinträchtigt würde.

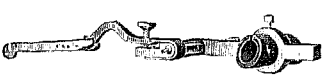


Fig. 148. Schreibhebel.

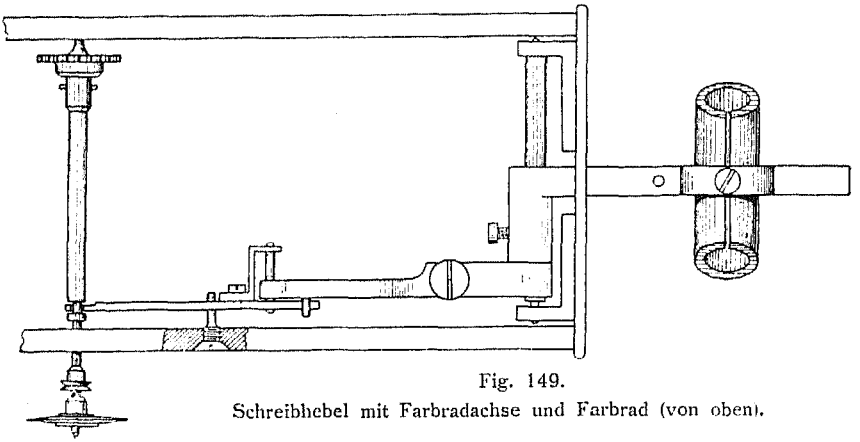


Fig. 149.
Schreibhebel mit Farbradachse und Farbrad (von oben).

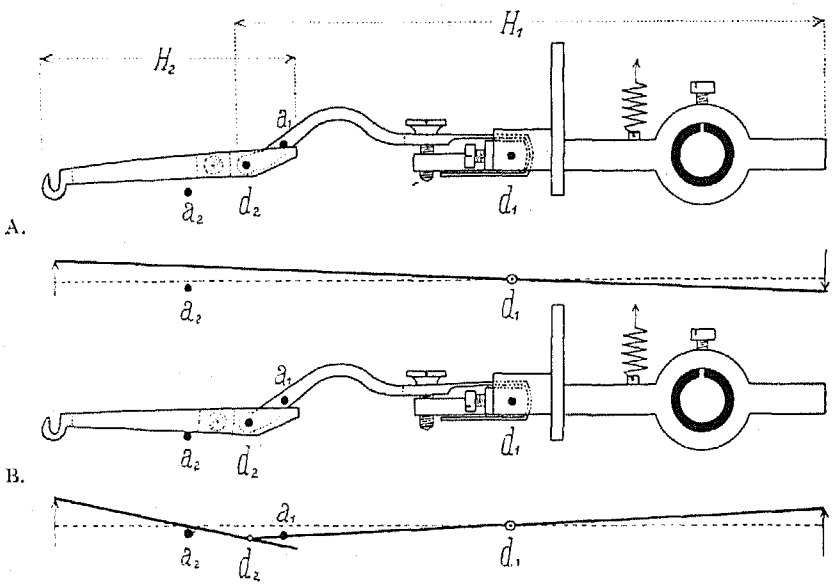


Fig. 150. Schreibhebel.

(Von vorn. Vordere Apparatwand fortgedacht. Die ausgezogenen Linien geben die Hebelstellung für die Zwischenräume, die gestrichelten Punkte und Striche der Morsezeichen wieder).

A. Durch Heraufschrauben der Stellschraube für Arbeitsstrom eingestellt. Punkte und Striche kommen unter Strom, also während der Anker angezogen ist. Die beiden Teile H_1 und H_2 des Schreibhebels bilden einen festen zweiarmigen Hebel mit der Drehungsachse D_1. Anschlagstift a_2 nimmt keinen Anteil.

B. Durch Hinunterschrauben der Stellschraube für Ruhestrom eingestellt. Striche und Punkte kommen unter Ausbleiben von Strom, also während der Anker von der Feder heraufgezogen ist. Die beiden Teilhebel H_1 und H_2 bilden keinen festen zweiarmigen Hebel mehr, denn mit der Stellschraube sinkt auch der Teilhebel H_2 und und schlägt gegen den Anschlagstift a_2. Der hochschnellende Anker senkt das linke Ende von H_1 noch weiter und damit das rechte Ende H_2. H_2 dreht sich um d_2, so dass Finger und Farbrad steigen.

Der aus drei Teilhebeln bestehende Schreibhebel — Knickhebel — arbeitet nun entweder so, dass bei angezogenem Anker das Farbrad gehoben und bei losgerissenem gesenkt ist, Anker und Farbrad sich also einander entgegengesetzt bewegen. Oder das Verstellen einer Schraube ändert das Zusammengreifen der Teilhebel so, dass — gerade umgekehrt, wie eben — das Farbrad bei angezogenem Anker gesenkt, bei losgerissenem gehoben ist. Anker und Farbrad bewegen sich dann in gleicher Richtung auf und nieder. Die erste Einstellung ist für Arbeitsstrom, die zweite für Ruhestrom bestimmt. Die Arbeitsweise der Teilhebel ist hier (Fig. 150) näher gezeichnet und beschrieben. Doch unterlassen Sie nicht, sich ausserdem den Schreibhebel am Farbschreiber selbst anzusehen.

Vollständig in das Apparatgehäuse eingeschlossen und dadurch vor Verletzungen und Staub geschützt, ist das Uhrwerk, welches den Lauf des Papierbandes und das Drehen des Farbrades bewirkt. Die obere und die linke Seitenwand des Gehäusekastens sind herauszuziehen, die vordere und hintere Wand mit dem Boden und der rechten Seitenwand fest verschraubt. In Vorder- und Hinterwand sind die Zahnräder des Uhrwerks mit ihren Achsen gelagert. Höchstens die Federtrommel ist, wie bei diesem Farbschreiber hier (Fig. 142) vor der Vorderwand angebracht, so dass sie bei einem etwaigen Bruch der Feder schnell durch eine in Vorrat gehaltene Trommel ersetzt werden kann. Die Feder besteht aus einem an drei Meter langen Stahlband und wird durch Drehen des kräftigen Handgriffes aufgewunden, was bei andauerndem Betriebe etwa alle zwanzig Minuten zu erfolgen hat. Die Federkraft des Stahlbandes treibt das Uhrwerk. Denken Sie sich den Farbschreiber vertikal und parallel zur Vorderwand aufgeschnitten, so sehen Sie, wie in diesem Bilde (Fig. 151 auf der folgenden Seite) die verschiedenen Zahnräder und Triebe ineinandergreifen. Die Federkraft greift an der Achse I an und dreht sie im Sinne des Uhrzeigers. Das auf dieser Antriebsachse sitzende Zahnrad greift in die Stöcke des auf der Achse II sitzenden Triebes. Zahnrad II treibt Achse III und Zahnrad III beide Achsen IV an. Vor der vorderen Gehäusewand trägt die obere Achse IV (IVa) die Papierwalze und die untere (IVb) das Farbrad. Man sieht, dass immer die Zahnräder mit grossem Radius und vielen Zähnen

in die Triebe mit kleinem Radius und wenig Stöcken eingreifen, so dass Räder und Achsen umso schneller laufen, je weiter links sie liegen. Bekanntlich verhalten sich die Umdrehungs- umgekehrt wie die Zahn- (oder Stock-) zahlen. Zählen Sie auf unserer

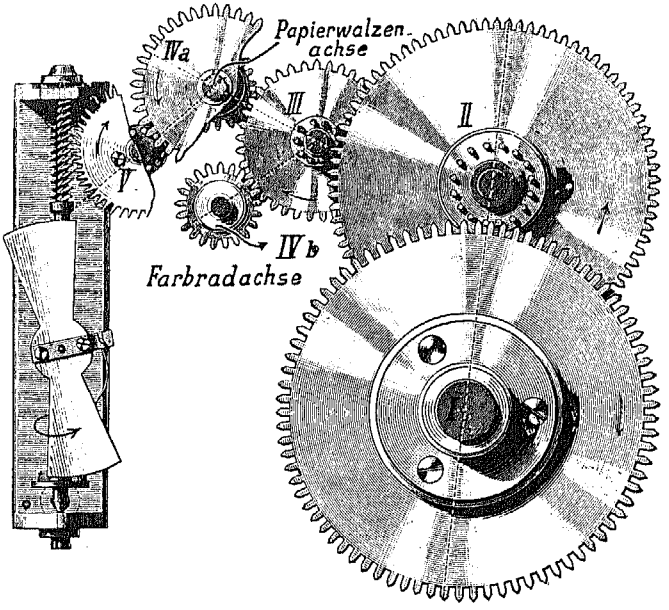
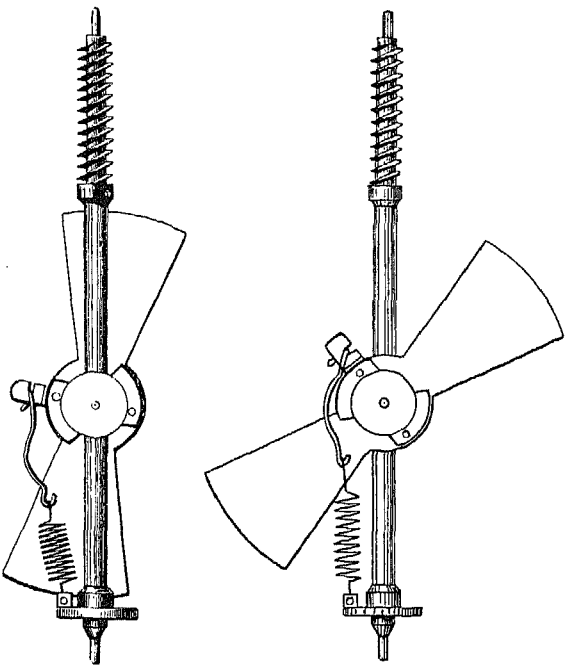


Fig. 151. Uhrwerk.

Abbildung (Fig. 151) Zähne und Stöcke, so finden Sie, dass Achse II $^{82}/_{16} = 5{,}1$ mal so schnell umläuft, als I, Achse III $^{84}/_{10} = 8{,}4$ mal so schnell als II, beide Achsen IV $^{36}/_{20} = 1{,}8$ mal so schnell als III und so fort. Nehmen Sie als Drehungszahl pro Minute etwa $^1/_3$ für die Antriebsachse an, so ergiebt sich etwa 28 für Papierwalze und Farbrad und etwa 3000 für den vertikalen Windfang.

Dieser Windfang (Fig. 151 und 152) versieht die Rolle von Pendel oder Unruhe der gewöhnlichen Uhrwerke, das heisst er belastet, er bremst das Uhrwerk und verhindert, dass es — da es sonst nur eine geringe Last durchzuziehen hätte — mit beschleunigter Geschwindigkeit abschnurrt. An der vertikalen Achse, deren Schraubenspindel vom letzten und schnellsten

Zahnrad (V) angetrieben wird, ist um eine horizontale Achse drehbar ein doppelter Windflügel angebracht. In der Ruhelage steht er nahezu vertikal (Fig. 152a). Während der Bewegung aber sucht ihn die Centrifugalkraft, welche übrigens im Grunde nichts anderes ist, als die Trägheit, gegen den Zug einer kleinen Spiralfeder mehr oder weniger horizontal zu stellen (Fig. 152b),



a b

Fig. 152. Windfang. Natürliche Grösse.

a) bei Ruhe, b) bei Bewegung des Uhrwerk.

je nach dem die vertikale Achse sich schneller oder langsamer dreht. Je horizontaler er sich einstellt, das heisst, je schneller er sich dreht, an einem umso längeren Hebelarm wirkt der bremsende Widerstand der Luft. Bei langsamer Drehung und deshalb kleinerer Centrifugalkraft vermag die kleine Feder den Windflügel weiter in der vertikalen Lage zurückzuhalten. Der Luftwiderstand greift an einem kleineren Hebelarm an und bremst

weniger. Der in der Horizontalen und der Vertikalen drehbare Windfangflügel bewirkt mithin, dass auch bei abnehmender Federspannung das Uhrwerk gleichmässig abläuft. Früher wurden die Morseapparate statt durch den allmählich abnehmenden Druck einer Feder durch den unveränderten Zug eines fallenden Gewichtes angetrieben. Bei ihnen brauchte der Windfangflügel immer nur mit derselben Kraft zu bremsen. Er war deshalb in einer bestimmten, als richtig ausgeprobten vertikalen Stellung befestigt und nur in der Horizontalen drehbar.

Durch das Aufziehen der Feder wird in ihr eine bestimmte Arbeitsmenge aufgestapelt. Während das Uhrwerk läuft, wandert sie durch seine einzelnen Teile (in der Reihenfolge der römischen Ziffern in Fig. 151) hindurch und wird unterwegs von der Reibung der Zähne an einander und an den Triebstöcken, der Achsen in den Lagern, der Papierwalze an der Klapprolle (siehe weiter unten) und des Papieres an den verschiedenen Stellen seiner Führung und schliesslich des Windfanges an der Luft als mechanische Arbeit vernichtet. Über die Grösse der an den Achsen angreifenden Kräfte erhält man Aufklärung, wenn man sich der Arbeit als des Produktes von Kraft und Weg erinnert. Wenn sich dann von der Antriebsachse bis zur Windfangachse die Umdrehungszahlen ungefähr von $^1/_3$ auf 3000, also etwa auf das Zehntausendfache vermehren, so muss die Kraft im gleichen Verhältnis kleiner werden, selbst wenn das System reibungslos liefe. Die mechanische Beanspruchung der Achsen und damit ihr Durchmesser wird deshalb mit wachsender Entfernung von der Triebfeder stark abnehmen. Beachten Sie, wie kräftig Achse I, wie schwach die des Windfanges ausgebildet ist. Vergleichen Sie mit dem kräftigen Aufzugshandgriff und der dicken Wandung der Federtrommel die schwache Hemmungsfeder (Fig. 153), mit der Anstrengung beim Aufziehen das leichte Umlegen des Hemmungshebels.

Von dieser Hemmung war noch nicht die Rede. Sie verhindert, dass das Uhrwerk während der Pausen des Betriebes unnütz abläuft. Die eben erwähnte Hemmungsfeder (Fig. 153) drückt gegen den seitlichen Rand der unten der Windfangachse aufgesetzten Scheibe, die Ihnen als Träger der die Flügel vertikal ziehenden kleinen Spiralfeder bekannt ist, und ver-

hindert somit die Drehung des Windfanges und dadurch des ganzen Uhrwerkes. Schiebt man aber den Auslösungshebel an seinem vorderen, durch die Apparatwand ragenden Ende nach rechts, so drängt eine auf ihm sitzende Nase die Hemmungsfeder von der Scheibe des Windfanges ab und giebt ihn und damit das Uhrwerk frei. Durch Legen des Hebels nach links wird

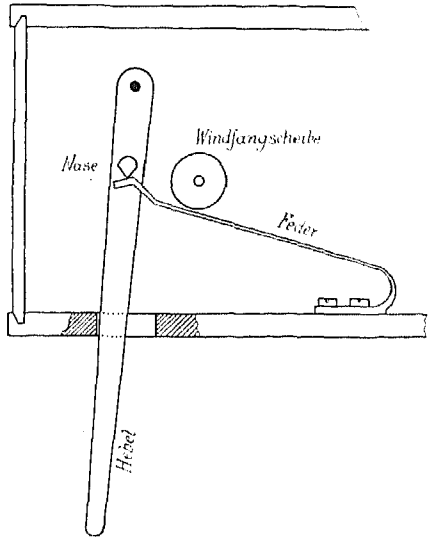
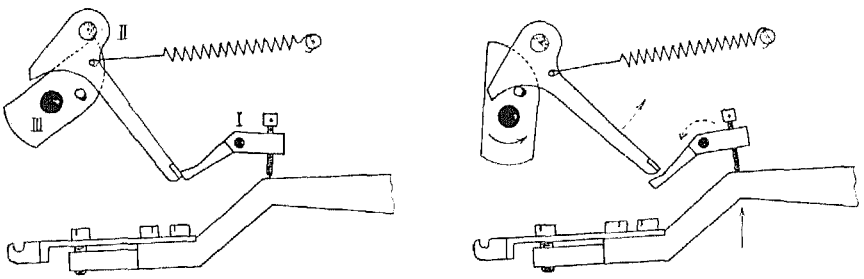


Fig. 153. Auslösung.

mithin das Werk ausgelöst, nach rechts gesperrt. Nach dem, was eben über die Umsetzung der Kräfte durch die Zahnräder und Stocktriebe gesagt wurde, wird niemand auf den sonst vielleicht natürlichen Gedanken kommen, dass man die Bremsung nicht am Windfang, sondern an der Antriebsachse anbringen könnte. Die Hemmung würde hier eben an zehntausend mal so schwer sein.

In manchen Fällen, besonders für kleine- und für Funkenämter ist eine selbstthätige Auslösung des Uhrwerks ohne Zuthun eines Beamten, allein durch den ankommenden Telegraphierstrom erwünscht. Bei solchen Apparaten fällt die Bremsung des Windfanges fort. An ihrer statt wird einer der ihm benachbarten horizontalen Uhrwerksachsen (in Fig. 154

schwarz) eine Hemmungsnase III aufgesetzt. Diese legt sich in den Betriebspausen (Fig. 154a) gegen den massiven Teil einer am Ende zur Hälfte ausgeschnittenen Drehungsachse II und hemmt dadurch das Uhrwerk. Nun lässt (Fig. 154b) der beginnende Telegraphierstrom den Schreibhebel nach oben gegen die Schraube des Hebels I schlagen, so dass Hebel I sich gegen den Sinn des Uhrzeigers dreht. Dadurch wird der



a) Uhrwerk gehemmt. b) Uhrwerk ausgelöst.

Fig. 154. Selbstthätige Auslösung.

vorher von I festgestellte Hebel II freigegeben. Er folgt dem Zuge einer Feder. Der massive Teil der Drehungsachse II kehrt sich von der Hemmungsnase III ab, und diese kann sich gegen den Uhrzeigersinn an ihr vorbei drehen. Das Uhrwerk ist frei. Freilich nimmt der auf III sitzende Stift das linke Ende von Hebel II alsbald wieder mit in die Höhe und die Hemmungsnase wird wieder festgelegt. Sie ist aber mit der Uhrwerksachse nicht fest, sondern über eine der Achse aufgeschobene (in der Figur nicht sichtbare) Feder verbunden, so dass das Uhrwerk auch bei festgelegter Hemmungsnase noch ein Stück weiterläuft. Inzwischen hat ein neuer Schlag des Hebels den Weg wieder frei gemacht, so dass während der Zwischenräume der Morsezeichen im Laufe des Uhrwerks keine Stockung eintritt. Die Hemmung tritt aber trotz der elastischen Verbindung von Hemmungsnase und Achse III sehr bald ein, wenn kein neuer Schlag des Schreibhebels folgt, das heisst der Betrieb ruht. Sie sehen, die selbstthätige Hemmung ist einigermassen verwickelt. Sie stört den Hauptvorzug des Morse-

apparates, seine verhältnismässig grosse Einfachheit, und wird deshalb nur bei besonderem Bedarf angewandt.

Notwendig ist das ganze Uhrwerk, seine Auslösung und sein gleichmässiger Gang ja nur zur gleichmässigen Bewegung des Papierbandes und des Farbrades. Die Papierwalze, die sich auf der Achse IVa dreht, wälzt das Papierband zwischen sich und einer mit Federkraft auf sie drückenden, aufklappbaren Rolle hindurch. Dafür, dass es sich mit derselben Geschwindigkeit bewegt, wie die Papierwalze, ohne auf ihr zu rutschen, zu schlüpfen, sorgen die auf ihr parallel zu ihrer Achse, also senkrecht zum Papierbande angebrachten Riefeln und der grosse Federdruck der Klapprolle. Die Geschwindigkeit, mit der Papierwalze und Klapprolle das Papierband zwischen sich durchschieben, ergiebt sich aus dem Durchmesser der Papierwalze von 17,3 mm und ihrer Umdrehungszahl von etwa 28 zu $17{,}3\,\pi \,.\, 28$ mm $= 1{,}5$ m pro Minute, eine Geschwindigkeit, die als für die Aufnahme der Morseschrift besonders günstig ausgeprobt worden ist. Entnommen wird das Papier von einer in der Schublade des Grundkastens sehr leicht drehbar angebrachten Trommel (Fig. 155 und 156). Ein in ihn eingesetztes

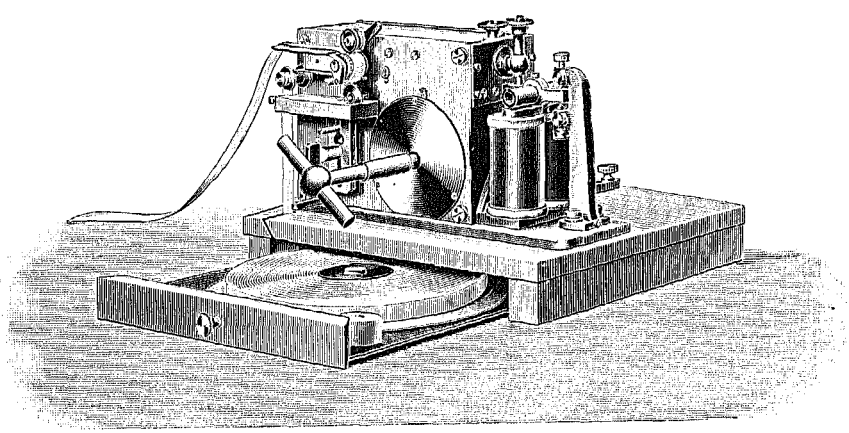


Fig. 155. Farbschreiber mit aufgezogener Schublade.

rundes Glasfensterchen erlaubt, von oben zu sehen, ob auf der Trommel noch genügend Papier vorrätig ist oder nicht. Leichter ist das bei anderen Apparaten, wie sie vielfach von deutschen

Eisenbahnen und Feuerwehren und im Auslande gebraucht werden. Bei ihnen wird das Papier nicht der Schieblade, sondern einem Haspelartigen Ständer entnommen, der, wie Sie es bei dem Übungsapparat (Fig. 140 auf S. 234) sahen, dem Morseschreiber aufgeschraubt ist. Das ungeleimte Morsepapier sondert einen Staub ab, der in die Apparatfarbe fällt und sie verschmutzt.

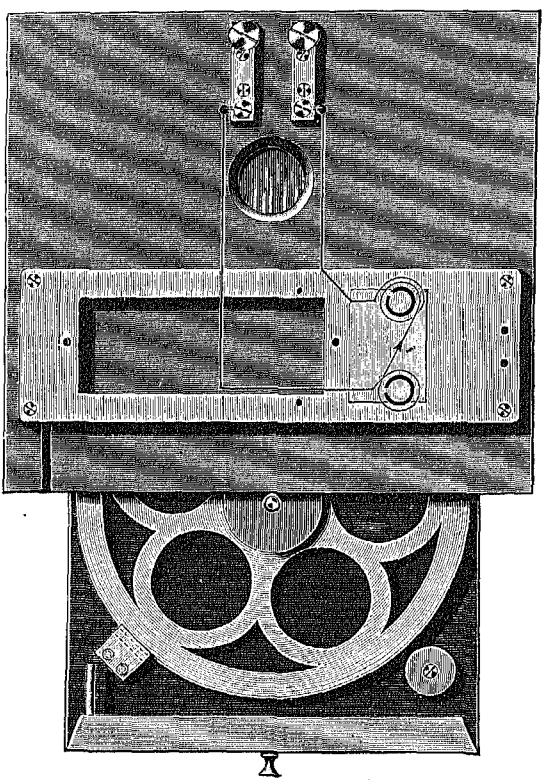


Fig. 156. Grundkasten. ($^1/_4$ natürlicher Grösse.)

Auch macht das Unterbringen der Papierrolle im Schiebkasten den Apparat gefälliger und kleiner, und der Beamte wird nicht durch den sich dicht vor ihm zwar langsam, aber andauernd drehenden Papierhaspel belästigt.

Die Schrift wird durch das Farbrad hervorgerufen, das auf seiner unteren, dem Papierband entgegengesetzten Seite durch einen Ausschnitt des Deckels in den Farbkasten taucht. Dieser

Farbkasten ist mit der fettigen blauen Apparatfarbe angefüllt und kann zur Reinigung und Neufüllung abgeschraubt werden.[1]) An der Schreibstelle ist das Papierband in spitzem Winkel um einen stählernen Drehstift herumgelegt, so dass dem Farbrade die scharfe Kante eines kleinen Papierkeiles dargeboten wird und es das Papierband nur auf dieser ganz kurzen Strecke berührt. Dadurch wird die Schrift scharf und bestimmt, umsomehr, als sich Farbrad und Papierband in entgegengesetzter Richtung an einander vorbei bewegen, und zwar können Sie aus dem Bilde der Zahnräder (Fig. 151 auf S. 248) entnehmen, dass sich die Papierwalze in der Uhrzeigerrichtung, das Farbrad ihr entgegen dreht, an der Schreibstelle sich also das Farbrad von rechts nach links, das Papierband von links nach rechts bewegt. Die frische Schrift nicht zu verlöschen, ist die Klapprolle mit einer breiten Nut versehen, so dass sie nur auf die Ränder, nicht auf die Schrift-bedekte Mitte des Papierbandes drückt. Damit die Farbe vom Farbrade nicht allmählich an der Farbradachse entlang in das Uhrwerk krieche, verlangt die Reichspost dicht hinter dem Farbrade einen sonst für überflüssig geltenden Schutzring (Fig. 149 auf S. 246).

Vom Schubkastenschlitz bewegt sich das Papierband (Fig. 155) zuerst nach oben zwischen dem Farbkasten und dem links daneben befindlichen festen Stifte hindurch. Eine links oberhalb des Farbkastens sitzende, mit Flanschen versehene Rolle lässt das Band dann um 90° umbiegen. Hierauf geht es über einen zweiten Stift, im spitzen Winkel um den Drehstift herum und zwischen Papierwalze und Klapprolle hindurch. Es verlässt den Farbschreiber über ein kleines Messingpult, so dass auf diesem die ankommenden Morsezeichen bequem lesbar sind. Das gelesene Papierband wird auf einen Papierhaspel aufgewickelt, den man ganz neuerdings mit einem besonderen kleinen Uhrwerk antreibt.

---

[1]) Der Merkwürdigkeit halber sei erwähnt, wie die argentinische Telegraphenverwaltung der geringen Sorgfalt ihrer Beamten bei der Neueinfüllung von Farbe begegnet. Bei den dortigen Farbschreibern ist der Farbkasten von einem zweiten, weiteren umgeben, welcher eine gewisse Menge überfliessender Farbe aufnehmen kann. Wird noch mehr übergossen, so lässt der äussere Kasten die Farbe auf den Aufzugshandgriff fliessen, damit sich der Beamte beim Aufziehen des Uhrwerkes die Hand schmutzig macht und an grössere Achtsamkeit erinnert wird.

Darf ich Ihnen hier (Fig. 157) die Abbildung eines französischen Morse zeigen, der auf eine andere, primitivere Art schreibt, als unserer. Die linke Hälfte des Ankerhebels wird von einem gekrümmten Stahle gebildet, dessen Spitze für die Dauer der Anziehung das Papierband gegen das Farbrad drückt und dadurch die Schrift erzeugt. Das Farbrad ist also fest gelagert

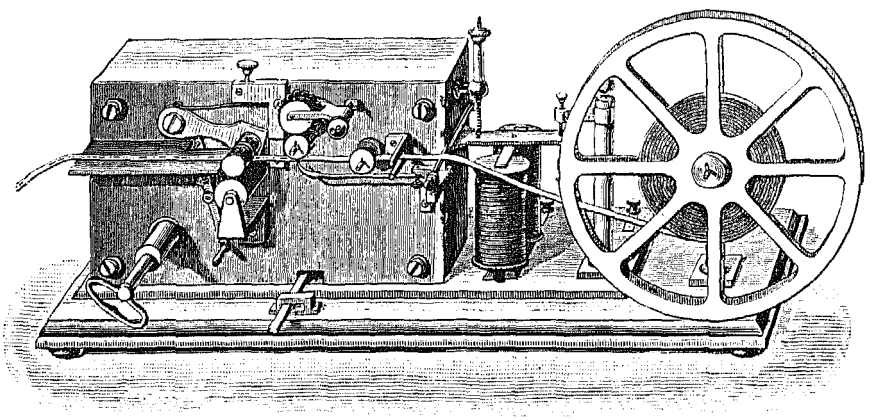


Fig. 157. Französischer Farbschreiber.

und das Papier auf und nieder beweglich. Bei seiner Drehung reibt es sich gegen eine darüber gelagerte Rolle, deren Filzmantel mit Farbe getränkt ist und von der es so fortwährend Farbe abnimmt. Ist die Rolle eine Weile im Betrieb, braucht man sie nur einige Male am Tage mit Farbe einzupinseln.

Um auf dem Papierbande des Farbschreibers die Morsezeichen hervorzurufen, muss das gebende Amt länger und kürzer den Strom schliessen oder unterbrechen. Dazu dient diese einfache Vorrichtung (Fig. 158), die man **Taste** oder Taster oder Schlüssel nennt. Auf einem Grundbrett sind drei parallele, mit Klemmen versehene Messingschienen befestigt. Auf der Mittelschiene ist ein in der Vertikalen drehbarer zweiarmiger Messinghebel gelagert. Die elektrische Verbindung von Hebel und Mittelschiene wird durch einen im Holz verborgenen Kupferdraht gesichert. Die beiden andern Schienen tragen vertikale Contaktstifte. Ihnen stehen vorn und hinten in den Hebel eingesetzte ähnliche Contaktstifte gegenüber, von denen der vordere höher

und tiefer geschraubt werden kann. Eine ebenfalls verstellbare Feder zieht den Hebel nach hinten herunter, so dass zwischen ihm und dem hinteren Contaktstift, dem Ruhecontakt, also zwischen hinterer- oder Ruheschiene und Mittelschiene elektrische Verbindung herrscht, zwischen Hebel und vorderem- oder Arbeitscontakt, also zwischen der Mittelschiene und der vorderen- oder

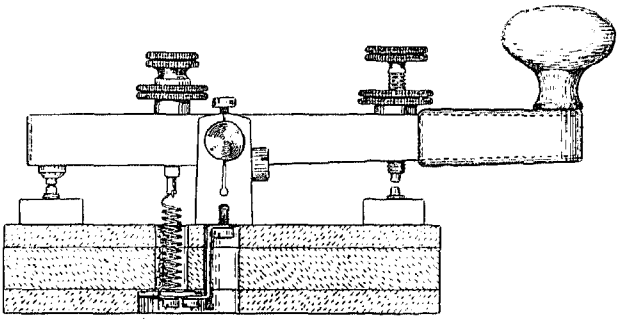


Fig. 158. Taste.

Ruheschiene aber nicht. Ein Druck, den die Hand des Beamten auf den Ebonitkopf des Hebels giebt, kehrt die Verhältnisse um. Zwischen Mittel- und Ruheschiene wird die elektrische Verbindung gelöst, zwischen Mittel- und Arbeitsschiene hergestellt. Beim Loslassen des Kopfes zieht die Feder den Hebel in die ursprüngliche Lage zurück und stellt damit die alten Verbindungen wieder her. Die beiden Stifte des Ruhecontaktes sind platiniert. Platin verbindet sich nicht mit Sauerstoff. Die mit ihm überzogenen Flächen werden mithin nicht durch den Öffnungsfunken verbrannt, und der gute Contakt bleibt erhalten.

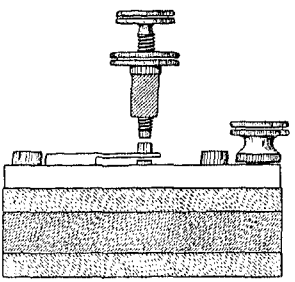


Fig. 159.
Federnder Arbeitscontakt.

Diese Taste arbeitet, wie Sie hören, unangenehm laut und hat dem Geben bei den Beamten den Spottnamen des Klapperns eingetragen. Bei einer neueren Tastenform ist zwischen je zwei

zu einander gehörigen Contaktstiften an einer Blattfeder ein leitendes Zwischenstück (Fig. 159 auf der vorigen Seite) angebracht, das beim Ruhecontakt ein Platinplättchen trägt. Die Schärfe des Öffnens und Schliessens darf natürlich durch dieses Zwischenstück nicht leiden.

Wie die Taste, besonders die ohne federnde Zwischencontakte, arbeitet auch der Ankerhebel des Farbschreibers mit Geräusch. Punkte und Striche sind durch schnellere oder langsamere Folge von Klopftönen unterschieden, so dass der geübte Beamte den Wortlaut des ankommenden Telegrammes versteht, ohne die Schriftzeichen auf dem Papierband zu beachten. Er hört das Telegramm. Wie seit sehr langem in Amerika, seit

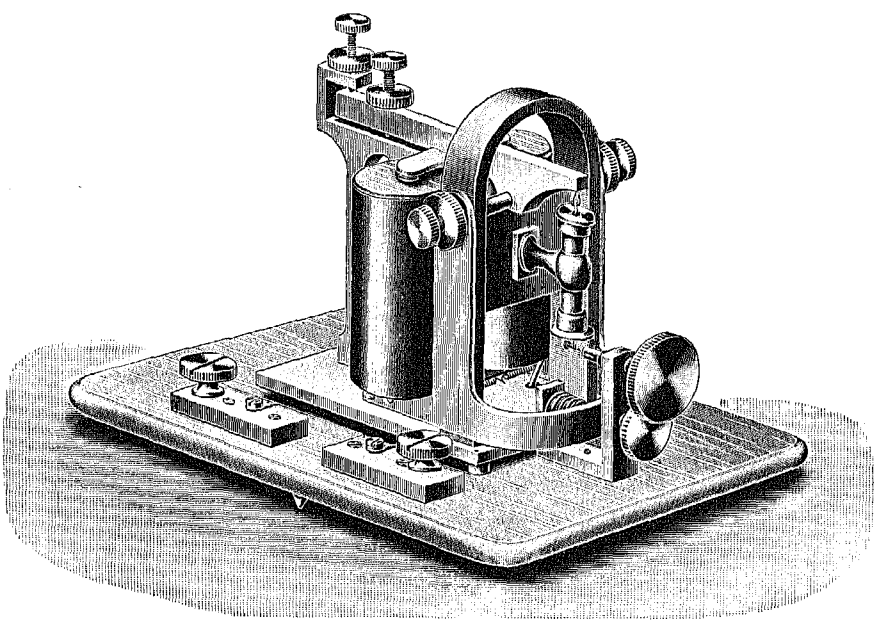


Fig. 160. Klopfer.

langem in England, arbeitet man jetzt deshalb auch bei uns mit dem **Klopfer.** Hier (Fig. 160) steht der nach amerikanischem Muster gebaute Klopfer der Reichspost, im Grunde ein Morseapparat, bei dem Schreibvorrichtung und Uhrwerk fortgefallen ist. Es

ist überhaupt nur der Elektromagnet, der Ankerhebel und die Abreissfeder geblieben. Diese ist entweder von einer besonderen Schutzhülse umgeben (Fig. 160) oder nicht (Fig. 161). Zur Vermehrung des Geräusches ist der Ankerhebel wesentlich schwerer als beim Farbschreiber, so dass am Anfang und Ende jedes Morsezeichens eine gehörige Masse wuchtig hin- und herschlägt. Als Anker dient kein Rohr, sondern ein dickes Eisenblech. Pro Spule werden als Widerstand 140 Ohm — halb so viel als beim Farbschreiber — und als Windungszahl 1300 angegeben, für beide hintereinander geschaltete Spulen also 280 Ohm und 2600 Windungen. Die Anziehung des Ankerhebels macht die untere von beiden Anschlagschrauben nach unten aufschlagen, das Abreissen das Hebelende nach oben gegen die obere Schraube.

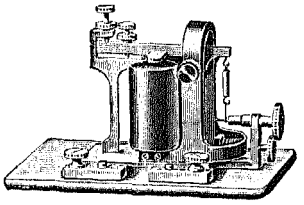


Fig. 161.
Klopfer ohne Federschutzhülse.

Der Ton beider Anschläge ist verschieden, so dass Anfang und Ende jedes Morsezeichens deutlich erkannt werden kann. Punkte und Striche werden durch die kürzeren und längeren Zwischenräume zwischen den beiden verschiedenen Klopftönen gebildet, also durch längere oder kürzere Ruhepausen und nicht Töne. Der eigentliche Klopfer ist auf einer Messingplatte und diese auf einem Grundbrett so befestigt, dass zwischen beiden ein Luftraum bleibt. Auch das Grundbrett steht hohl auf drei spitzen Füssen. Sie haben schon gehört, wie durch die Resonanz des Grundbrettes und der Luftschichten der Ton ausserordentlich verstärkt wird, und dass die den Klopfer umgebende Schallkammer (Fig. 162), wie ein Hohlspiegel, die Schallstrahlen sammelt, dem hörenden Beamten zuwirft und von den Nachbarn abhält. Auch von den Glaswänden war schon die Rede. Dem Ohre näher zu sein, steht die Kammer auf einem Messingfuss. Sie kann um diesen nach halbrechts oder halblinks gedreht werden, so dass der Beamte seinen Platz nach Bequemlichkeit wählen und wechseln kann. Der Schallkammerfuss ist hohl und enthält in sich die Stromzuführungsdrähte.

Der Klopfer hat vor dem Farbschreiber die mannigfachsten Vorzüge, zuerst den der viel einfacheren Bauart;

kann doch, wie gesagt, mit der Schreibvorrichtung das ganze Uhrwerk fortfallen. Der Beamte braucht keine Feder mehr aufziehen, kein Uhrwerk ölen, kein Papier einlegen und ein sich klemmendes gerade ziehen, keine Farbe nachfüllen, keine gebrochene Feder durch eine neue ersetzen. Der Klopfer ist natürlich viel billiger, als der Farbschreiber. Er kostet etwa

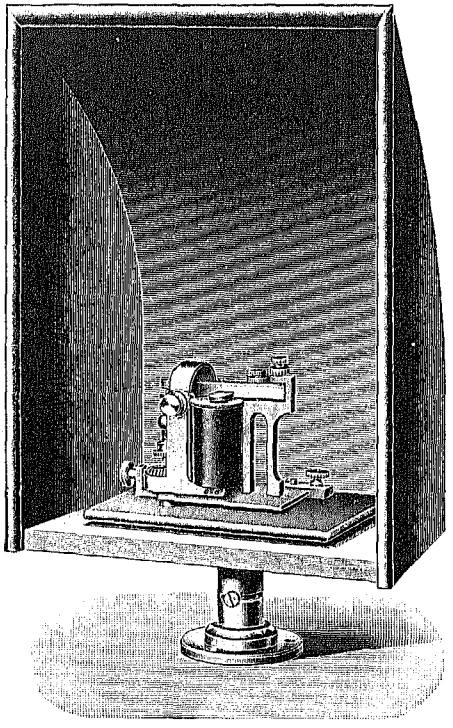


Fig. 162. Schallkammer mit Klopfer.

nur den dritten Teil. Auch die laufenden Ausgaben für Papier, Apparatfarbe und Schmieröl für das Uhrwerk, die pro Apparat und Tag acht bis zehn Pfennige ausmachen sollen, fallen fort.

Der Hauptvorzug besteht aber darin, dass mit dem Klopfer wesentlich schneller aufgenommen und deshalb gegeben werden kann, als mit dem Farbschreiber. Während der Farbschreiber in der Stunde ungefähr vierhundert

Worte bewältigt, steigt hier die Zahl auf etwa sechshundertfünfzig, das heisst auf fast zwei Drittel mehr an. Der Beamte braucht eben seine Aufmerksamkeit nicht zwischen Papierband und Formular zu teilen. Es ist leichter, dem Diktat des Klopfers zu folgen, als vom Papier eine Abschrift zu machen. Der Beamte kommt wesentlich schneller vorwärts, ähnlich einem Radfahrer, der sich an seinen Schrittmacher anhängt. Die anfänglich bei uns und in andern Ländern (zum Beispiel in Frankreich) gehegte Besorgnis, der Klopfer werde eine Quelle steter Irrtümer sein, hat sich als unberechtigt und philisterhaft erwiesen. Im Gegenteil wirkt der Zwang, auf den verhallenden Ton acht geben zu müssen, günstig auf die Aufmerksamkeit des Beamten ein. Jeden Augenblick seiner Verantwortung bewusst, arbeitet er gespannter, als sonst. Kommt doch ein Irrtum vor, so ist freilich kein Papierstreifen mehr da, der erkennen lässt, ob falsch gegeben oder falsch aufgenommen worden ist. Das sollte dem Publikum aber höchst gleichgiltig sein. Beschwerden über Verstümmelungen von Depeschen haben doch keinen Zweck. Im besten Falle bekommt man die bezahlte Gebühr wieder, und sie bildet niemals ein Entgelt für Schaden, Sorge, Aufregung und Ärger, die ein verstümmeltes Telegramm dem Absender und dem Empfänger bereiten kann. Beim Klopfer bestätigt sich wieder die alte, in den Ländern englischer Zunge allgemein anerkannte Wahrheit, dass unter freier Verantwortlichkeit besser gearbeitet wird, als am Gängelbande fortwährender Aufsicht. Darf ich Ihnen noch anführen, was der bekannte Chef der englischen Telegraphenverwaltung schon im Jahre 1891 auf der Frankfurter Ausstellung sagen konnte:[1]) »Der Klopfer ist der beliebteste und bei weitem genaueste Apparat, der im Gebrauch ist. Der Morse-Schreiber ist für uns ein Fossil, das wir wegen seines Alters und seiner Unzuverlässigkeit verwerfen. . . . . Für uns ist es amüsant, das Argument im Gebrauch zu finden, dass es Sicherheit bietet, wenn ein Beweis zurückbehalten wird, um Irrtümer zu kontrollieren und deren Urheber zu entdecken. Thatsachen sind hartnäckige Dinge, und ihre Logik ist unwiderleglich.«

---

[1]) und was Sie sich leicht in gutes Deutsch werden übertragen können.

Die im Klopferbetrieb gebräuchliche Taste (Fig. 163 u. 164) gleicht prinzipiell der gewöhnlichen. Sie ist nur konstruktiv etwas anders ausgebildet.[1]) So sind bei ihr die drei Klemmschienen von den mit ihnen elektrisch verbundenen Teilen, das heisst Ruhe- und Arbeitskontakt und Tastenhebel, getrennt und auf dem hinteren Ende des Grundbrettes nebeneinander befestigt.

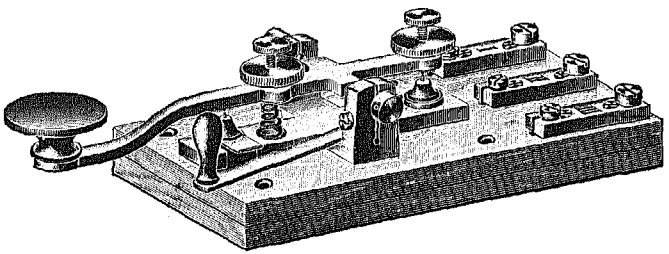


Fig. 163. Klopfertaste.

Bei der gewöhnlichen Taste greift die Feder hinter der Mittelschiene an und zieht im Ruhezustande den Hebel nach hinten herunter. Bei der Klopfertaste sitzt die Feder vor der Mitte und drückt den vorderen Teil des Hebels nach oben. Beides kommt natürlich auf dasselbe hinaus. Der Ebonitkopf der Klopfertaste ist nicht kugelförmig, sondern als leicht eingewölbter Teller ausgebildet. Der Beamte umfasst ihn nicht mit allen Fingern, sondern tippt nur leise mit dem Zeigefinger darauf, weil der Hebel ausserordentlich leicht arbeitet. Dabei verursacht er wenig Geräusch und stört die Nachbarbeamten beim Aufnehmen nicht. Seitlich ist ein kleiner Hilfshebel angebracht. Klappt man diesen Hilfshebel nach links unter das am Arbeitskontakt sitzende Blech (Fig. 164), so überbrückt er die durch den Arbeitskontakt bewirkte Unterbrechung des Leitungsweges, was für eine besondere Betriebsart, die mit amerikanischem Ruhestrom bestimmt ist. Beim gewöhnlichen Klopferbetrieb ist dieser Hilfshebel überflüssig und herausgenommen.

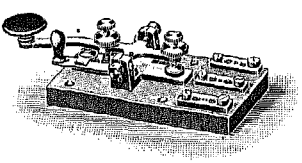


Fig. 164.
Klopfertaste, für amerikanischen Ruhestrom geschaltet.

[1]) Eine neue Klopfertaste nähert sich auch constructiv wieder der gewöhnlichen, ist nur zierlicher.

Es erleichtert das Verständnis der nächsten Vorlesungen, wenn Sie sich schon jetzt eine ungefähre Vorstellung davon machen, wie zum Betriebe die Apparate des gebenden und des empfangenden Amtes mit einander elektrisch verbunden, geschaltet werden.

Die einfachste Schaltung (Fig. 165) wäre die, dass man auf dem gebenden Amt (I) die eine, zum Beispiel die positive Klemme der Batterie an Erde, die andere an die Arbeitsschiene der Taste legte. Deren Mittelschiene würde mit der Leitung *L* verbunden, welche Leitung isoliert zum empfangenden Amt (II) und

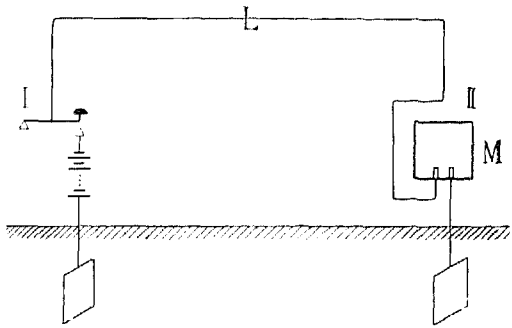


Fig. 165. Einfachste Morseschaltung (nicht verwandt).

dort über den Morse (*M*) zur Erde führte. Ein Druck auf den Tastenhebel in I schlösse dann den Stromkreis, und der Morse in II würde in Tätigkeit gesetzt. Man könnte so von Amt I nach II, aber nicht in der umgekehrten Richtung geben. Die Schaltung wird erst praktisch brauchbar, wenn auch auf Amt II erstens die Leitung an die Mittelschiene einer Taste und ein Morse an ihre Ruheschiene gelegt wird (Fig. 166), während auf beiden Ämtern die zweite Morseklemme zur Erde führt, und zweitens eine Batterie steht, deren positiver Pol geerdet und deren negativer an die Arbeitsschiene der Taste angeschlossen ist. Amt I giebt gerade so wie vorher. Morse II bekommt über die Mittelschiene der Taste, den Tastenhebel und die Ruheschiene ungehindert seine Stromzeichen. Schweigt nun Amt I, so kann umgekehrt Taste II geben und Morse I empfangen.

Sie erinnern sich, dass der Schreibhebel des Farbschreibers für zwei Betriebsarten: für Arbeitsstrom und für Ruhestrom eingestellt werden kann. Im ersten Falle schreibt das Farbrädchen, wenn der Anker angezogen ist, Apparat und Leitungen von Strom durchflossen werden. Das ist die dem

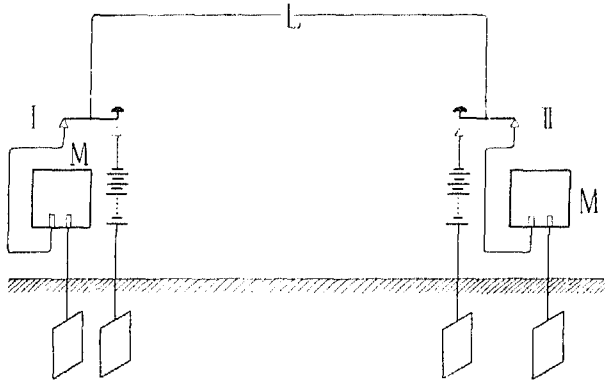


Fig. 166. Einfachste Arbeitsstromschaltung.

Unbefangenen natürlich scheinende Art zu Telegraphieren, die mit Arbeitsstrom. Punkte und Striche des Morsealphabetes kommen unter Strom. Beim Betriebe mit Ruhestrom fliesst Strom durch die Leitung, wenn nicht telegraphiert wird. Der gebende Beamte unterbricht den bei ruhendem Betriebe ununterbrochen fliessenden Strom. Der Anker des Farbschreibers

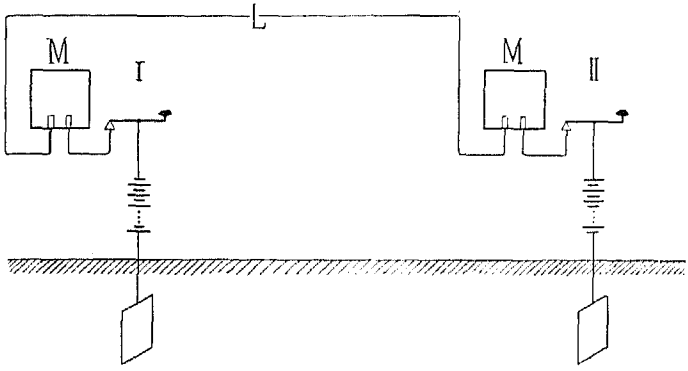


Fig. 167. Einfachste Ruhestromschaltung (nicht verwandt).

wird losgelassen. Der für Ruhestrom eingestellte Hebel lässt das Rädchen schreiben, solange der Anker abgerissen ist. Punkte und Striche kommen unter Ausbleiben von Strom. Die Ruhestrom-Schaltung zweier Ämter im einfachsten (praktisch nicht vorkommenden) Falle ist die folgende (Fig. 167): An der Mittelschiene der Taste liegt auf beiden Ämtern eine Batterieklemme, und zwar auf beiden Ämtern eine verschiedene. Die zweite Klemme, auf beiden Ämtern also ebenfalls verschieden, liegt an Erde. Die Ruheschiene ist mit der einen Klemme des Morse und dessen andere Klemme mit der Leitung verbunden. Ruht der Betrieb, so fliesst der Strom von der positiven Klemme der einen Batterie (II) durch die Taste II den Morse II, die Leitung, den Morse I, die Taste I zur negativen Klemme von Batterie II und zur Erde. Beide Batterien sind hinter einander geschaltet. Bei der Ruhestromeinstellung ihrer Hebel schreiben während des Stromflusses beide Morse nicht. Wird jetzt der Strom durch einen Tastendruck auf einem der beiden Ämter unterbrochen, so schreiben beide Morse. Auf welchem Amt die unterbrechende Taste liegt, ist gleichgiltig. Immer empfängt das fremde und das eigene Amt. Auf dem gebenden Amt entsteht natürlich nur dann eine lesbare Schrift, wenn es den Hemmungshebel des eignen Morse löst. — Über den Sinn der Anwendung des Ruhestromes und über die Schaltungen für die drei Betriebsarten wird später Näheres zu sagen sein. Für heute genügt es, wenn gezeigt ist, wie mit Morse, Taste, Batterie, Leitung und Erde im einfachsten Falle telegraphiert werden kann.

13. Vorlesung.

Telegraphische Hilfsapparate.

Galvanoskop. — Umschalter. — Ausgleichswiderstände. — Blitzableiter. — Relais: Notwendigkeit und Prinzip der Anwendung. — Weicheisenrelais. — Polarisierte Relais von Hughes, von Siemens, mit drehbaren Kernen. — Übertragung mit Relais und mit Farbschreibern.

Eine Reihe von Apparaten, welche Farbschreiber und Klopfer sowohl, wie die anderen Telegraphenapparate bei ihrer Arbeit unterstützen, seien in dieser Vorlesung gemeinsam als telegraphische Hilfsapparate[1]) besprochen. Sie dürfen ihrer anscheinend untergeordneten Stellung wegen nicht gering geachtet werden. Denn zum geordneten Betriebe sind sie ebenso notwendig, wie die nur theoretisch wichtigeren Hauptapparate.

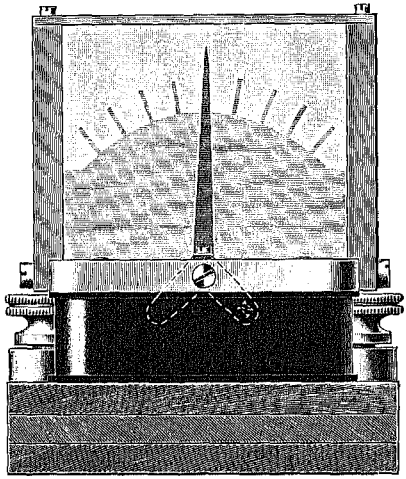


Fig. 168. Galvanoskop.

[1]) mit Ausnahme derer für die Kabel- und Funkentelegraphie.

Da ist zuerst das Galvanoskop. Die Stellung seiner Nadel soll erkennen lassen, ob die Leitung von Strom durchflossen wird, und wenn, ob dieser seine übliche Stärke hat. Das Telegraphen-Galvanoskop (Fig. 168) beruht ganz ähnlich, wie das früher zur Demonstration benutzte (Fig. 45 auf S. 66), auf der Ablenkung eines in der Vertikalen drehbaren Stahlmagneten durch die Kraftlinien einer horizontal gewundenen Spule. Die Klemmschrauben rechts und links auf dem Grundbrett führen zu den Spulenenden und werden beim Morsebetrieb zwischen die Leitung und die Mittelschiene der Taste geschaltet. Der vom Amt in die Leitung geschickte oder von der Leitung in das Amt fliessende Strom — das kommt auf eins heraus — durchläuft deshalb stets die Wicklung des Galvanoskops. In das so im Innern der Spule erzeugte magnetische Feld tauchen die Pole eines Winkelmagneten,[1]) der an seinem Scheitel einen vertikalen Zeiger aus geschwärztem Blech trägt. Der die Windungen der Spule durchfliessende Strom lenkt den Magneten in eben dem, durch die Ampèresche Schwimmmregel gegebenen Sinne ab, wie wenn der Magnet nicht im Winkel gebogen, sondern gerade wäre. Je nach der Stromrichtung wird der Nord- oder der Südpol in die Spule hineingezogen und zwar umso mehr, je grösser der kreisende Strom J und demnach H, die Stärke des Spulenfeldes ist. Es ist so gewickelt, dass der Zeiger nach der Seite der Klemmschraube ausschlägt, bei welcher der Strom das Galvanoskop verlässt, die also zu einer negativen Batterieklemme führt. Die Spule ist aus dünnem Kupferdraht nach den Angaben in etwa 600 Windungen von einem Widerstande von 15 bis 20 Ohm gewickelt. Die Glasscheibe ist in ihrem oberen Teil matt geschliffen. Nur die Teilstriche sind dort durchsichtig geblieben. Bei auffallendem Lichte (wie in Fig. 168) erscheinen sie deshalb dunkel auf hellem Grunde, bei durchscheinendem hell auf dunklem. Sie zeichnen sich also bei jeder Beleuchtung deutlich von ihrer mattgeschliffenen Umgebung ab.

---

[1]) Die Winkelform erlaubt, den Magneten über den Windungen zu lagern und deshalb mit einer Spule auszukommen, während man bei Lagerung zwischen den Windungen zwei getrennt gewickelte Spulen braucht. Auch wird durch die Winkelform der Schwerpunkt des Magneten tiefer gelegt und damit erst das Gleichgewicht genügend stabil.

Wünscht man über die Grösse des Stromes Genaueres zu wissen, so ersetzt man das Galvanoskop durch ein nach Milliampere geaichtes Instrument (Fig. 169), das unter dem Namen Stromfeinzeiger auf den Markt gebracht wird.

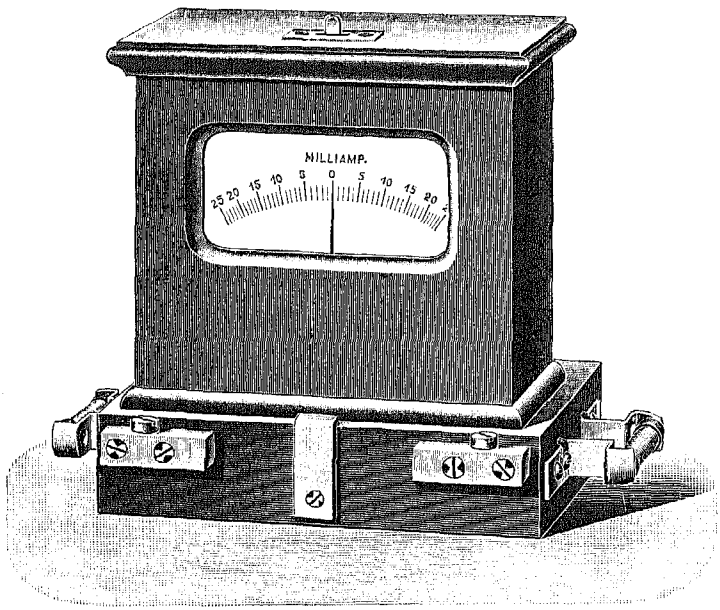


Fig. 169. Stromfeinzeiger.

Zur geordneten Abwicklung des Betriebes sind weiter die Umschalter oder Wechsel von grosser Wichtigkeit. Sie dienen dazu, in den Ämtern die erforderliche Veränderung der Stromwege schnell und sicher vorzunehmen und rückgängig machen zu können. Die Reichspost verwendet eine ganze Anzahl von Umschaltern und versieht die gebräuchlichsten zur besseren Unterscheidung mit den Zahlen I bis VIII. Sie sind hier auf dieser Tafel (Fig. 170) vereinigt.

Von allen ist nur Nummer V ein Kurbelumschalter. Er allein besitzt die in der Starkstromtechnik üblichen Schleifkontakte, welche eine besonders schnelle Änderung des Stromweges gestatten. Die anderen Umschalter beruhen auf dem Stöpselsystem: Zwei Messingschienen sind mit Hilfe von Klemm-

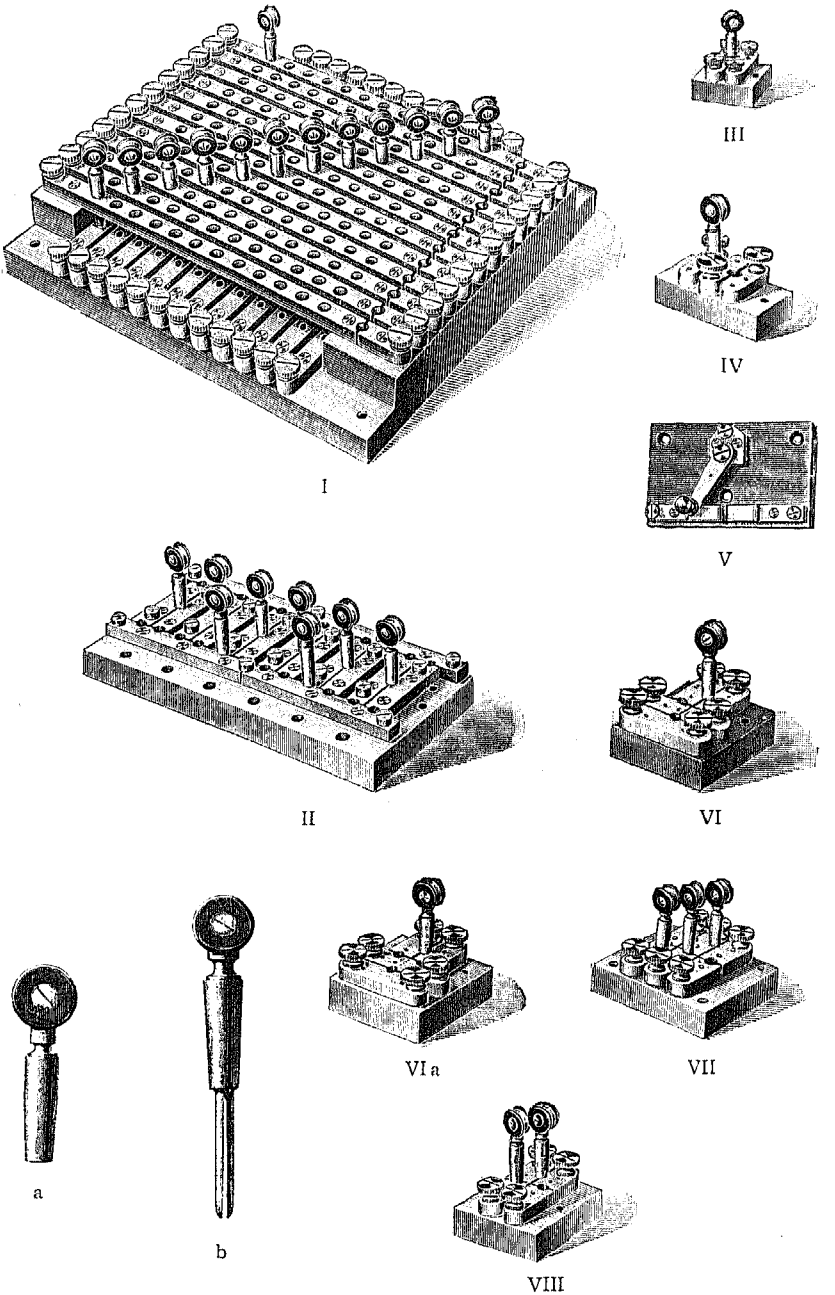


Fig. 170. Umschalter der Reichspost.

schrauben in den Stromlauf eingeschaltet. Der Stromübergang wird entweder durch den zwischen den Schienen liegenden Luftraum gehindert oder durch Einsetzen eines solchen Messingstöpsels, wie ich ihn hier (Fig. 170a) an seinem isolierenden Kopfe halte, in die einander zugelegenen halbkreisförmigen Ausbohrungen der Schienen bewirkt. Ausbohrungen und Stöpsel sind nach unten kegelförmig verjüngt, so dafs beim festen Einsetzen des Stöpsels in die Ausbohrung vollkommener elektrischer Schlufs erreicht wird. Ohne uns auf Einzelheiten einzulassen, können wir doch bemerken, dass Umschalter III bis VIII für die einzelnen Apparattische bestimmt sind; III dient als Ausschalter, VIII als Stromwender, über IV oder V wird die Verbindung mit einer Leitung gelöst und mit einer zweiten hergestellt.

In Ämtern einiger Grösse werden die eintretenden Leitungen nicht sofort zu den Apparatetischen, sondern erst zu gemeinsamen Umschaltern oder Wechseln oder Linienwählern geführt. Als solcher diente bei wenig Leitungen Nummer II, bei mehr I. Umschalter I enthält zwei Gruppen von zwölf Schienen, die sich in zwei übereinander gelegenen Ebenen rechtwinklig kreuzen. Jede der Schienen ist an den Stellen, wo sie sich mit den zwölf zu ihr senkrechten, darüber oder darunter liegenden Schienen kreuzt, durchlocht, so dass in jeder von beiden Ebenen 12^2 Löcher vorhanden sind. In jedes dieser 12^2 Löcherpaare kann ein langer Stöpsel (Fig. 170b) mit gespaltenem federnden Fusse eingesetzt und dadurch jede der zwölf Schienen der einen Gruppe mit einer der zwölf sie kreuzenden der anderen Gruppe verbunden werden. Die oberen Schienen tragen ausserdem nahe ihrem rechten Ende noch je ein Stöpselloch, wodurch der an der rechten Klemmschraube liegende Apparat von der an der linken liegenden Leitung getrennt werden kann. Die Einschaltung der unteren Schienengruppe erlaubt, die Leitungen unter sich oder mit Erde oder Aushilfsapparaten oder Messinstrumenten zu verbinden, was, wie jeder Praktiker weiss, für die wechselnden Anforderungen des telegraphischen Betriebes von grosser Bedeutung ist. Ähnliche Linienwähler haben Sie hier (Fig. 171) vom Nürnberger Amt abgebildet. Sie sind in besonderen, merkwürdiger Weise durch Glasthüren verschliessbaren Wandkästen untergebracht. Seit einiger Zeit beginnt man, für grosse

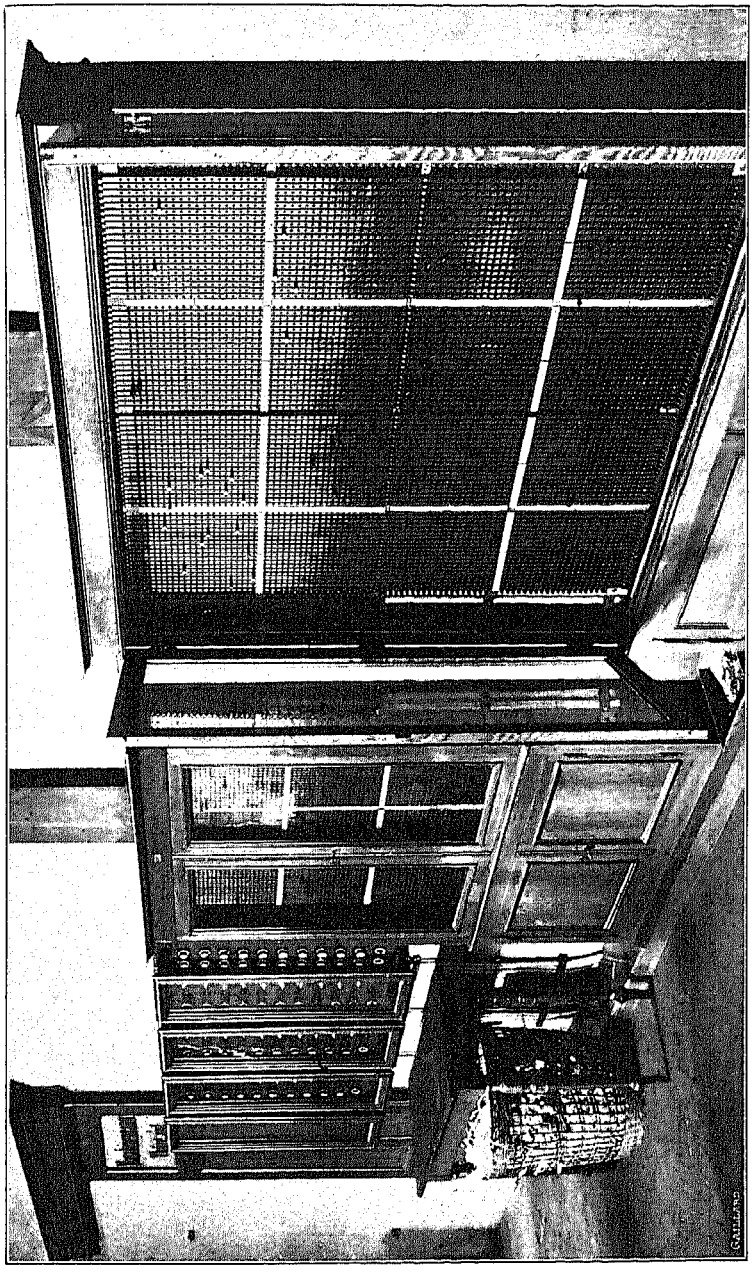


Fig. 171. Linienwähler des Telegraphenamts in Nürnberg.

Ämter Umschalter zu bauen, die im Prinzip denen des Fernsprechbetriebes nachgeahmt sind.[1]) Es ist anzunehmen, dass man allgemein zu diesen übergehen wird, sobald sich zweckmässige Typen herausgebildet haben werden.

In manchen Fällen erfordert der telegraphische Betrieb die Einschaltung von Ausgleichswiderständen (s. g. künstlichen Widerständen), wie folgende Betrachtung ergiebt: Es soil (Fig. 172) von Amt I nach II gegeben werden. Die Elektro-

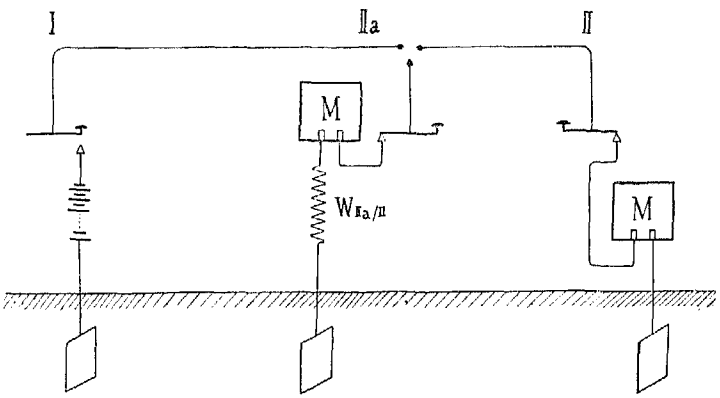


Fig. 172. Anwendung eines Ausgleichswiderstandes.

motorische Kraft der Batterie, die Zahl ihrer Zellen wird so bemessen, dass bei dem Widerstande der beide Ämter verbindenden Leitung und der eingeschalteten Apparate ein Telegraphierstrom der üblichen Stärke entsteht. Nun verlangt der Betrieb, dass mit dieser selben Batterie nach einem wesentlich näher gelegenen Amte IIa gegeben werden könne, ohne die Zahl der Zellen zu verändern, noch den empfangenden Farbschreiber IIa auf eine grössere als die gewöhnliche Stromstärke einzustellen. Zu dem Zwecke wird auf dem Amte IIa in den Stromkreis ein Ausgleichswiderstand eingeschaltet, welcher ungefähr ebenso gross ist, wie der der fortgefallenen Leitung zwischen den Ämtern IIa und II. Der neue Leitungswiderstand ist um eine Anzahl Ohm kleiner, als der ursprüngliche. Zur

[1]) Siehe zum Beispiel L'électricité à l'exposition de 1900 IX S. 230—235.

Ausgleichung schaltet man diese Anzahl Ohm gleichsam künstlich wieder ein, und ungeachtet der geringeren Ertfernung der sprechenden Ämter wird die Stromstärke auf den alten, dem Morse zusagenden Wert herabgedrückt. Wollen Sie der Deutlichkeit Übermaass, so zeichnen Sie wieder das alte Dreieck, erst für die voile Entfernung I/II (Fig. 173a) und dann für die

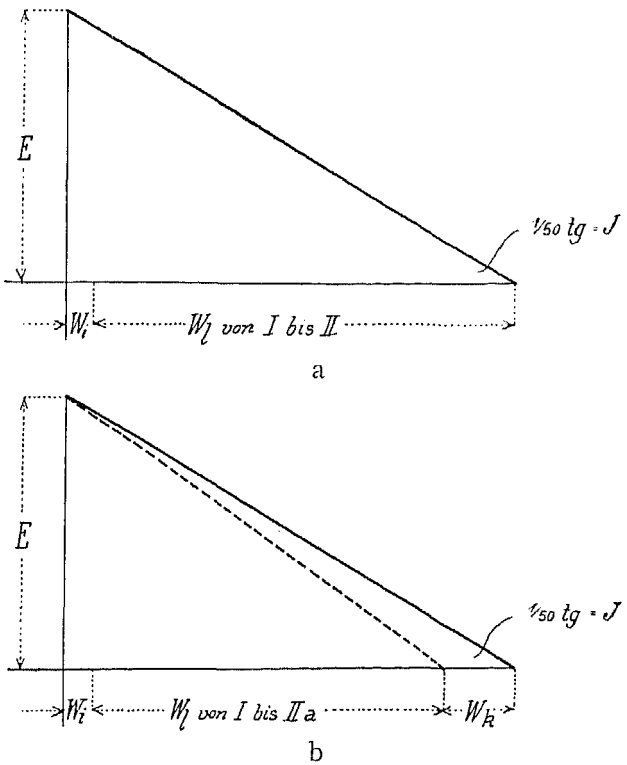


Fig. 173.

nähere I/IIa (Fig. 173b). Die gestrichelte Hypothenuse giebt mit ihrer Neigung den Strom ohne Ausgleichswiderstand w_k, die ausgezogene mit ihm wieder. Zwar wird durch die Einschaltung eines Ausgleichswiderstandes von der Grösse w_k in der Sekunde $J^2 w_k$ an Energie verschwendet; aber die erreichte Betriebsvereinfachung ist so wertvoll, dass man diesen übrigens unbedeutenden Verlust gern mit in den Kauf nimmt. Allerdings

ist die Telegraphie eine Arbeitsübertragung mit allen Merkmalen einer solchen. Doch spielt bei ihr der Nutzeffekt — d. h. derjenige Teil der auf dem gebenden Amt erzeugten Leistung, welcher auf dem empfangenden nützlich verwertet wird — gegenüber der Sicherheit und Schnelligkeit des Betriebes nur eine untergeordnete Rolle.

Die Ausgleichswiderstände werden in der Grösse von 500 Ohm und in Vielfachen davon gebaut. Früher verwandte man als Widerstandsmaterial Graphitpulver, zwischen Stanniolpfropfen in einer Glasröhre eingeschlossen. Je lockerer das Pulver aufgefüllt, je dünner und länger seine Schicht ist, umso grösser sein Widerstand. Neuerdings werden die Widerstände nicht mehr aus Graphitpulver, sondern aus dünnem Manganindraht gefertigt, von dem man grosse Längen auf eine Holzspule aufwickelt. Das Graphitpulver ändert — vermutlich durch teilweises Zusammenbacken — nach einiger Zeit seinen Widerstand und verlangt eine häufige Prüfung. Diese fällt beim Manganindraht natürlich fort. Dessen Eigenschaft, im Gegensatz zu anderen Materialien seinen Widerstand mit der Temperatur nicht zu ändern, spielt bei den künstlichen Widerständen keine Rolle. Denn erstens steigt bei Sommerhitze der Widerstand des oberirdischen Leitungsdrahtes, so dass auch der Ersatzwiderstand ruhig steigen dürfte. Zweitens giebt dieser nur den ungefähren Widerstand der fortfallenden Leitung wieder. Es kommt auf seine Genauigkeit nicht an, da aus anderem Grunde der Telegraphierstrom doch erheblich schwankt.

Von telegraphischen Hilfsapparaten sind weiter die Blitzableiter zu besprechen. Wie Ihnen aus der Elektrostatik bekannt ist, nimmt der Blitz seinen Weg möglichst über gute Leiter. Er findet keine besseren, als oberirdische elektrische Leitungen, welche deshalb, ob sie Stark- oder Schwachstrom führen, dem Blitzschlag besonders ausgesetzt sind. Der Blitz bewegt sich aber nie weit auf einer Drahtleitung. Als Wechselstrom hoher Periodenzahl verriegeln ihm schon schärfere Krümmungen den Weg und lassen ihn in Gemeinschaft mit anderen, oft nicht verständlichen Ursachen zur Erde abspringen. Das beschädigte Stück der Leitung ist immer kurz und kann leicht ersetzt werden. Blitzableiter bringt man deshalb nur

dort an, wo Leitungen oberirdisch in Ämter eintreten oder Freileitungen in Kabel übergehen, so dass Menschen, Gebäude und Apparate und die teuren und schwer auszuwechselnden Kabel geschützt werden.

Die telegraphischen Blitzableiter beruhen auf einem Prinzip, wie es auch zum Schutze aller anderen elektrischen Leitungen gegen Blitzschlag verwandt wird. Man benutzt die Fähigkeit des Blitzes, vermöge seiner hohen Spannung zu guten Erdleitungen hin Luftbrücken zu überspringen. Das vermag der im regelmässigen Betriebe von der Leitung geführte schwachgespannte Strom nicht, selbst wenn die Brücke nur kurz ist. Bei den telegraphischen Blitzableitern befindet sie sich zwischen zwei Messingplatten, die zur Erzielung der früher besprochenen

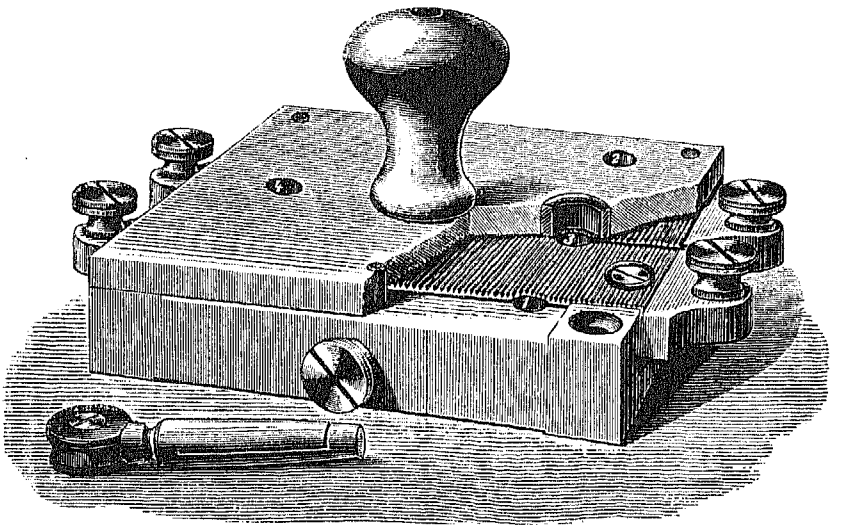


Fig. 174. Tischblitzableiter. (Nach Zetzsche.)

Spitzenwirkung geriefelt sind. Zu deren Vermehrung sind die Riefeln der einen Messingplatte denen der anderen nicht parallel; sondern beide kreuzen sich. Die Platten sind so über einander befestigt, dass zwischen den Kämmen der Riefelungen $^1/_4$ bis $^1/_2$ mm Abstand bleibt. Die untere Platte wird vom Telegraphier-

strome durchlaufen oder steht wenigstens mit der Leitung in Verbindung, die obere liegt an Erde. Kommt der Blitz auf der Leitung daher, so springt er durch die kurze Luftschicht von der an Leitung zu der an Erde liegenden Platte über und fährt

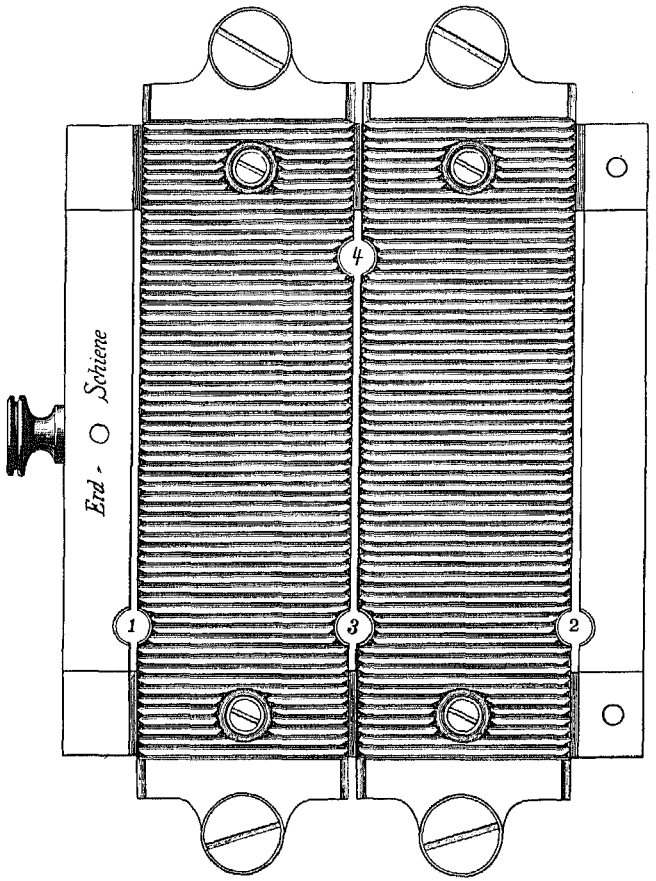


Fig. 175. Tischblitzableiter, Deckelplatte abgehoben.

unschädlich zur Erde ab. Der Blitzableiter ist darauf sogleich wieder gebrauchsfähig, wenn nicht, was wohl vorkommt, beide Platten durch den Blitz zusammengeschmolzen sein sollten.

Der Schutz gegen den von den Leitungen in die Ämter eingeschleppten Blitz ist den Tischblitzableitern[1]) (Fig. 174 und 175) anvertraut, die in kleineren Ämtern auf jedem Apparatetische, in grösseren wie die grossen Umschalter besonders aufgestellt sind. Die Erdplatten führen dann gemeinsam zur Erde. Die Tischblitzableiter enthalten, wie das eben allgemein auseinandergesetzt wurde, geriefelte Platten, deren geradlinige Riefeln aufeinander senkrecht stehen. Die untere-, die Leitungsplatte (Fig. 175) ist in der Mitte der Länge nach in entzwei geschnitten. Beide Plattenhälften sind durch einen Luftschlitz getrennt und an den Enden durch Isoliermaterial mechanisch mit einander verbunden. Durch diese Teilung ist ein Blitzableiter

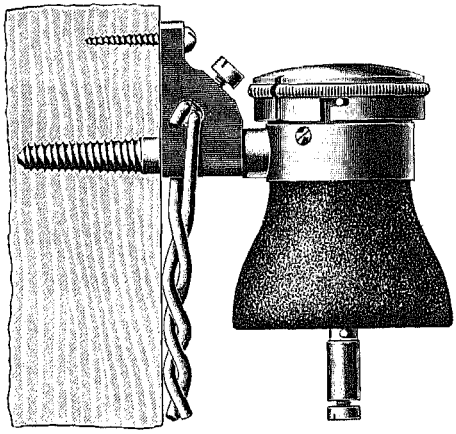


Fig. 176.

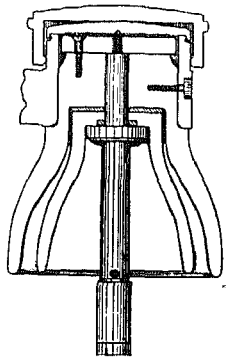


Fig. 177.

Stangenblitzableiter.

in den Stand gesetzt, gleichzeitig vor den Entladungen zweier Leitungen zu schützen. Die obere-, die Deckelplatte ist aus einem Stück und mit der neben den Linienplatten isoliert befestigten Erdschiene verbunden. Die Tischblitzableiter erfüllen

[1]) Ihre Bezeichnung als Plattenblitzableiter im Gegensatz zu den Stangenblitzableitern trifft beider Unterschied nicht. Denn beide beruhen auf der Anwendung geriefelter Platten. Wählt man den Ort ihrer Thätigkeit als Einteilungsprinzip, so entsprechen sich Stange und Tisch. Um ein Missverständnis zwischen den an der Telegraphenstange befestigten und den als Stange ausgebildeten Blitzableitern zu vermeiden, wurden seiner Zeit die letzteren nach gleichem Einteilungsprinzip Gebäudeblitzableiter genannt.

ausser ihrem eigentlichen Beruf noch den von Umschaltern. Der beim Umschalten verwandte Stöpsel steckt, wenn er nicht gebraucht wird, in dem der Deckelplatte als Handhabe dienenden Holzknopf. Durch Stöpseln von Loch 1 oder 2 wird die linke oder die rechte Leitung mit der Deckelplatte verbunden, also an Erde gelegt. Loch 4 erdet beide Leitungen, und das innerhalb der Deckelplatte mit Ebonit ausgefütterte Loch 3 (Fig. 174) verbindet beide Leitungen mit einander.

Der Stangenblitzableiter (Fig. 176 und 177) enthält ebenfalls zwei Riefelplatten. Die untere längs geriefelte steht über eine Messingstange mit einer Abzweigung der Leitung in Verbindung, deren atmosphärische Entladungen unschädlich gemacht werden sollen. Die obere, concentrisch geriefelte Erdplatte führt über den Bajonettverschluss und zwei bifilar um einander geschlungene Telegraphendrähte zur Erde. Damit der Blitzableiter die Isolation der Leitung nicht verschlechtert, sind die an der Leitung und die an Erde liegenden Metallteile durch zwei in einander steckende Ebonitglocken getrennt.

Der letzte telegraphische Hilfsapparat ist in einer sehr grossen Reihe von Formen ausgeführt, von denen eine Auswahl eingehend zu besprechen ist. Es sind die **Relais.**

Das direkte Telegraphieren mit Arbeits- oder Ruhestrom, wie es im Prinzipe am Schlusse der vorigen Vorlesung besprochen wurde, gelingt nur zwischen nahe gelegenen Ämtern, weil der vom gebenden Amte abgesandte Strom nicht in seiner vollen Stärke auf dem empfangenden Amt ankommt. Auch im ordnungsmässigen Betriebe, bei Abwesenheit besonderer Störungen, hält die Leitung gleichsam nicht dicht. Sie leckt. An jeder einzelnen Porzellanglocke unterwegs findet auch bei trockenem Wetter ein kleiner Zweigstrom seinen Weg zur Erde. Zwar ist er winzig klein, und nur besonders empfindliche Messinstrumente können ihn nachweisen. Aber er ist, und die grosse Anzahl von Aufhängungspunkten verleiht ihm seine Bedeutung. Der Strom wird unterwegs nutzlos ausgegeben — vulgär gesagt — verläppert, und der Rest, der ins Empfangsamt kommt, ist zur Erfüllung seiner eigentlichen Aufgabe nicht mehr stark genug. Der ankommenden Milliampere sind zu wenige. Die Ampere-

windungen und die von ihnen, als der Magnetomotorischen Kraft, durch den magnetischen Kreis gedrückten Kraftlinien reichen nicht hin, um den durch Schreib- oder Klopferhebel beschwerten Anker zu bewegen. Der grössere oder kleinere Feuchtigkeitsgehalt der Luft erklärt übrigens mit seinem Einfluss auf die Güte der Leitungsisolierung das schon öfters erwähnte Schwanken des Morsestromes.

Die bei längeren Leitungen lästige Verkleinerung des Stromes scheint sehr einfach durch Vergrösserung der wirksamen Elektromotorischen Kraft, also der für die vorliegende Strecke benutzten Zellenzahl überwunden werden zu können. Dadurch würde dann — so möchte man meinen — zwar nach dem Gesetze der Stromverzweigung an jedem Aufhängspunkt die höhere Spannung einen entsprechend grösseren Nebenschlussstrom zur Erde schicken; aber der ans Ziel gelangende Strom wäre auch entsprechend grösser. So würde aber nur schliessen, wem der alte Satz fremd ist, dass eine Leitung um so schwerer zu isolieren, je höher gespannten Strom sie führt. An einer Reihe von Stellen genügt die Isolierung zum Zusammenhalten der niedrigeren, nicht der höheren Spannung. Ein Heer von vorher unbekannten Isolationsfehlern tritt jetzt auf und zehrt schmarotzerisch an dem fortzuleitenden Strom. Die Stromverluste, die man ausgleichen wollte, werden weit mehr vergrössert, als dem Verzweigungsgesetze entspricht. Viel mehr Strom als bei der niedrigen Spannung kommt jetzt auch nicht ans Ziel, und wenn, so entspricht der erlangte Gewinn nicht dem vermehrten Aufwande. Andererseits ist eine Verbesserung der Isolationseinrichtungen bei der erforderlichen grossen Zahl von Aufhängungspunkten zu teuer. Für eine Telegraphie auf weite Entfernungen ist aus diesem und anderem Grunde die Einführung von etwas ganz Neuem notwendig. Dieses Neue ist die Übertragung, welche auf einem unterwegs liegenden- oder dem Endamt eingerichtetet wird. Sie bedient sich eines Hilfsapparates: des Relais.

Zur Zeit, als es noch keine Eisenbahn gab und man mit der Post reiste, waren grössere Entfernungen natürlich nicht ununterbrochen mit denselben Pferden zurückzulegen. An bestimmten Stationen unterwegs wurden die müden Pferde abgegeben und frische, ausgeruhte angeschirrt. Die neuen

Pferde sowohl, wie die Station, auf welcher der Pferdewechsel stattfand, wurden allgemein mit dem französischen Worte Relais bezeichnet. Der treffende Vergleich mit dem Orte des Pferdewechsels hat dem Relais seinen Namen eingetragen.

Der von der Linie in das Empfangsamt fliessende Strom ist also bei grösseren Entfernungen zu schwach, um die Anziehung des mit dem Schreib- oder Klopferhebel belasteten Morseankers zu bewirken. Der Strom wird deshalb nicht durch die Elektromagnetwicklung des Morse, sondern durch die des Relais zur Erde geschickt (Fig. 178). Dieser Elektromagnet-

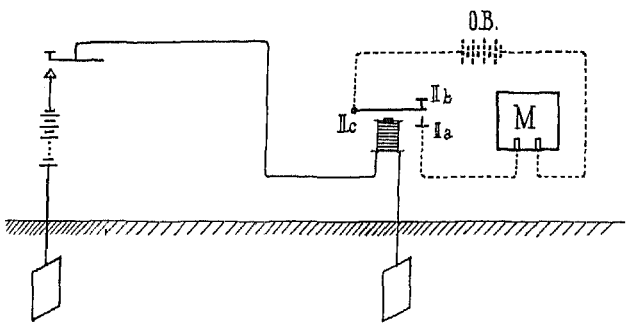


Fig. 178. Relaisprinzip.

wicklung liegt ein zierlicher, leicht beweglicher Anker vor, welchen anzuziehen, auch der nur durch den schwachen Linienstrom, aber mit einer meist sehr grossen Windungszahl erregte Elektromagnet im Stande ist. Der Farbschreiber oder Klopfer bildet mit einer neuen auf dem empfangenden Amte selbst aufgestellten Batterie von einigen Telegraphenelementen oder Akkumulatorenzellen, der Ortsbatterie (*OB* in Fig. 178)[1]), den (gestrichelten) Ortsstromkreis. Der Stromkreis befindet sich eben am Orte, auf dem Amte selber und enthält keine ausserhalb des Amtes befindliche Leitung. Einen Teil dieses Ortsstromkreises bildet auch der Messinghebel, in den der Relaisanker eingelassen ist, und je nach der Lage dieses Hebels ist der Ortsstromkreis geöffnet oder geschlossen. Hat der schwache Linienstrom den Relaisanker umgelegt, so fliesst

[1]) Ganz bezeichnend hat man sie auch Vorspannbatterie genannt.

der Ortsstrom, der Morse schreibt oder giebt den Klopfton, der dem Zeichenbeginn entspricht. Er hört aber sofort oder nur unmerklich später mit Schreiben auf oder giebt den anderen Klopfton, sobald kein Linienstrom mehr die Wickelung des Relais durchfliesst. Das Relais arbeitet in dem auf dem Empfangsamte befindlichen Stromkreise wie eine Taste, die von fern her, von dem auf dem anderen Amte gebenden Beamten elektrisch bedient wird.

An jedem Relais befinden sich ordnungsmässig fünf Klemmen. Von diesen dienen die zwei am Ende der Elektromagnetwicklung dem Linienstrom. Die eine von ihnen wird mit der Leitung, die andere mit Erde verbunden. Man pflegt diese beiden die Primär- und die drei anderen die Secundärklemmen zu nennen, darf sich dadurch aber nicht etwa zur Vergleichung des Relais mit dem Transformator verleiten lassen. Bei diesem ist der primäre Stromfluss die Ursache des secundären. Beider Grösse steht in Beziehung zu einander. Mit dem primären Strom wächst auch notwendiger Weise der secundäre.[1]) Beim Relais dagegen ist der primäre Strom nicht die Ursache, sondern die Veranlassung des secundären. Er löst den secundären nur aus, fügt, wie ein Schalter, dem fast fertigen Stromkreis ein fehlendes Leiterstück ein. Die Grösse des Secundär- oder Ortsstromes hängt nicht von der des Primär- oder Linienstromes, sondern allein von der Elektromotorischen Kraft und dem inneren Widerstande der Ortsbatterie und den Drahtwiderständen des Ortsstromkreises ab. Die eine der drei Secundärklemmen aller Relais ist elektrisch mit dem Relaishebel oder, wie dieser bei langer und schmaler Ausbildung heisst, der Relaiszunge verbunden. (Contakt IIc.) Die beiden noch übrigen Klemmen (IIa und IIb) führen je zu einem der verstellbaren Contakte (IIa und IIb). Gegen den einen von diesen (IIa), den Arbeitscontakt schlägt der Relaishebel, wenn Strom die Elektromagnetwicklung durchfliesst und der Anker angezogen ist. Gegen den andern (IIb), den Ruhecontakt, wird er durch die Elasticität einer Spiralfeder geführt, sobald der primäre Strom zu fliessen aufgehört hat. Die Spannung der Spiralfeder und damit die Empfindlichkeit des Relais kann durch Verstellen einer Schraube

[1]) Die Reihenfolge hezieht sich natürlich auf Schwachstrom-Transformatoren.

geändert werden. Bei allen Relais sind zum Schutz gegen den Öffnungsfunken die beiden Contaktstifte platiniert und der Relaishebel ist an den Contakt machenden Stellen mit Platinplättchen belegt. Bis jetzt passt die Beschreibung des Relais in Sonderheit auf die Gruppe, die man Weicheisen-Relais nennt. Als deren Vertreter stelle ich Ihnen hier (Fig. 179) das

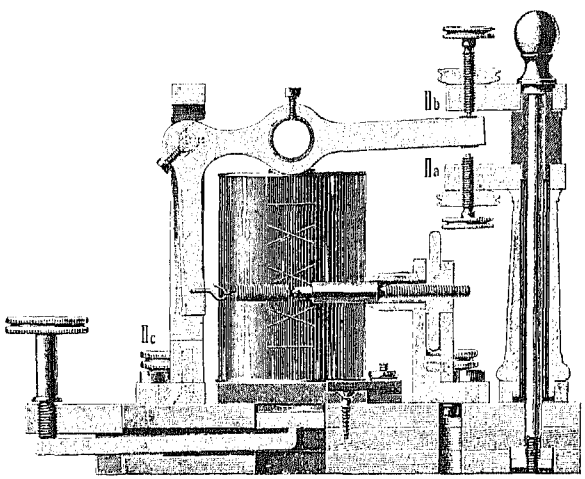


Fig. 179. Weicheisen-Relais.

s. g. gewöhnliche Relais der Reichspost vor, das in seinem Äusseren stark an den Klopfer erinnert. Sein Name Schwanenhalsrelais stammt von der früheren eigentümlichen Form des Bockes, der die secundären Contakte trägt. Kerne aus weichem Eisen tragen zwei Spulen, die zusammen an 12000 Windungen von etwa 350 Ohm enthalten. Als Relaishebel dient ein in seinem Scheitel gelagerter Messingwinkel, der in der Vertikalen drehbar ist. An dem vertikalen Schenkel greift die Spiralfeder an, so dass der horizontale von unten gegen den Ruhecontakt (IIb) schlägt. Dem Zug der Feder entgegen wirkt die elektromagnetische Kraft der Spulen, welche den in den horizontalen Schenkel des Messingwinkels eingelassenen Eisenanker zu sich nach unten zieht und das Schenkelende gegen den Arbeitscontakt (IIa) legt. Zur Einstellung kann man, ähnlich wie beim Farbschreiber, Kernhöhe und Federspannung verändern. Die zweite wichtigere, Gruppe von Relais, die

Polarisierten Relais

enthalten einen polarisierten Elektromagneten. Am leichtesten verständlich ist dasjenige, welches die Reichspost das deutsche nennt, obgleich es dem Elektromagneten des Hughes-Apparates und das auch zuerst in England nachgebildet ist. Bei diesem Hughesrelais (Fig. 180) liegt auf hölzerner Grundplatte ein

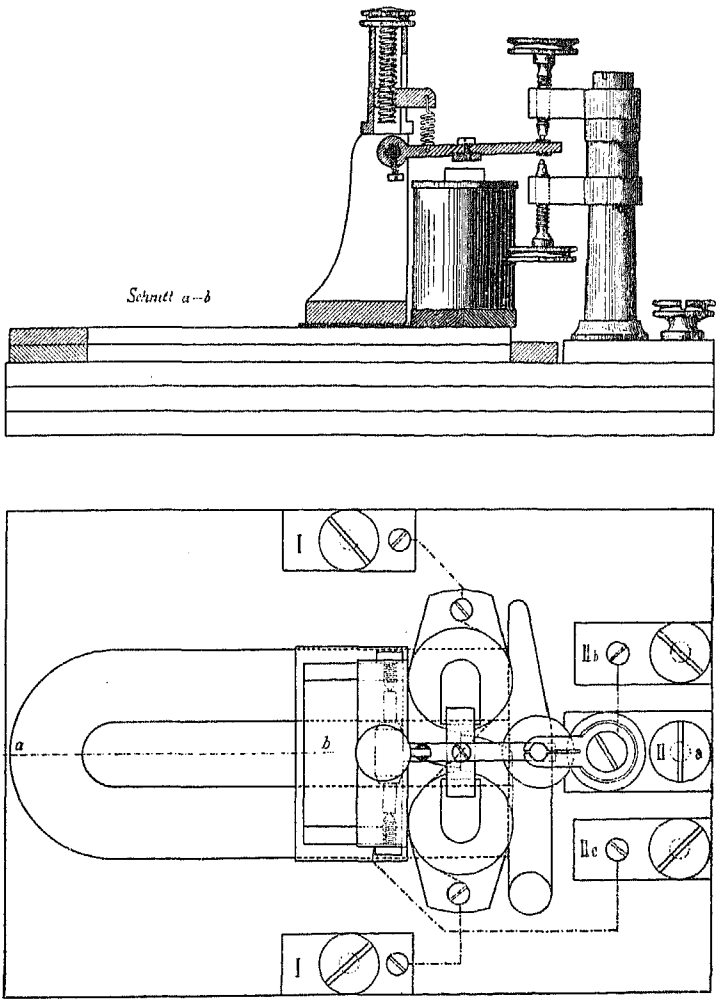


Fig. 180. Hughes-Relais.

kräftiger aus mehreren Stahllamellen zusammengesetzter Hufeisenmagnet. Auf jedem der beiden Pole steht vertikal, also senkrecht auf der Ebene des Magneten und des Grundbrettes ein Kern aus weichem Eisen. Nach der alten Anschauungsweise werden diese Kerne durch den Dauermagneten influenziert, so dass am oberen Ende des auf dem Nordpole des Hufeisens stehenden Kernes ein Nordpol, am oberen Ende des anderen ein Südpol entsteht. Ausserdem sind nun die Kerne von Elektromagnetspulen umgeben, welche, wenn sie von einem Strome durchflossen werden, je nach dessen Richtung die Pole an den Kernenden verstärken oder schwächen. Über den Kernenden sitzt der kleine Anker aus weichem Eisen, von dem in der Vertikalen drehbaren Relaishebel getragen. Mit ihm ist die Klemme IIc verbunden. Über und unter dem freien Ende des Relaishebels sind, von einander isoliert, die beiden anderen sekundären Contakte, IIa und IIb angebracht. Eine verstellbare Feder hält den Hebel gegen den oberen von beiden, IIb.

Das Relais arbeitet jetzt auf Anziehen. Sobald Strom der vorgeschriebenen Richtung die Windungen durchläuft, werden die beiden influenzierten Pole an den Kernenden elektromagnetisch so verstärkt, dass die auf den Anker ausgeübte Anziehungskraft den Relaishebel gegen den Zug der Feder auf den unteren Contakt klappen lässt. Soll das Relais auf Abreissen eingestellt werden, so lässt man durch Drehen der Stellschraube die Feder soweit nach, dass ihre Zugkraft schon von den influenzierten Polen allein überwunden werden kann, mithin bei Abwesenheit von Strom der Relaishebel gegen den unteren Contakt IIa anschlägt. Wenn nun ein Strom von einer der des vorigen entgegengesetzten Richtung die Elektromagnetwicklung durchfliesst, so werden die influenzierten Pole elektromagnetisch so geschwächt, dass sie das Uebergewicht über die Zugkraft der Feder verlieren und den Anker loslassen müssen. Der Hebel klappt nach oben.[1])

[1]) Man sollte diese Einstellung nicht als die auf Abstossung bezeichnen. Dadurch wird nur der falsche Gedanke hervorgerufen, dass die Elektromagnetkerne den Anker abstossen. Der Anker aus weichem Eisen kann nie abgestossen werden, auch dann nicht, wenn die elektromagnetische Wirkung stark genug wäre, den Dauermagnetismus ganz aufzuheben und die Eisenkerne entgegengesetzt zu magnetisieren, was sie übrigens nicht im Entferntesten ist.

Beide Schaltungen, die auf Anziehen und die auf Abreissen des Ankers, wurden eben stillschweigend in einer Arbeitsstromleitung gedacht. Ebenso gut können sie auch mit Ruhestrom betrieben werden. Soll dann das Relais auf Anziehen arbeiten, das heisst der Hebel mit den Punkten und Strichen der Morsezeichen nach unten klappen, so muss der Strom den influenzierten Magnetismus schwächen. Bei Stellung auf Abreissen sollen die Punkte und Striche den Hebel nach oben umlegen. Der Ruhestrom muss mithin den influenzierten Magnetismus verstärken.

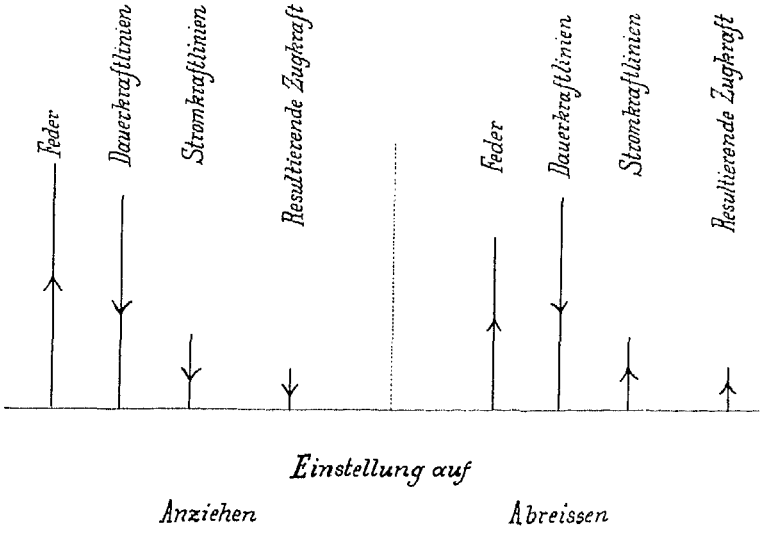


Fig. 181. Die auf dem Hebel des Hughesrelais wirkenden Zugkräfte. (Schwächungsanker unverändert.)

Das Arbeiten des Hughes-Relais erklärt sich mit Hilfe der Kraftlinienanschauung viel einfacher. Der stählerne Dauermagnet schliesst einen kleinen Teil seiner Kraftlinien als Streulinien von Pol zu Pol durch die Luft. Die grosse Mehrzahl benutzt als Leitungsweg Kerne und Anker, welche ja aus Eisen von hoher Permeabilität bestehen. Dabei ist zweimal die kurze Luftbrücke zwischen Kernenden und Anker zu durchsetzen. Nach alter Regel suchen die Kraftlinien den ihnen von dem Ankereisen aufgezwungenen Luftweg zu verkürzen und den

Anker an die Kernenden heranzuziehen. Das geschieht auch, wenn ihre Anzahl genügt, den Gegenzug der Feder zu überwinden. Die Feder ist nun bei der Stellung auf Anziehen so stark gespannt, dass die von dem Stahlmagneten ausgesandten Kraftlinien allein nicht dazu ausreichen. Fliesst aber durch die Spulen ein Strom von solcher Richtung, dass die von ihm erzeugten Kraftlinien denen des Stahlmagneten gleichgerichtet sind, so reicht jetzt die Kraftlininienzahl zur Anziehung aus. Der Relaishebel klappt nach unten. Ist der Strom aber dem von eben und sind damit seine Kraftlinien denen des Dauermagneten entgegengesetzt gerichtet, so wird ein Teil der ursprünglichen in ihrer Wirkung aufgehoben. Der wirksame Rest ist der entgegenziehenden Federkraft nicht mehr gewachsen. Das Relais arbeitet auf Abreissen. Die Entstehung der resultierenden Zugkraft kann man sich mit einem solchen Diagramm (Fig. 181) klar machen, dass allerdings keine Versuchsergebnisse, sondern beliebig angenommene Werte wiedergiebt. Ein Strom von der dem erwarteten Telegraphierstrome entgegengesetzten Richtung verstärkt in jedem Falle die im Ruhezustande auf den Anker ausgeübten Zugkräfte. Der Anker wird durch ihn nicht umgelegt. Das ist ein Hauptvorzug aller polarisierten- vor den Weicheisenrelais.

Zur Einstellung des Hughes-Relais dient ausser der Veränderung der Federspannung der Schwächungsanker. Dieser ist nichts als ein loser, mit einem Messingknopf versehener Stab aus weichem Eisen — halb Kantel, halb Türkensäbel — der den Polen des Dauermagneten vorgelegt werden kann. Er bildet dann einen magnetischen Nebenschluss. Den Kraftlinien des Dauermagneten sind zum Schliessen zwei Wege geboten, der bisherige durch Kerne, Anker und etwaige Luftbrücken und ein neuer durch das Eisen des Schwächungsankers, ungefähr auf dem Wege der früher erwähnten Streulinien. Die Kraftlinienverteilung hängt von dem magnetischen Widerstande der Zweige ab. Jedenfalls wird das allein für die auf den Relaisanker ausgeübte Zugkraft in Betracht kommende Kernfeld geschwächt und zwar umso mehr, je enger und vollständiger der Schwächungsanker dem Dauermagneten anliegt. Bei innigem Anliegen bildet er einen magnetischen Kurzschluss und setzt bis auf einen kleinen wirksamen Rest das Dauerfeld matt.

Der Schwächungsanker schwächt den Einfluss des Dauermagneten auf das Relais, nähert mithin gleichsam das polarisierte- einem Weicheisen-Instrument. Für die Einstellung bedeutet kleinere Federspannung und innigeres Anlegen des Schwächungsankers das Gleiche: ein leichteres Ansprechen des Relais. Der Schwächungsanker bewirkt durch die Veränderung seiner Lage gleich eine ziemlich heftige Verstellung, ähnlich dem Heben und Senken der Farbschreiberkerne. Milder wirkt die Veränderung der Federanspannung. Durch Verbindung beider gelingt die gewünschte Einstellung.

Die Reichspost verwendet das Hughes-Relais in zwei Formen, einer kleineren mit Magnetwicklungen von zusammen etwa 200 und einer grösseren von etwa 1150 Ohm.

Mit Vergnügen wende ich mich nun zur Besprechung des Siemensschen polarisierten Relais, das zugleich geistvoll erdacht und bis zur Vollendung durchkonstruiert ist. Es ist in der ganzen Welt verbreitet, wenn es auch von der Reichspost nicht mehr neu angeschafft wird. Zum Unterschied von den vorigen enthält dieses Relais keine Feder und ist damit von allen mit Federn verbundenen Mängeln befreit. Der Dauermagnet des Relais ist im Winkel gebogen (Fig. 182). Er ist so in einer Messingdose aufgestellt, dass der den Südpol tragende Schenkel vertikal aufrecht steht und mit dem Pol nach oben zeigt, während der den Nordpol tragende horizontal und jetzt auf den Beschauer zu gerichtet ist.

Dieser horizontale Schenkel trägt (Fig. 183) auf sich, und dem vertikalen Schenkel parallel, einen Hufeisen-förmigen Elektromagneten, das heisst, zwei mit Spulen umgebene, durch eine Grundplatte vereinigte Kerne aus weichem Eisen. Wohlgemerkt, beide Kerne sitzen auf ein und demselben Pol des Stahlmagneten, auf dem Nordpol. An den oberen Enden beider Kerne wird demnach je ein Nordpol influenziert. Die die Kerne umgebenden Spulen sind in gewohnter Weise gewickelt. Wäre gar kein influenzierender Stahlmagnet vorhanden, so würde — sobald Strom die Windungen durchfliesst — an dem oberen Ende des einen Kernes ein Nord-, an dem des anderen ein Südpol entstehen. Der Stahlmagnet ist aber vorhanden. Bei Stromfluss wirken deshalb zwei verschiedene Magnetisierungen auf die Kerne. Das Ergebnis ist die elektromagnetische Ver-

stärkung des einen influenzierten Nordpoles und die Schwächung des anderen. Das eine Kernende enthält bei Stromfluss mithin einen kräftigen, das andere einen schwachen Nordpol. Welcher von beiden der kräftige und welcher der schwache sein wird, ob der rechte oder der linke, hängt natürlich von der Stromrichtung ab.

Der Relaisanker ist nun zwischen den beiden am Ende der Eisenkerne befindlichen Polen beweglich angebracht und zwar

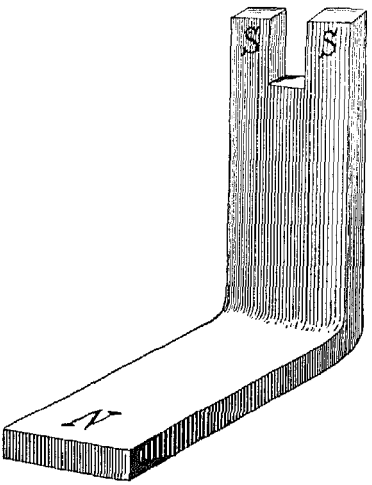


Fig. 182. Dauermagnet.

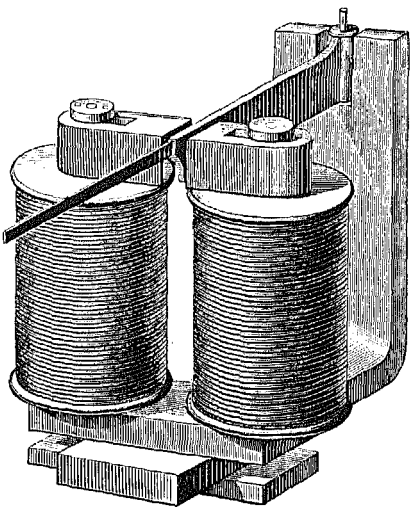


Fig. 183. Magnetisches System.

Siemenssches Polarisiertes Relais.

so, dass er sich um eine vertikale Achse dreht, die in einem gabelförmigen Ausschnitt im oberen Ende des vertikalen Schenkels gelagert ist. Auch der Anker wird influenziert, aber durch den Südpol, so dass sich an seinem zwischen den beiden Nordpolen beweglichen Ende ein Südpol befindet. Da beide Nordpole bei Abwesenheit von Strom gleich stark sind, so wird nach dem Coulombschen Gesetz der südpolare Anker von demjenigen von beiden am meisten angezogen, der ihm am nächsten ist. Deshalb sind den Eisenkernen Polschuhe aufgesetzt, von denen jeder durch Drehung einer Schraube dem Anker genähert oder von ihm entfernt werden kann. Der Anker klappt immer

zu dem ihm am nächsten gelegenen Polschuh hin. Nach vorn trägt der Anker eine zungenförmige Verlängerung aus Neusilber, welche mit ihrem Platin-belegten Ende nach rechts oder links gegen einen der sekundären Contakte schlägt. Das Relais ist

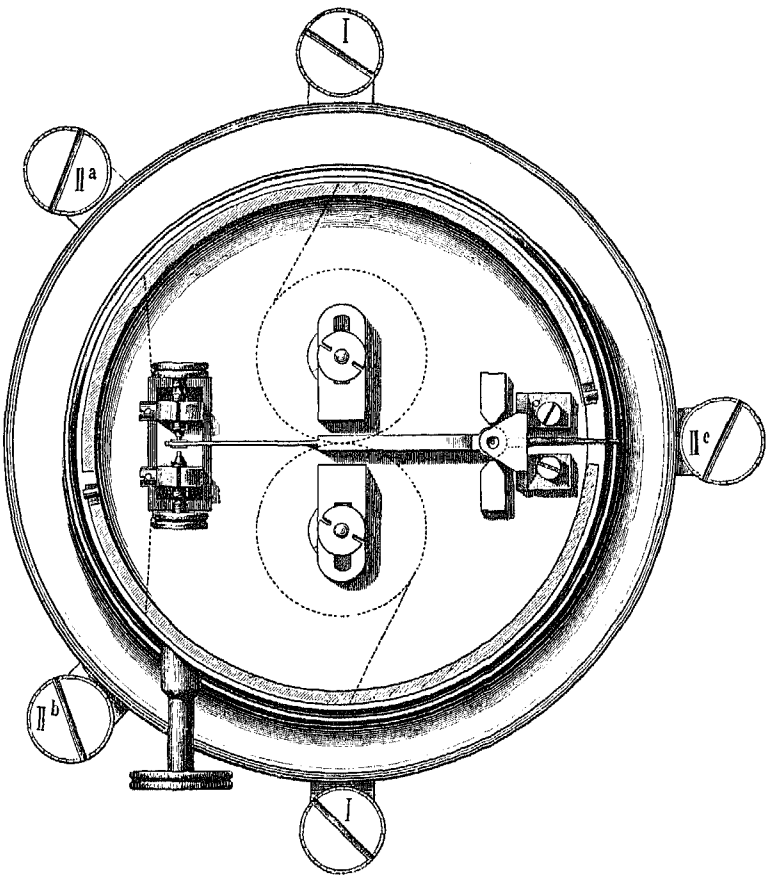


Fig. 184. Siemenssches Polarisiertes Relais von oben.

fast ganz in die Dose[1]) eingebaut (Fig. 184). Nur der gegabelte Südpol, die in der Gabel gelagerte Zunge, die beiden secundären Contakte IIa und IIb und die den Kernen aufgesetzten Polschuhe

[1]) Siemens & Halske bauen übrigens auch noch immer ihr altes, allerdings von der Reichspost nicht gebrauchtes Weicheisen-Dosenrelais.

sind, durch eine Glasscheibe geschützt, auf der Deckplatte der Dose sichtbar. An derem Grunde sind die üblichen fünf Klemmen angebracht. Von den beiden primären wird die eine, und zwar eine bestimmte, mit der Linie, die andere mit Erde verbunden und dadurch die Elektromagnetwicklung im richtigen Sinne vom Linienstrome durchflossen. Der südpolare Anker klappt von dem geschwächten Nordpole zu dem verstärkten hinüber, schliesst mit seiner Neusilberzunge den Ortsstromkreis und setzt den Farbschreiber in Gang. Ein Strom entgegengesetzter Richtung bewegt beim Siemensschen ebenso wenig, wie bei allen anderen polarisierten Relais, die Zunge aus ihrer Ruhelage.

Sie werden leicht selbst finden, wie einfach sich das Arbeiten des Siemensschen polarisierten Relais auf Grund der Kraftlinienanschauung darstellt. Beachten Sie bitte dabei, dass bei ihm sich die elektromagnetischen Linien ausser über die Luftbrücken nur durch weiches Eisen schliessen, während beim Hughes-Relais der Stahlmagnet mit seiner Remanenz als Teil des Leitungsweges benutzt wird.

Ein drittes polarisiertes Relais, das mit drehbaren Kernen (Fig. 185, 186 und 187) ist eigenartig gebaut. Die Kerne sind — mit einiger Reibung — um der excentrischen Polschuhe willen

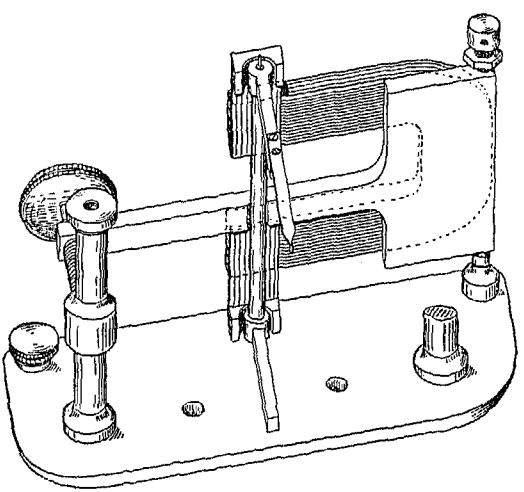


Fig. 185. Relais mit drehbaren Kernen. (Nach Grawinkel und Strecker.)

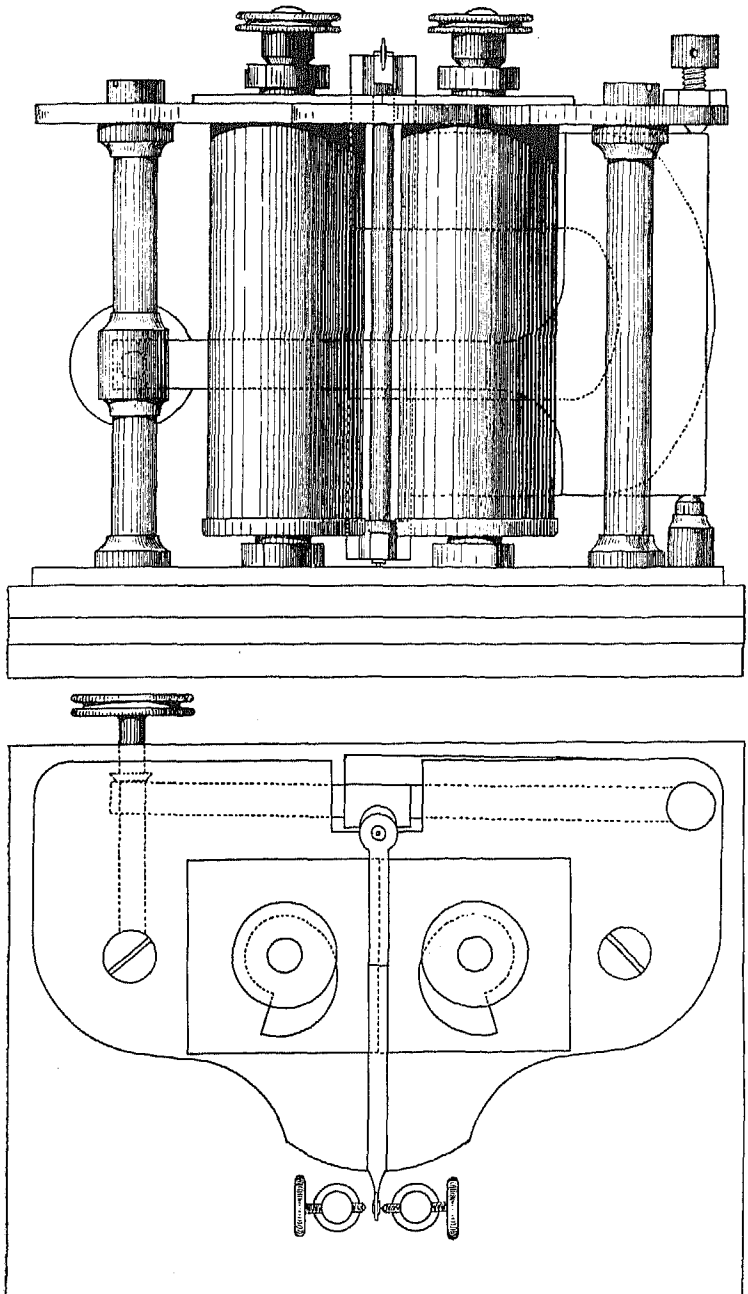


Fig. 186. Relais mit drehbaren Kernen.

drehbar, damit diese durch die Drehung den beiden Ankern genähert oder von ihnen entfernt werden können, also zu demselben Zweck, den das Siemenssche Relais durch geradlinige Verstellung der Polschuhe erreicht.[1]) Die Spulen des Elektromagneten haben die übliche Wicklung. Aber die in ihnen steckenden Eisenkerne sind durch kein Joch mit einander verbunden. Es treten Kraftlinien an vier Kernenden aus Eisen in Luft. Alle vier tragen Pole. Zwischen je zwei in gleicher Höhe liegenden Kernenden ist, in der Horizontalen drehbar, ein Anker angebracht, also oben einer und unten der zweite. Beide sind durch eine senkrechte Messingstange starr mit einander verbunden, müssen mithin gemeinsam arbeiten. Der obere von beiden Ankern trägt als Zunge einen schmalen Streifen aus dünnem Messingblech, aus gewohntem Grunde mit Platinplättchen belegt. Die Contaktstifte, gegen die er anschlägt, können gemeinschaftlich nach rechts

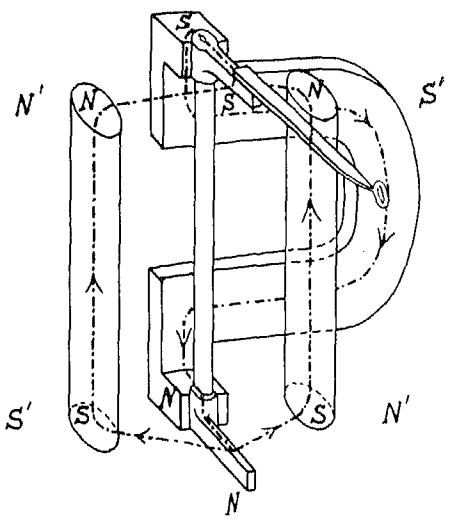


Fig. 187. Kraftlinienverlauf im Relais mit drehbaren Kernen.

Spulen und Polschuhe fortgelassen. Die Dauerkraftlinien geben den Kernen die Polarität NS, die elektromagnetischen zum Beispiel $N'S'$.

[1]) Die Bezeichnung des Relais als das mit drehbaren Kernen trifft kein wesentliches Merkmal und ist deshalb auch wohl durch: neues deutsches Relais ersetzt worden. Es ist übrigens augenscheinlich dem Magnetsystem des (automatischen) Wheatstone-Empfängers nachgebildet.

und links verschoben werden. Die Dauerkraftlinien werden von einem Hufeisenmagneten geliefert, der wie eine an der Wand ein Schattenbild entwerfende Hand in der Vertikalen befestigt ist. (Vgl. Fig. 185 und 187.) Der obere Schenkel trägt den Süd-, der untere den Nordpol. Die Dauerkraftlinien (Fig. 187) gehen nun vom unteren Schenkel des Hufeisens durch den unteren Anker, verzweigen sich nach den beiden unteren Polschuhen der Weicheisen-Kerne, durchlaufen diese nach oben, treten aus ihnen über die oberen Polschuhe aus, vereinigen sich im oberen Anker, gehen gemeinsam zum oberen Schenkel und kehren durch das Hufeisen zum Ausgangspunkt zurück. Von Dauermagnet wegen haben mithin beide Kerne in ihren beiden oberen Polschuhen Nord-, in ihren unteren Südpole (*NS* und *NS* in Fig. 187). Mit den Ankern ist es umgekehrt. Der obere trägt den Süd-, der untere den Nordpol. Nach welchen Polschuhen die Anker hinklappen, ob nach links oder nach rechts, hängt, ähnlich wie beim Siemensschen Relais, von den Abständen, das heisst von der Stellung der Polschuhe und der Anschlagstifte ab. Die vom Telegraphierstrome erzeugten Kraftlinien verlaufen in dem einen — z. B. dem linken — Weicheisen-Kerne in derselben Richtung wie die Dauerkraftlinien, im anderen — dem rechten — entgegengesetzt. Die Pole der beiden linken Polschuhe werden demnach elektromagnetisch verstärkt, die beiden rechten geschwächt. Beim Hughes-Relais konnte der Schwächungsanker den Einfluss des Dauermagneten verändern. Hier kann man diesen durch Drehen der Schraube links hinten (Fig. 185 auf S. 290) von den Ankern entfernen und damit seinen Einfluss ausserordentlich schwächen. So kann es vorkommen, dass die Polarität des rechten Kernes durch die elektromagnetischen Kraftlinien direkt umgekehrt wird, dass also oben ein Süd- und unten ein Nordpol entsteht (*S' N'* in Fig. 187). Je weniger Milliampere der Telegraphierstrom führt, umso mehr wird man den Dauermagneten von den Kernen abdrehen. Das Relais mit drehbaren Kernen ist durch seine ganze Bauart ausserordentlich empfindlich. Besonders tragen dazu bei die Anwendung des Doppelankers, der grosse Unterschied, den man den Abständen der Anker von den rechten und den linken Polschuhen erteilen kann, und die Schwächung des Einflusses des Dauermagneten.

Ausser den besprochenen giebt es noch Relais die Hülle und Fülle und in den mannigfachsten Formen. Bekommen Sie solche in die Hand, wird Sie aber das Gesagte in den Stand gesetzt haben, sie sich selbst zu erklären. Erwähnen könnte ich höchstens noch das Post Office Standard Relais und zeigen ein neues, von Siemens & Halske besonders empfohlenes Relais (Fig. 188).

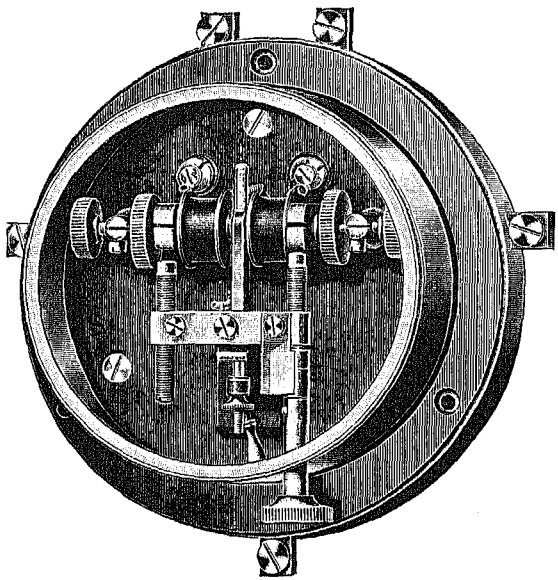


Fig. 188. Neues Relais von Siemens & Halske.

Es bleibt uns nun noch übrig, zu besprechen, dass man mit der Einschaltung des Relais in eine Leitung häufig nicht bis zum Empfangsamte warten kann. Sie ist zu lang, um an ihrem Ende auch nur das Relais zuverlässig arbeiten zu lassen, und wird deshalb in Teile zerlegt und zwar in so viele, als zur sicheren Übertragung notwendig sind. Für England mit seinem feuchten Klima werden etwa 600 km, für Deutschland merkwürdiger Weise weniger als obere Grenze für die Länge dieser Teile angegeben. Die berühmte indoeuropäische Linie London—Berlin—Teheran von etwa 6000 km hat nur fünf Übertragungsämter. Die Übertragung aus einer Leitung in die nächste (Fig. 189) ist die Aufgabe des Relais. Es bildet eine

telegraphische Kuppelung zwischen zwei Nachbarstromkreisen. Linien- und Ortsstromkreis werden zu Linienstromkreis I und II, Linien- und Ortsbatterie zu Linienbatterie I und II, die letztere mit entsprechend grösserer Zellenzahl, als bisher. Zur Über-

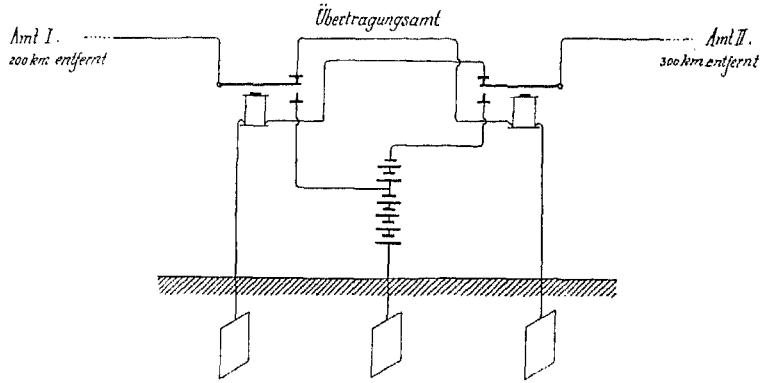


Fig. 189. Übertragung mit zwei Relais.

tragung in beiden Richtungen sind auf dem Übertragungsamte für jede in zwei getrennte Leitung zwei Relais aufgestellt. Auf dem Empfangsamt am Ende der Leitung wird der letzte Linienstrom durch die Rollen eines neuen Relais geschickt, in dessen Ortsstromkreis der empfangende Farbschreiber oder Klopfer eingeschaltet ist. Auf dem Übertragungsamt ist es natürlich sehr viel zweckmässiger, ein Relais arbeiten zu lassen, als das Telegramm mit dem Farbschreiber aufzunehmen und aufs Neue abzutelegraphieren. Die Einschaltung eines Menschen in die Übertragung, sei es auch der zuverlässigste Beamte, zumal wenn es sich um ein Telegramm in einer fremden Sprache oder einem Code handelt, ist stets eine Quelle von Irrtümern, die sich bei mehrmaligem Umtelegraphieren bis zur völligen Unverständlichkeit der Mitteilung häufen können. —

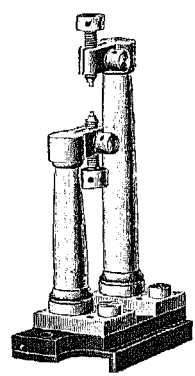


Fig. 190. Isolierte Anschläge am Übertragungs-Farbschreiber.

Will das Übertragungsamt mitlesen und genügen ihm dazu die Klopftöne des Relais

nicht, so kann es auch statt mit Relais mit Farbschreibern übertragen. Diese sind dann gegen die Ihnen bekannte Form etwas abgeändert. Der Bock rechts, der die Anschlagschrauben trägt, ist durch zwei getrennte und gegen die Grundplatte mit Ebonit isolierte Säulen (Fig. 190) ersetzt. Die obere Anschlagschraube ist dadurch zum Ruhe-, die untere zum Arbeitskontakt, der Schreibhebel zugleich Relaishebel (Fig. 191) geworden und deshalb mit einem Sicherheitskontakt versehen. Während er als Schreibhebel schreibt, schliesst er als Relaishebel den Linienstromkreis II. Platin schützt die Kontaktstellen. Das Farbschreibergrundbrett trägt ausser seinen zwei gewöhnlichen Klemmen in diesem Falle noch drei andere, die den sekundären des Relais entsprechen.

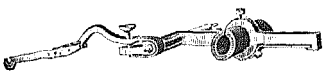


Fig. 191.
Schreibhebel zur Übertragung.

14. Vorlesung.

Die Stromquelle.

Telegraphenelemente. — Mehrere Leitungen an einer Batterie. Einschränkung durch den inneren Widerstand und zwar nicht wegen der gleichmässig verminderten, sondern wegen der schwankenden Klemmenspannung. Kein Durchschnitt. Zahlenbeispiel. Parallele Zellen. Leiterschaltung. — Akkumulatoren. Vorteile. Schutzwiderstand. Ladung aus dem Stadtnetz, mit Motorgeneratoren oder Umformern, mit selbst angetriebenem Generator, mit Telegraphenelementen. — Dynamos ohne Akkumulatoren.

Die Telegraphierströme werden in den meisten Fällen, in Deutschland in alien, aus chemischer Quelle, einer Batterie entnommen. Deren guter Zustand und richtige Bemessung ist natürlich für das Gelingen des Ganzen von der grössten Bedeutung.

Auf allen kleineren Ämtern der Reichspost besteht die Batterie zur Zeit noch aus Telegraphenelementen, die gewöhnlich in besonderen, innen weiss gestrichenen und mit Glasthüren verschlossenen Schränken, wohl gereinigt und in militärisch ausgerichteten Reihen aufgestellt sind (Fig. 192). Jedes Element kommt mit einer Klemme, der positiven aus. In sie ist der in eine der Zinknasen des Nachbarelementes eingegossene Leitungsdraht eingeklemmt. Nur die Zelle am negativen Ende der Batterie trägt zwei Klemmen.

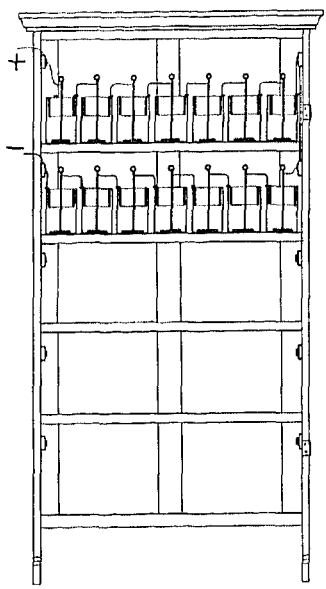


Fig. 192. Elementenschrank.

Nun handelt es sich zunächst um die Frage: Muss jede der von einem Amte ausgehenden verschiedenen Linien mit einer

besonderen Batterie betrieben werden oder darf man mehrere Leitungen parallel an ein und dieselbe Batterie legen? Das darf man allerdings. Aber es scheint notwendig, die einander parallelen Leitungen auch mit der gleichen Zellenzahl zu betreiben. Das wäre nur bei Leitungen nahezu gleichen Widerstandes, das heisst — gleiches Material und gleichen Querschnitt vorausgesetzt — bei Leitungen gleicher Länge möglich (Fig. 193).

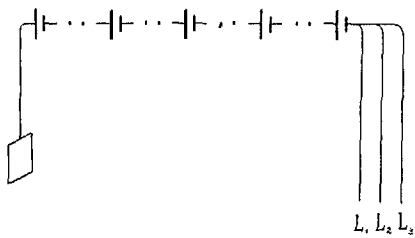


Fig. 193. Mehrere Leitungen gleicher Länge an einer Batterie.

Die Engländer hängen allerdings auch verschieden lange Leitungen parallel an das gleiche Batterieende und fügen den kürzeren passende Ausgleichswiderstände hinzu. Es hindert aber andererseits garnichts, die Leitungen verschiedenen Widerstandes von verschiedenen Punkten der Batterie abzuzweigen und so jede mit der ihr ohne Zuschlagswiderstand zukommenden Zellenzahl zu betreiben (Fig. 194).

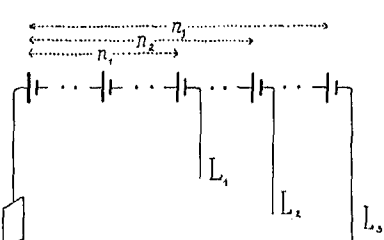


Fig. 194. Mehrere Leitungen verschiedener Länge an einer Batterie.

Die Anzahl der parallel von einer Batterie gespeisten Leitungen wird aber durch den grossen inneren Widerstand der Telegraphenelemente ein-

geschränkt. Die Reichspost erlaubt höchstens fünf Morseleitungen an einer Batterie. Der Grund dieser Einschränkung ist der, dass bei grossem Batteriewiderstande eine vermehrte Stromentnahme die Klemmenspannung der Batterie und damit die Stromstärke in jeder der gespeisten Leitungen herabdrückt. Eine einfache gleichmässig andauernde Abnahme von Klemmenspannung und von Strom pro Leitung hätte zwar nichts auf sich und könnte durch Zugabe einiger weniger Zellen ausgeglichen werden. Störend ist nicht die gleichmässig verminderte, sondern die durch das wechselnde Spiel der Tasten in einem fort regellos veränderte Klemmenspannung. Bald hat sie und damit der Strom in einer betrachteten Leitung den normalen Wert, bald einen wesentlich kleineren. Die Stromstärke in der einen Leitung hängt vollkommen davon ab, ob im Augenblick die Nachbarleitungen reden oder schweigen. Für solchen Strom ist kein Morse und kein Relais einzustellen. Jede Leitung verbittet sich mit Recht, von ihren Nachbarn fortwährend gestört zu werden.

Man möchte hier einwenden, dass mehrere an einer Batterie hängende Leitungen sich deshalb nicht stören, weil Strom auf einem Teile von ihnen und Unterbrechung auf dem anderen sich umschichtig in ihrer Gesamtwirkung ungefähr aufhöben. Von dem Irrigen dieses Einwurfes kann man sich leicht in folgender Weise überzeugen: Man klebe auf ein Kartenblatt parallel zu einander fünf Morsestreifen [1]) auf und ziehe über sie senkrecht im Abstande von der durchschnittlichen Länge eines Punktes parallele Linien. Dann zählt man, auf wie vielen Streifen sich zwischen je zwei solcher Linien Schrift, und auf wie vielen sich keine befindet. Man findet ganz verschiedene Zahlen, durchaus keinen sich ungefähr gleich bleibenden Durchschnitt. Dieses Diagramm (Fig. 195) giebt über eine Strecke von 20 Punktlängen, also etwa $20 \cdot 2 = 40$ mm für jede Punktlänge, die Anzahl der auf fünf Morsestreifen (siehe die Fussnote) gleichzeitig erscheinenden Farbzeichen (Punkte oder Striche) an. Sie

[1]) Statt wirklicher Morsestreifen mag man eine solche Schulzeichnung aus Morsezeichen herstellen, die man unter Berücksichtigung der vorschriftsmässigen Längen mit der Hand auf kariertes Papier schreibt. Einen passenden Text geben Telegrammadressen her.

sehen (Fig. 195, wie ausserordentlich die Zahl der gleichzeitig arbeitenden Leitungen schwankt. Hierbei ist noch vorausgesetzt, dass alle Leitungen wirklich arbeiten und nicht etwa einige von ihnen plötzlich in oder ausser Betrieb gesetzt werden.

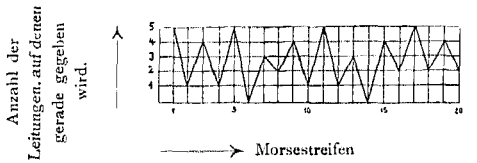


Fig 195. Schwankende Beanspruchung einer Batterie durch gemeinsame Leitungen.

Wollen Sie sich durch ein Zahlenbeispiel über die Grösse der Schwankungen unterrichten, so nehmen Sie eine Leitung an, die mit den eingeschalteten Apparaten 2000 Ohm Widerstand hat. Lassen Sie die Batterie aus 30 Telegraphenelementen mit der Elektromotorischen Kraft $E = 30$ Volt und dem inneren Widerstande $w_i = 150$ Ohm bestehen, so fliesst ein Strom J von $\frac{30}{2000 + 150} = 13{,}9$ Milliampere. Der Spannungsabfall in der Batterie ist bei fliessendem Strome $E - E_k = 13{,}9 \cdot 150 =$ rd. 2 Volt und die Klemmenspannung E_k mithinetwa 28 Volt. Nun betreiben Sie mit derselben Batterie gleichzeitig eine zweite Leitung gleichen Widerstandes (nach Art von Fig. 193 auf S. 298). Das Leitungsvermögen beider zusammen ist doppelt so gross, wie von einer allein, der Widerstand halb so gross: 1000 Ohm. In beiden zusammen fliesst ein Strom von $\frac{30}{1000 + 150} = 0{,}026$, in jeder einzelnen Leitung also 0,013 Amp. Der Spannungsabfall in der Batterie steigt — bei Stromfluss in beiden Leitungen — auf $0{,}026 \cdot 150 = 3{,}9$ Volt an. An Klemmenspannung bleiben dann nur $30 - 3{,}9 =$ rd. 26 Volt übrig. Setzt man diese Rechnung fort, so bekommt man — bei gleichzeitigem Stromfluss in allen Leitungen — für den Strom in jeder Leitung und die Klemmenspannung: bei drei Leitungen 12 Milliampere und 24,6 Volt, bei vieren 11,5 und 23,1, bei fünfen 11 und 21,7. Mit fünf Leitungen ist die vorgeschriebene Grenze erreicht. Rechnet man noch bis zur nicht mehr erlaubten sechsten, so ergeben sich 10 Milliampere und 20,7 Volt. Unser

oft verwandtes Dreieck kann uns auch diese Verhältnisse wieder veranschaulichen (Fig. 196). Wir brauchen nur den Leitungswiderstand W_l durch die wachsende Anzahl der Leitungen — ihr Widerstand ist ja als gleich angenommen — dividieren, um zu sehen, wie die Klemmenspannung E_k und der Strom pro

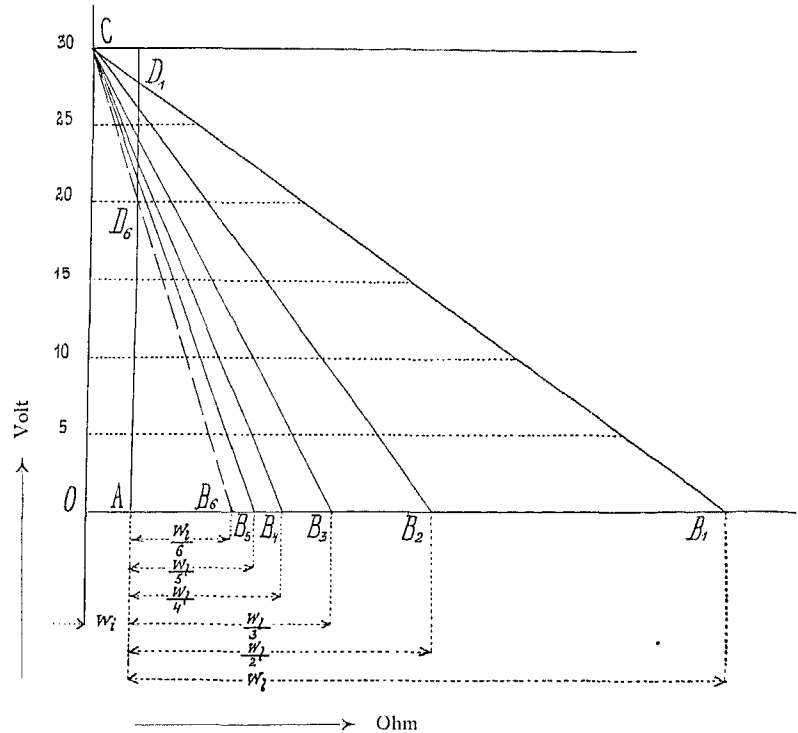


Fig. 196. Abnahme der Klemmenspannung einer Batterie durch Speisung mehrerer paralleler Leitungen vom gleichen Widerstande wl.

Leitung mit zunehmender Leitungsanzahl sinkt. Freilich sind bei uns nicht fünf Leitungen von gleichem Widerstande an eine Batterie angeschlossen. Es ist deshalb nicht der innere Widerstand aller Zellen von allen Teilströmen zu überwinden, und die Klemmenspannungen schwanken nicht um ganz so grosse Beträge, wie angegeben. An der Beschränkung der Anzahl der von einer Batterie zu speisenden Leitungen überhaupt wird dadurch aber nichts geändert.

Als Ursache dieser Beschränkung erkannten Sie den grossen inneren Widerstand der Telegraphenelemente. Ihn unschädlich zu machen, ergiebt sich als einfaches Auskunftsmittel die Hinzufügung paralleler Zellen zur Batterie. Man braucht gar nicht sämtliche Elemente durch zwei parallele ersetzen, sondern das nur bei dem Grundstock der Batterie zu thun, welcher die Hauptanzahl der Leitungen speisen soil. Auch wird nicht verlangt, dass man allen parallelen Zellen die positiven und negativen Klemmen verbindet; sondern es genügt, wenn etwa alle fünf Elemente eine Brücke zwischen beiden Reihen gelegt wird. Der Einfachheit halber seien (in Fig. 197) je fünf hinter einander

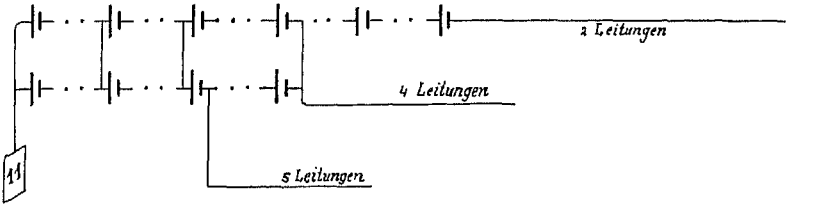


Fig. 197. Verwendung paralleler Zellen in einer Batterie.

geschaltete Elemente durch ein Elementenzeichen dargestellt. Auch hier bleibt die Leitungsanzahl natürlich beschränkt, und gesonderte Batterien für je fünf Leitungen thun denselben Dienst. Es möchte die in Frankreich herrschende Neigung zur Centralisation sein, welche die gemeinschaftliche Batterie bis zu der aus der eben besprochenen hervorgehenden Leiter- oder Pyramidenschaltung ausgebildet hat. Sie sehen diese hier (Fig. 198) mit derselben Abkürzung wie eben gezeichnet. Die Anzahl der einander parallel geschalteten Elemente nimmt durch die ganze Batterie hindurch von ihrem Ende bis zum Anfang leiterförmig zu. Bei jeder Sprosse der Leiter oder Stufe der Pyramide werden die einander parallel liegenden Reihen um eine vermehrt. Je mehr Leitungen eine Zelle speist, in umso mehr parallelen Exemplaren ist sie vorhanden. Je weiter man sich vom Anfang der Batterie entfernt, umso weniger Zellengruppen sind parallel geschaltet, denn umso kleiner wird die Strombeanspruchung. An allen Abzweigpunkten bleibt dadurch die Klemmenspannung so wenig verändert, als nötig. Die Leiterschaltung ist hier (Fig. 198) nur

im Prinzip gezeichnet. So regelmässig wird die Leiter in Wirklichkeit nie ansteigen, weil nicht für jede Entfernungsstufe die gleiche Anzahl von Leitungen, sondern die durch die zufälligen Verkehrsbedürfnisse gegebene abzweigt. Die Besorgnis, das Auftreten eines Fehlers in einer Leiter.geschalteten

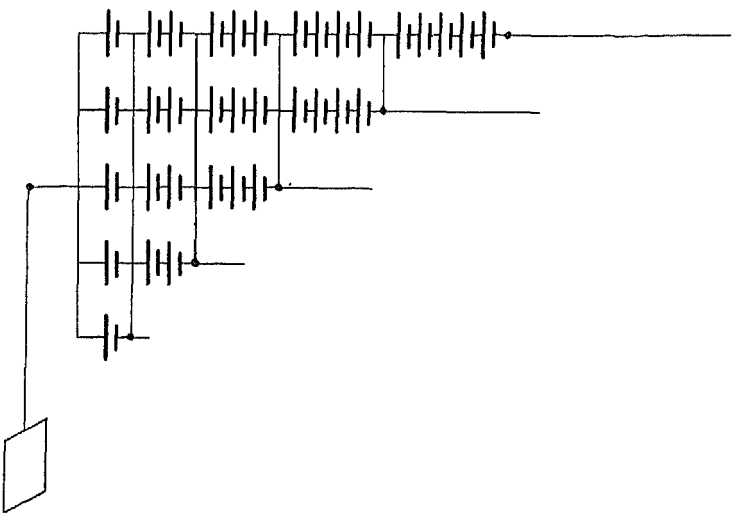


Fig. 198. Batterie in Leiterschaltung.

Batterie wird in Frankreich nicht geteilt. Aber solche Schaltungen kommen doch nur in grösseren Ämtern vor, und für die giebt es glücklicher Weise eine Stromquelle mit kleinem inneren Widerstande, eine moderne Stromquelle, den Akkumulator.

Eine Akkumulatorenbatterie, deren Zellen einen inneren Widerstand von einigen Hundertstel — zum Beispiel 0,03 bis 0,05 — Ohm haben, kann jede verlangte Anzahl von gleichzeitig arbeitenden Telegraphenleitungen speisen, ohne dass die Klemmenspannung merklich unter die Elektromotorische Kraft herabsinkt. Der Unterschied beträgt, wie der innere Widerstand, höchstens ein Prozent von dem bei Verwendung von Telegraphenzellen. Deshalb schrumpfen die ungeheuren Zellenzahlen grosser Ämter mit Einführung von Akkumulatoren auf wenige zusammen, auf umso weniger, als die übrigen während des grössten Teiles der Entladung nahezu unveränderte

Elektromotorische Kraft des Akkumulators fast doppelt so gross, als die des Telegraphenelementes ist. Durch die ausserordentliche Verminderung der Zellenanzahl wird zunächst Platz gewonnen, und bei der Notwendigkeit, grosse Ämter gerade in

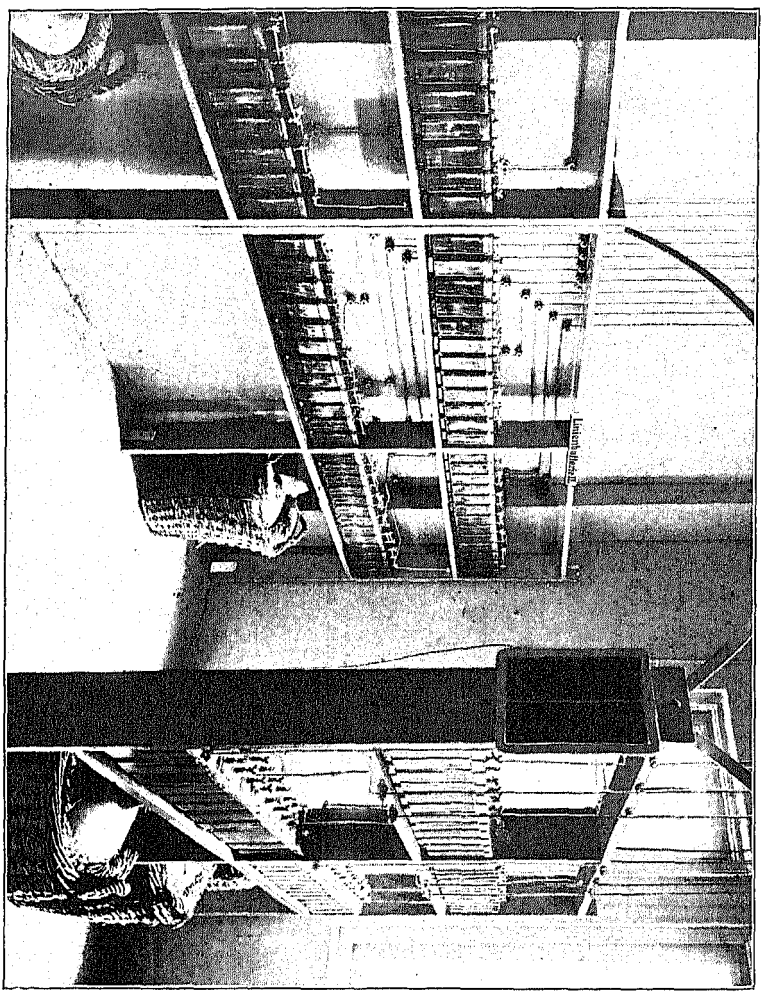


Fig. 199. Akkumulatorenanlage des Telegraphenamtes in Nürnberg.

die begehrtesten Verkehrsmittelpunkte der Grossstädte mit ihren hohen Grundpreisen zu legen, ist Raumersparnis besonders wertvoll. Auch ist Instandhaltung und Übersicht bei einer kleinen und an sich reinlichen Akkumulatorenbatterie sehr

viel leichter als bei einem Heere von Telegraphenelementen. Schliesslich eignen sich die Akkumulatoren ganz besonders zum Betriebe von Leitungen, an denen Ladungserscheinungen auftreten.

Dieses Lichtbild (Fig. 199) giebt die Akkumulatorenanlage eines Telegraphenamtes (Nürnberg) wieder. In einem gesonderten, trockenen Raume — natürlich nicht im Apparatezimmer — ist auf Holzgestellen Zelle neben Zelle aufgestellt, die eine positive Platte der einen immer mit den beiden negativen der nächsten verbunden. Die eine Endklemme liegt an Erde, die andere an den längsten Leitungen. In gewissen Abständen sieht man Abzweigungen die Batterie verlassen, um Leitungen zu speisen, die kürzer sind und deshalb entsprechend kleinere Spannungen verlangen. Die Capacität der Zellen wird zu 13,5 Amperestunden angegeben. Die mit Strohgeflecht umgebenen Glasballons enthalten die zur Nachfüllung notwendige Schwefelsäure. Ein zweites Lichtbild (Fig. 200 auf der folgenden Seite) zeigt Ihnen die Batterie des General Post Office in London mit ihren grossen, von der Electrical Power Storage Co. gelieferten Zellen.[1])

Sie wissen, dass plötzliche Entladungen grösserer als vorschriftsmässiger Ströme wegen der durch sie bewirkten rücksichtslosen chemischen Veränderung der Platten den Akkumulatoren erheblich schaden. Erhält deshalb eine von ihnen gespeiste Telegraphenleitung durch einen Unfall Erdschluss und liegt dieser dem Ausgangsamt nahe, so wäre der die Leitung speisende Teil der Batterie nahezu durch Erde kurzgeschlossen.[2]) Dies zu vermeiden, liegt in der, allen Zellen der Batterie gemeinsamen Erdleitung ein Schutzwiderstand von solcher Grösse, dass auch bei sonstigem Kurzschluss nicht mehr als zum Beispiel ein Ampere entladen wird. Der Schutzwiderstand müsste demnach immer soviel Ohm enthalten, als Volt die betreffende Leitung speisen, bei 40 Volt 40 Ohm. Er ist natürlich bei Bemessung der Zellenzahl dem Widerstand von Leitung und Apparaten hinzuzufügen. Um einen Erdschluss sofort zu erkennen, kann

[1]) Die Capacität der einzukaufenden Zellen wird natürlich unter reichlicher Rechnung der zu entnehmenden Elektricitätsmenge angepasst und die Reihe der Bedienungsvorschriften befolgt, damit die Batterie nicht etwa in eine so traurige Verfassung gerät, wie die auf dem Wiener Haupttelegraphenamt.

[2]) Ähnlich wäre es beim Kabelbetriebe.

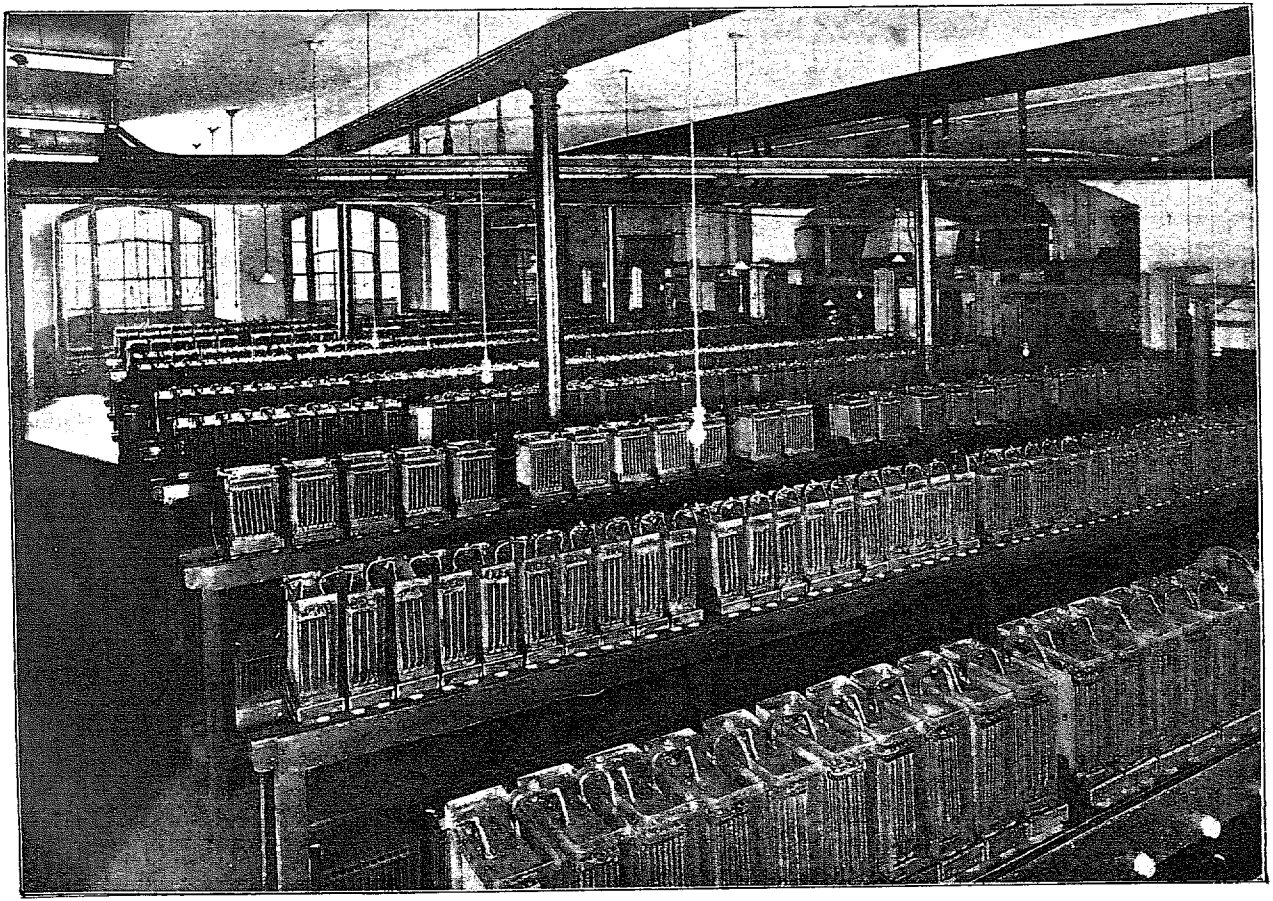


Fig. 200. Akkumulatorenbatterie des General Post Office in London.

man in die Erdleitungen über ein im Nebenschluss liegendes Relais, das gerade bei einem Ampere anspricht, einen Wecker schalten. Schutzwiderstand und Wecker können auch durch eine Glühlampe ersetzt werden, der man zur Reserve eine zweite, aber gewöhnlich ausgeschaltete, parallel legt. Die Glühlampen, die übrigens seiner Zeit auf einer Abbildung des Nürnberger Amtes (Fig. 171 auf S. 271) neben den Linienwählern sichtbar waren, wirken erstens als Schutzwiderstand. Da der schwache Telegraphierstrom den Lampenfaden natürlich nicht ins Glühen versetzt, geben sie zweitens durch ihr Aufleuchten den Eintritt eines Erdschlusses an. Weil nicht die gemeinsame Erdleitung, sondern jede einzelne Leitung eine Glühlampe trägt, ist auch sofort die Nummer der unterwegs an Erde liegenden Leitung zu erkennen. Die gewöhnlichen Elemente bedürfen natürlich keines äusseren Schutzwiderstandes. Ihr eigener innerer Widerstand macht einen gefährlichen Kurzschluss unmöglich.

Die einzige Unbequemlichkeit, welche die Akkumulatoren im Betriebe haben, ist in ihrem Wesen begründet: Sie müssen in gewissen Zwischenräumen geladen werden. Aber jetzt giebt es in jeder grösseren Stadt und auch in vielen kleinen und ganz kleinen Orten ein Elektricitätswerk, dessen Kabelnetz die Strassen durchzieht. Das Telegraphenamt entnimmt ihm elektrische Energie für seine Beleuchtung. Nichts ist einfacher, als das auch für die Akkumulatorenbatterie zu thun. Mit Hilfe passender Schaltungen und Widerstände wird die Batterie je nach Capacität und Beanspruchung allwöchentlich oder öfter und je nach ihrer und der zur Verfügung stehenden Netzspannung ganz oder in Teilen geladen. Die dem Elektricitätswerk dafür zu zahlende Entschädigung ist winzig und fällt im Haushalte des Amtes fort. Unter Betriebsstörungen des Werkes wird das Telegraphenamt nicht leiden. Solche sind zwar nie ganz zu vermeiden, aber, wenn entstanden, immer bald wieder gehoben. Nun verbietet schon die Rücksicht auf die Akkumulatoren, sie erst zu laden, wenn sie völlig erschöpft sind. Sollte deshalb ein unglücklicher Zufall die Betriebsstörung gerade zur Zeit der beabsichtigten Ladung eintreten lassen — ein gewiss seltener Fall — so wird man den telegraphischen Betrieb ohne Ladung ruhig noch einige Zeit fortsetzen können und erst laden brauchen, wenn wieder Starkstrom zu haben

ist. Die Möglichkeit, mit unter Störung des Kraftwerkes oder der Batterie selbst zu leiden, wird ferner dadurch ganz ausgeschlossen, dass man eine Reservebatterie[1]) aufstellt. Eine der beiden Batterien wird dann geladen, während die andere die Leitungen speist. Drei Batterien sind natürlich noch besser. Eine versorgt dann den Betrieb, die zweite wird geladen und die dritte steht in Reserve und kann jeden Augenblick als Ersatz einspringen. Einen solchen Aufwand mag man sich bei dem billigen Preise der kleinen Zellen gern erlauben. Will man durchaus sparen, so genügt es schliesslich auch, wenn ein Teil der Batterie nochmal als Reserve vorhanden ist. Diese Zellen werden geladen und dann als Teil in die Batterie eingeschaltet, wodurch ein anderer Teil der Zellen zum Laden frei wird. Dadurch werden aber unnütz verwickelte Umschaltvorrichtungen notwendig, die die Betriebssicherheit vermindern und Geld kosten, das man besser zur Beschaffung von mehr Zellen verwendet.

In Orten, deren Netz statt Gleichstrom ein- oder mehrphasigen Wechselstrom führt — das erstere ist zum Beispiel in Nürnberg der Fall — kann man die Batterie nicht mit dem Netzstrom laden. Wenigstens bis jetzt giebt es kein brauchbares Mittel, um die Energie des fortwährend seine Richtung ändernden Wechselstromes im Akkumulator in chemischer Form festzuhalten. Bei Wechselstromnetzen ist man gezwungen, indirekt: mit Hilfe eines Motorgenerators oder eines Umformers zu laden. Ein Motorgenerator ist ein mit einander gekuppeltes Maschinenpaar. Die eine von beiden verwandelt als Motor die elektrische Energie der vorhandenen Form in mechanische, die zweite als Generator diese mechanische in elektrische Energie der gewünschten Form. So wird zum Beispiel durch den Motorgenerator der Wechselstrom eines Netzes in Gleichstrom zum Laden von Akkumulatoren verwandelt. Hier (Fig. 201) sind zwei zu der vorhin gezeigten Nürnberger Batterie gehörige

[1]) Die Batterie kann aus einem Stadtnetz schon deshalb nicht während ihres Betriebes geladen werden, weil mit der einen — sagen wir mit der positiven — Klemme der Batterie gemeinsam auch die des ladenden Netzes an Erde gelegt werden müsste. Hätte dann irgend wo in der Stadt eine von dessen negativen Leitungen Erdschluss, so wäre das ganze Netz durch Erde kurzgeschlossen. — Auch bei den anderen Methoden wird man nicht ohne Not während des Betriebes laden.

Maschinensätze abgebildet. Je ein mit einphasigem Wechselstrom angetriebener Motor von zwei Pferdestärken ist mit einem Gleichstromgenerator gekuppelt. Zwei von ihnen sind so gewickelt, dass sie dafür 11 Ampere von etwa 125 Volt, die anderen zwei so, dass sie 80 Ampere von 10 Volt liefern können. Der 125 Volt gespannte Strom ladet die Ihnen bekannte, in drei Exemplaren vorhandene Linienbatterie, der 10 Volt gespannte die Ortsbatterien von geringer Zellenzahl,

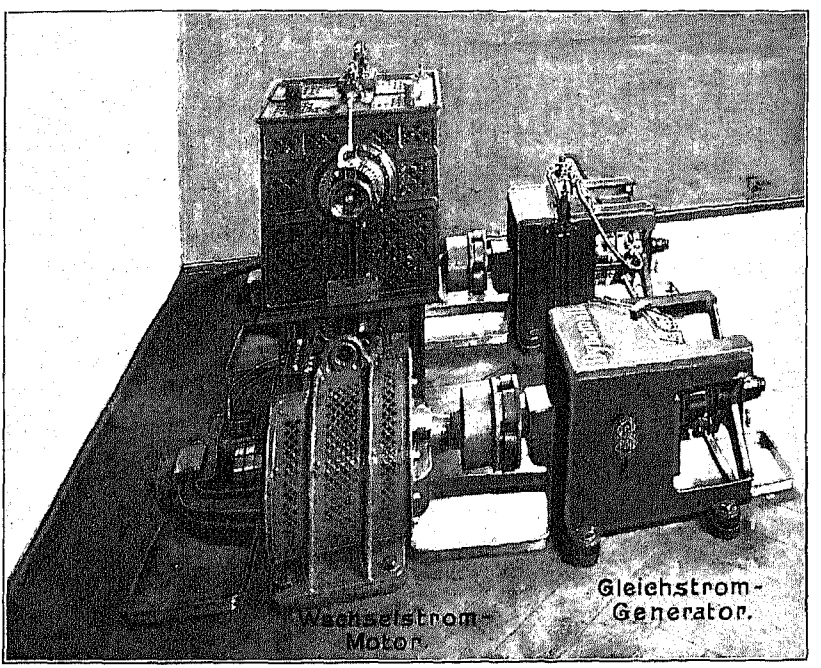


Fig. 201. Motorgeneratoren zur Akkumulatoren-Ladung.

aber grösserer Capacität. Aus dem Motorgenerator wird ein Umformer, wenn seine beiden Maschinen innerlich vereinigt sind. Auf einer Seite wird Wechselstrom in die rotierende Maschine eingeleitet, auf der anderen Seite ihr Gleichstrom entnommen. An sich ist ein Umformer billiger, als ein Motorgenerator-Satz, und nimmt weniger Platz ein. Aber so kleine Umformer, wie sie die Telegraphie braucht, sind keine gangbare

Ware. Lässt man sie eigens anfertigen, so werden sie viel teurer als die kleinen, den Markt überschwemmenden Motoren, von denen man je einen Wechsel- und Gleichstrommotor zu einem Motorgenerator zusammenkuppelt. Auf die Maschinen selbst darf hier natürlich nicht eingegangen werden. Wer Belehrung darüber sucht, kann sie an anderer Stelle finden.

Will sich das Amt vom Elektricitätswerk ganz unabhängig machen, so kann es selbst einen Generator aufstellen und ihn zweckmässig mit einem Gasmotor antreiben, wenn es nicht schon zur Erzeugung des Lichtes eine eigene Maschinenanlage hat. Es wird das aber in der Regel nicht lohnen. Denn die Menge der telegraphisch gebrauchten elektrischen Energie ist zu gering, selbst wenn die für den Antrieb von Hughesmotoren hinzukommt. Man wird selten den Platz für eine Maschinenanlage opfern, noch die Kosten für Löhne und Putz- und Schmiermittel tragen, noch ein Kapital verzinsen und tilgen wollen. Allerdings sind besonders bei den jetzt gedrückten Preisen diese Ausgaben klein genug im Vergleiche zu denen für Gehälter von Beamten und der in Gebäuden, Apparaten und Leitungen steckenden. Summen. Manchmal wird sich die Maschinenanlage an die der Reparaturwerkstatt für die Apparate angliedern lassen. Im Allgemeinen wird man aber aus dem Stadtnetz laden und eine besondere Maschinenstation nur dann aufstellen brauchen, wenn das Stadtnetz Wechselstrom führt.

Verwunderlich bleibt hingegen die viel angegriffene und viel verteidigte Methode, Akkumulatoren mit Telegraphenelementen zu laden. Sie scheint für ein kleines Schullaboratorium, dass kein Geld zum Anschluss an das Stadtnetz hat, ganz passend. Aber in einem mit Gleichstrom beleuchteten Amte die altfränkischen Elemente eine Akkumulatorenbatterie laden zu sehen, mutet merkwürdig an. Die Elemente sind zwar vorhanden und verursachen keine Anschaffungskosten. Auch das Laden ist einfach und, wenn durchaus nötig, während des Betriebes möglich. Aber die Zellen müssen in Stand gehalten werden und, da man für jeden Akkumulator mehr als zwei davon braucht, so nehmen sie Platz fort. Wenn nicht aus Gründen der Gleichmässigkeit, sollte man diese Lademethode nur den Ämtern in den immer seltener werdenden Orten vorbehalten, wo kein Strom zu haben ist. In denen — vielleicht

mit Ausnahme von Kabelübertragungsämtern — wird man aber vermutlich keine Akkumulatoren brauchen, sondern mit Telegraphenelementen auskommen.

Als telegraphische Stromquelle benutzt man besonders in den Vereinigten Staaten Dynamomaschinen auch direkt ohne Zwischenschaltung von Akkumulatoren. Dort wird mit grösseren Strömen telegraphiert, als bei uns, und Energie ist an manchen Stellen des Landes im Überfluss vorhanden. Das ist das einzige, was nicht unbedingt gegen diese Betriebsart zu sprechen scheint. Die Amerikaner sind aber hervorragende Techniker und sollten ihre Gründe haben, selbst wenn diese von hier aus nicht zu übersehen sind. Vielleicht ist auch nur die behauptete spätere Entwicklung der dortigen Akkumulatorenindustrie daran Schuld. Lästig genug muss es jedenfalls sein, die Maschinen während der ganzen Dauer des Betriebes laufen zu lassen. Die Betriebssicherheit hängt natürlich vollständig von dem guten Zustand der antreibenden Dampf- oder Gasmaschine, bei Riemenübertragung von dem des Riemens ab. Die Spannung ist schwer genau zu halten, und für die verschiedenen Betriebsspannungen braucht man gleichzeitig eine ganze Reihe von Generatoren. Es sind Anlagen mit vier oder gar mit acht Generatoren — der Sicherheit wegen jeder in zwei Exemplaren — beschrieben. Trotzdem ist man mit der Spannungsauswahl viel schlechter daran, als bei einer Batterie, die von zwei zu zwei Volt jede beliebige Spannung hergiebt. Wieder ist man auf die lästigen Ausgleichswiderstände angewiesen, alles Übelstände, die samt und sonders beim Akkumulatorenbetrieb unbekannt sind. Der Akkumulator bleibt die ideale telegraphische Stromquelle.

15. Vorlesung.

Morsebetrieb.

Verzinkter Eisendraht verschiedener Stärke als Telegraphenleitung, Porzellandoppelglocke als Isolator. — Telegraphenämter. — Zweiteilung des Morsebetriebes in den mit Arbeits- und den mit Ruhestrom. — Der Arbeitsstrom. Die Batterie und ihre Bemessung. Ihr Materialverbrauch. — Der Ruhestrom. Ämterkreis. Nur mit Ruhestrom möglich. Isolationsfehler verlangen Verteilung der Batterie. Stromschwächung, nicht -unterbrechung. Schaltregel. Trennamt. Ruhecontakt platiniert. — Zusammenfassung. — Amerikanischer Ruhestrom. —
Die wichtigsten Schaltungen für Arbeits- und Ruhestrom.

Ehe wir in die Besprechung des Morsebetriebes eintreten, erinnern wir uns, dass zwar von Farbschreiber und Klopfer, von Taste, Hilfsapparaten und Stromquelle die Rede war, aber noch nicht von deren wichtigem Verbindungsglied: der Leitung. Natürlich interessiert sie uns hier nur als Teil des elektrischen Stromkreises, denn es kann nicht der Zweck dieser Vorlesungen sein, sich etwa mit den Einzelheiten des Leitungsbaus abzugeben. Überdies wird auch die Leitung später, sobald wir uns um den Einfluss ihrer Capacität auf die telegraphischen Vorgänge kümmern, noch reichlichen Stoff zur Besprechung liefern.

Zunächst sei nur erwähnt, dass die oberirdischen Telegraphenleitungen aus Eisen bestehen. Eisen vereinigt mit genügender Leitfähigkeit grosse Festigkeit und billigen Preis. Seine unangenehme Eigenschaft, an der Luft zu rosten, wird ihm durch einen Zinküberzug genommen, den man auf den rein gebeizten Draht aufbringt, indem man ihn durch geschmolzenes Zink hindurchzieht. Für verschiedenartige Linien wird der verzinkte Eisendraht in verschiedenen Stärken angewandt und so der Widerstand, den die grössere Entfernung vermehrt, durch grösseren Querschnitt wieder möglichst herabgedrückt. Die Leitungen für den ausländischen und grossen inländischen Verkehr erhalten sechs oder fünf Millimeter, die übrigen Hauptleitungen vier, die Nebenleitungen — und die s. g. leichte Leitung — nur drei

Millimeter Durchmesser. Rechnen Sie den spezifischen Widerstand des Leitungsdrahtes zu etwa 0,13, so ergeben sich als Widerstände je eines Kilometers der vier Drahtstärken 4,6, 6,7, 10,7, 18,6 Ohm.

Als Isolator dient die bekannte Porzellandoppelglocke, von der Sie hier (Fig. 202) ein Muster im Schnitt gezeichnet sehen.

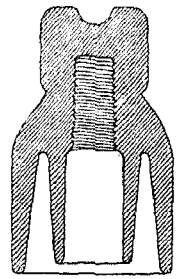


Fig. 202. Porzellandoppelglocke.

Ebenfalls wenige Worte sind allgemein über die Telegraphenämter zu sagen. Je nach dem die Linien in ihnen zu Ende sind oder weiter gehen, scheidet man sie in End- oder Zwischenämter, gerade wie die Bahnhöfe in Kopf- und Durchgangsstationen. Die Scheidung ist nicht scharf durchzuführen, denn in vielen, besonders in grossen Ämtern, wird ein Teil der Linien enden, ein anderer nicht. Man spricht dann zweckmässig von dem einzelnen Apparatsystem als von einer End- oder einer Zwischenstelle. Eine besondere Art der Zwischenstelle nennt sich Trennstelle. In ihr kann eine Linie in zwei getrennt werden. Statt eines grösseren telegraphischen Kreises entstehen dadurch zwei kleinere. Je nach Bedürfnis verkehren die beiden äusseren Endstellen miteinander oder beide getrennt mit der Trennstelle, aus der damit vorübergehend — Januskopfartig — eine zwiefache Endstelle geworden ist.

Der Morsebetrieb, zu dessen Besprechung wir nun übergehen, kann, wie Sie wissen, auf zweierlei Art geführt werden: mit Arbeits- oder mit Ruhestrom.

Hier (Fig. 203 auf der folgenden Seite) ist wieder das Schema eines durch Arbeitsstrom verkehrenden Ämterpaares. Noch einmal sei es gesagt, dass beim Betriebe mit Arbeitsstrom die Arbeit des Beamten, der Tastendruck den Strom fliessen macht, mit ihm zeitlich zusammenfällt. Die gebende Hand schliesst für die Dauer von Punkt oder Strich den Arbeitscontakt der Taste und damit den über Leitung, Empfangsapparat und Erde führenden Stromkreis. Der Morseanker wird elektromagnetisch gesenkt. Der Klopferhebel giebt den Klopfton des unteren Aufschlages. Das Farbrad des für Arbeitsstrom eingestellten Schreibhebels schreibt. Ist, wie

meistens, ein Relais eingeschaltet, so benimmt sich dessen Anker wie eben vom Morseanker beschrieben. Gewöhnlich — bei Entfernungen unter 500 Kilometer — wird die negative Batterieklemme[1]) über den Arbeitscontakt der Taste an die Leitung, die positive an Erde gelegt. Es liegt deshalb bei der Besprechung von Schaltungen oft nahe, den Lauf des negativen Stromes - - -

fünf Ohm angenommen — notwendig ist. Denn dann ist die fliessende Stromstärke ungefähr $\frac{1}{70 + 5} = 13{,}3 \cdot 10^{-3}$ Ampere. Die erhaltene Zahl wird nach oben auf die nächste durch zehn teilbare abgerundet. Unter zwanzig Zellen sind für Linienbatterien nicht im Gebrauch, denn der Widerstand von einem Satz Farbschreiber, Galvanoskop, Taste, Zimmerleitung, Erdplatten macht schon ohne jede Freileitung mehr als 600 Ohm aus. Bei Verwendung von Akkumulatoren braucht man natürlich nur halb so viel Zellen.

Die Menge in den Zellen nützlich verbrauchten Zinks oder unwirksam gewordener aktiver Substanz ist beim Betrieb mit Arbeitsstrom der Gesamtlänge der beförderten Morsezeichen genau, dieser kleine Teil der Ausgabe also mithin der Einnahme so gut wie proportional. Aber Sie wissen, dass der nützliche Materialverbrauch in der Telegraphenzelle nur einen kleinen Teil des wirklichen bildet. Ob man sie Strom liefern lässt oder nicht, macht keinen so sehr grossen Kostenunterschied. Sollte es deshalb Vorteil bringen, mit Ruhestrom zu telegraphieren, so wird der Mehrverbrauch an galvanischem Material kein ernster Hinderungsgrund sein.

In der That haften dem Betriebe mit Arbeitsstrome einige Unvollkommenheiten an; werden doch im Wesentlichen beim Geben mit Arbeitsstrom jedes Mal nur zwei Ämter mit einander telegraphisch verbunden. Auf jedem von beiden Ämtern ist deshalb eine, wie eben gezeigt, für die zwischen ihnen liegende Entfernung abgeglichene Batterie notwendig. An dieser Thatsache wird auch dadurch nichts geändert, dass verschiedene Leitungen von zum Teil denselben Zellen gespeist werden. Jede Leitung verlangt für sich ihre bestimmte Zellenzahl oder, wenn diese, die Schaltung nicht zu ändern, überschritten ist, die Einschaltung eines bestimmten Ausgleichswiderstandes.

Der lästigen Notwendigkeit, auf jedem Amt für jedes andere, mit dem telegraphiert wird, eine besondere Zellenzahl vorrätig zu halten, ist man sofort überhoben, sobald es gelingt, eine ganze Reihe von Ämtern in einen einzigen Stromkreis zu legen. Die Zellenzahl der Batterie müsste dann freilich ausreichen, durch den ganzen Kreis den verlangten Strom zu treiben. Es würden dann nicht nur jedes Mal zwei Ämter mit

einander, sondern alle der ganzen Reihe mit allen verkehren können. Das geht, wenn es eben gelingt, mit der Batterie Tasten und Farbschreiber einer ganzen Reihe von n Ämtern in einen einzigen Stromkreis zu legen. Hier versagt der Arbeitsstrom. Denn ein auf sämtlichen n hinter einander geschalteten Ämtern durch den Arbeitscontakt der Taste unterbrochener Stromkreis wird nicht geschlossen, wenn ein Contakt sich schliesst. Es bleiben eben alle anderen $n-1$ Contakte offen. Wird aber die Schaltung so eingerichtet, dass in den Betriebspausen durch den ganzen Ämterkreis Strom fliesst, so braucht nur die Taste eines Amtes zu unterbrechen, damit auf den übrigen $n-1$ Ämtern, also auch auf dem gewünschten, der Strom ausbleibe. Ein durch eine Reihe von Ämtern fliessender Strom kann wohl auf jedem von ihnen unterbrochen werden. Man kann aber nicht einen auf jedem Amt der Reihe unterbrochenen Strom durch Schliessen der Taste eines einzigen Amtes fliessen machen. Diese Thatsache muss wohl zu einfach und selbstverständlich sein, als dass man sie in der an Umfang reichen telegraphischen Litteratur besonders bemerkt fände. Ich behaupte aber, in ihr liegt der Witz des Ruhestromes.

Bei der Wichtigkeit des Gegenstandes darf ebenfalls wiederholt werden, dass der Ruhestrom bei ruhendem Betriebe und während der Zwischenräume von Punkten und Strichen fliesst und vom Tastendruck des gebenden Beamten — nehmen wir vorläufig an: vollständig — unterbrochen wird. Dadurch sinkt das H der Farbschreiberspulen auf Null, das B ihrer Eisenkerne auf den Wert der Remanenz herab. Der noch auf den Anker ausgeübte elektromagnetische Zug vermag dem ihm entgegenwirkenden der Feder nicht mehr Stand zu halten. Der Anker schnellt nach oben. Das Farbrad des auf Ruhestrom eingestellten Hebels schreibt.

Die letzte Ursache der Einführung des Ruhestromes erkannten Sie in dem Bedürfnis nach einer Batterieschaltung, welche beim Geben nach einer Anzahl verschiedener Ämter keine Veränderung verlangte. Als Lösung der Aufgabe ergab sich ein einziger Stromkreis für eine ganze Ämterreihe und sein Betrieb mit Ruhestrom. Der Arbeitsstrom mit seinem besonderen Stromkreis für jedes Ämterpaar betreibt verkehrsreiche Morselinien, und das, wenn notwendig, mit Klopfern. Er gleicht dem

Schnellzuge, der wichtige von vielen Reisenden besuchte Städte unmittelbar miteinander verbindet und an den kleineren am Wege liegenden Orten vorbeifährt. Der Ruhestrom dient dem Kleinverkehr einer grösseren Zahl nahe gelegener Orte. Dem langsamen Zuge[1]), dem train omnibus der Franzosen, ähnlich, speist er die s. g. Omnibusleitungen. Für ihn reicht auch die Aufnahmegeschwindigkeit des Farbschreibers aus. Dass der Ruhestrom für wichtige oder auch nur zu gewissen Stunden lebhaft telegraphierende Orte ausgeschlossen sein muss, leuchtet sofort ein. Denn solange ein einziges Amt im Ruhestromkreise giebt, können die anderen dessen Nachricht wohl aufnehmen, sind aber selbst zum Schweigen verurteilt. Sie geben natürlich nur Acht und lassen ihren Papierstreifen nur laufen, wenn der klappernde Schreibhebel das wohlbekannte Zeichen ihres abgekürzten Ortsnamens ruft. Besonders wird sich auch der Ruhestrom eignen, um gleichlautende Mitteilungen an eine ganze Ämterreihe zu übermitteln, wie sie, um nur ein wichtiges Beispiel zu nennen, in der Eisenbahntelegraphie notwendig sind.

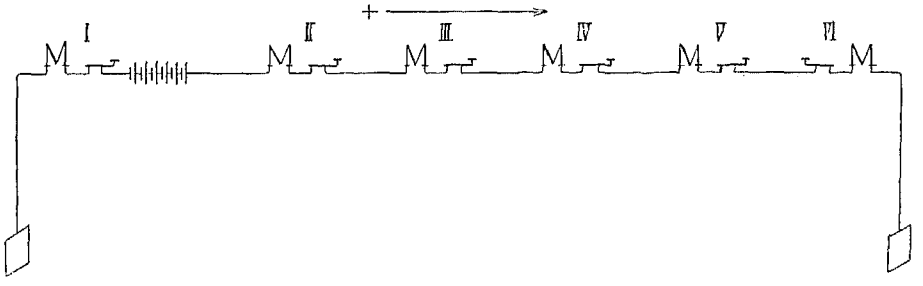


Fig. 204. Ruhestromschaltung.
Durch die Vereinigung der Batterie auf I unverwendbar.

Auf welchem Amte des Ruhestromkreises soll nun die Batterie aufgestellt werden? Man möchte meinen, auf jedem, das man aus irgend einem Nebengrunde bevorzugt, also etwa auf einem der beiden Endämter, so dass diese Schaltung (Fig. 204)

[1]) Der Vergleich mit der Eisenbahn stimmt etwas besser, wenn beide Arten von Zügen auf getrennten Gleisen fahren, etwa so, wie es für den elektrischen Schnellverkehr der Zukunft notwendig sein wird, oder wie zum Teil im Berliner Vorort- und Fernverkehr.

zu Stande käme, in der Amt I die Batterie erhalten hat. Diese Anordnung ist aber wegen der unvermeidlichen Isolationsfehler der Leitung in Wirklichkeit nicht zu brauchen. Bei der Einführung des Relais wurde des Längeren besprochen, dass an jeder Porzellanglocke über die Telegraphenstange ein kleiner Zweigstrom zur Erde führt. Jeder der Aufhängungspunkte der ganzen Telegraphenleitung thut dasselbe, wie auf den beiden Endämtern der Ruhestromreihe die Taste. Jeder schliesst den Stromkreis zur Erde. Allerdings thut er es nur im Kleinen, über einen sehr grossen Widerstand. Aber Stange auf Stange fliesst ein neuer Schmarotzerstrom zur Erde, und die Gesamtheit der Ströme schwillt schon zwischen zwei Ämtern zu — telegraphisch gesprochen — beträchtlicher Grösse an. Lassen Sie uns sehen, wie der Schmarotzerstrom die vorgeschlagene Batterieanordnung (Fig. 204) unmöglich macht. Auf Amt II werde die Taste gesenkt. Dann wird auf dem zwischen ihm und Amt I liegenden Stück der Leitung zwar der Hauptteil des Ruhestromes unterbrochen, aber nicht der ganze. Denn trotz des Tastendruckes in II behalten sämtliche Porzellanglocken der Strecke I/II ihren Erdschluss bei. Die Stangenzweigströme dieser Strecke fliessen in ihrer Gesamtheit durch die Farbschreiberspulen von I. Doch sind sie normaler Weise nicht mehr stark genug, den Anker gegen den Zug der Feder angezogen zu halten, und der Hebel schreibt noch zur Zufriedenheit. Senkt nun statt des Amtes II erst Amt III seine Taste, so wird die Zahl der Ableitungsströme und die Grösse des schädlichen Stromes verdoppelt, wenn man zur Vereinfachung die Ämter von einander gleich weit entfernt annimmt. Je weiter das gebende von dem Batterieamt entfernt ist, einen umso grösseren Anteil an dem Ruhestrome erlangt die Gesamtheit der Stangenströme, zumal bei Nebel und Regen. Die Entfernung ist bald erreicht, bei der das Arbeiten der Taste auf dem gebenden Amte den Anker auf dem empfangenden nicht mehr genügend beeinflusst. Er bleibt ruhig angezogen oder wird höchstens träge und unzuverlässig abgerissen. Daraus folgt zweierlei: für den Betrieb, dass der Ruhestrom nur für verhältnismässig kurze Leitungen geeignet ist, und für das Verständnis, dass der Ruhe- im Gegensatz zum Arbeitsstrombetrieb nicht, wie bisher angenommen wurde, mit einem umschichtigen

Wechsel von Stromschlüssen und -unterbrechungen, sondern thatsächlich mit Stromdifferenzen arbeitet. Die Morsezeichen kommen nicht bei wirklicher Stromunterbrechung, bei $J = 0$, sondern nur bei einem gegen den der Ruhe erheblich geschwächten Strom.

Diese Stromdifferenzen unter allen Umständen genügend gross zu machen, muss unsere Ruhestromschaltung abgeändert werden. Dazu dient der einfache Kunstgriff, die Zellen der Batterie nicht gemeinsam auf einem Amte aufzustellen, sondern über die ganze Ämterreihe zu verteilen. Sie wird in so viele Teile zerlegt, als Ämter zum Ruhestromkreis vereinigt werden sollen. Jedes Amt erhält seinen Batterieanteil (Fig. 205) und

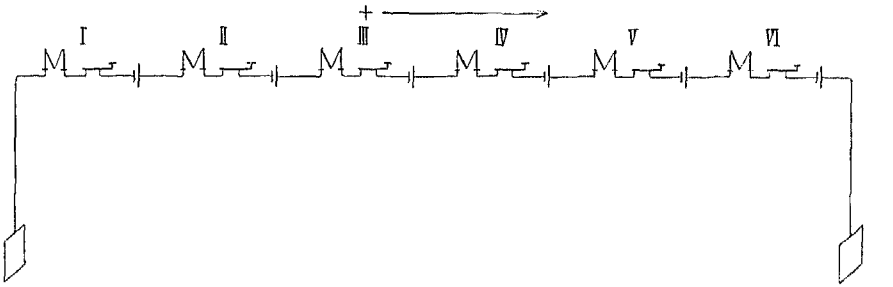


Fig. 205. Ruhestromschaltung. Batterie auf die ganze Ämterreihe verteilt.

trägt mit zur Lieferung des gesamten Stromes bei. Durch die Batterieverteilung verlieren die Isolationsfehler ihren Einfluss auf die Wirkungen der gebenden Taste, wie folgendes Beispiel zeigt. Amt V gebe nach I. Von den Zellen auf V und VI kommt dann sicherlich keine Spur eines Stromes nach I. Aber auch die Teilbatterien II, III und IV geben einen kleineren Nebenschlussstrom her, als wenn sie auf I vereinigt wären. Denn Batterieteil IV hat schädlichen Erdschluss nur auf der Strecke IV/V, III nur auf III V, II nur auf II/V. Die Zweckmässigkeit der Batterieverteilung leuchtet schon hieraus ein. Die Vorschrift ist, jedem Endamt zehn Zellen zu geben und die übrigen auf die anderen Ämter ungefähr nach deren Entfernung zu verteilen. Kleinere Ämter können auch zur Not ganz ohne Batterie bleiben. Die für sie bestimmten Zellen gehen an die Nachbarämter. Das kann auf dem Lande von Vorteil sein,

dort, wo der geringe Verkehr die Anstellung eines vollständig ausgebildeten Beamten nicht lohnt und der Telegraphendienst nur im Nebenamt versehen wird. Denn eine Batterie verlangt sorgsame Bedienung. Ähnliches gilt auch von provisorischen Ämtern, zum Beispiel im Felde. Doch wird in diesen Fällen die Verwendung des Fernsprechers immer allgemeiner.

Besonders ist natürlich darauf zu achten, dass die einzelnen Teilbatterien einer Ruhestromleitung richtig hintereinander geschaltet werden, damit sie sich in ihrer Wirkung unterstützen und nicht etwa teilweise aufheben. Die Befolgung einer sehr zweckmässigen amtlichen Regel schliesst falsche Schaltung aus: Auf dem westlichen Endamt wird die positive-, die Kupferklemme der Teilbatterie, auf dem östlichen Endamt die negative-, die Zinkklemme an Erde gelegt. Auf den Zwischenämtern bekommt die nach dem Westamt führende Leitung die positive Klemme, die nach dem Ostamt führende die negative. Von der Entfernung der Ämter in der Nordsüdrichtung abgesehen, bewegt sich dann der Ruhestrom in der Oberleitung, über Tag, von Osten nach Westen, ebenso wie scheinbar die Sonne. In der Erde können Sie sich Strom von Westen nach Osten, in der Richtung der Erddrehung, zurückfliessend vorstellen.

Hier (Fig. 206) ist als Beispiel die Ruhestromlinie aufgezeichnet, die von Fulda über Meiningen nach Gotha und Erfurt führt. Im Ganzen sind, wie Sie zählen, sechzehn Ämter zu dem einen Ruhestromkreise vereinigt. Das ist eine ziemlich grosse Zahl. Gewöhnlich soll man nicht über zehn hinausgehen. Dafür ist aber Meiningen Trennamt, so dass das Ganze in zwei getrennte Ruhestromkreise — einen westlichen: Fulda-Meiningen von acht Ämtern und einen östlichen: Meiningen-Erfurt von neunen — zerlegt werden kann. In Erfurt liegt die Zink-, in Fulda die Kupferklemme an Erde. Beim Trennen in zwei Kreise wird in Meiningen für den westlichen Kreis Minus, für den östlichen Plus geerdet. Beide Kreise können getrennt von einander und, ohne sich zu stören, geben. Man sieht, wie es die Einführung einer Trennstelle der Ruhestromleitung erleichtert, sich durch Teilung dem augenblicklichen Verkehrsbedürfnisse anzupassen. Von den Orten mit den Nummern 3, 4, 5, 12 gehen übrigens seitwärts noch kurze Fernsprechleitungen ab, mit denen Telegramme befördert werden.

Auf meine Anfrage in Meiningen wird mir freundlichst mitgeteilt, dass die Ruhestromleitung, welche künftig dieselbe Nummer trägt, wie die geschilderte bisher, in drei Trennkreisen folgenden Lauf nimmt: (vgl. Fig. 207, in der die Zwischenämter nur mit Ziffern bezeichnet sind) Erfurt, Neudietendorf, Arnstadt, Plaue, Gräfenroda, Oberhof, Zella-St. Blasii, Suhl, Grimmenthal,

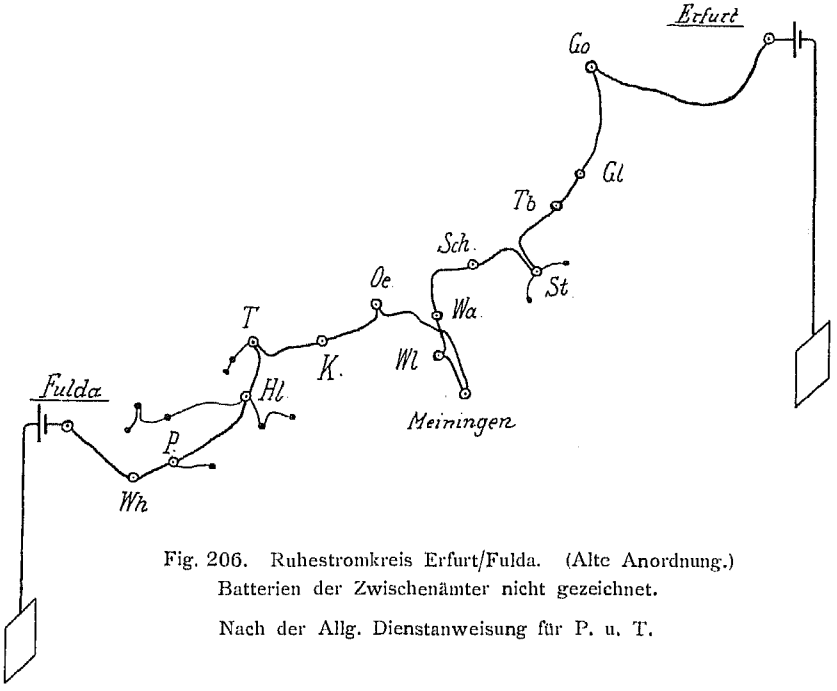


Fig. 206. Ruhestromkreis Erfurt/Fulda. (Alte Anordnung.) Batterien der Zwischenämter nicht gezeichnet.

Nach der Allg. Dienstanweisung für P. u. T.

Meiningen (Trennstelle), Geisa, Hünfeld, Fulda (Trennstelle), Grosslüder, Salzschlirf, Lauterbach, Herbstein, Ulrichstein, Giessen. Im ganzen sind demnach neunzehn Ämter zu einem Ruhestromkreise vereinigt, der in drei kleinere zu zehn, vier und sieben Ämter getrennt werden kann.

Es mag noch darauf aufmerksam gemacht werden, dass hinter einander in denselben Ruhestromkreis soviel Paare von Morse- und Relaisspulen, als Ämter, eingeschaltet sind, während in einem Arbeitsstromkreise gleichzeitig nur ein Spulenpaar liegt. Dasselbe ist mit der Wicklung der Galvanoskope der Fall. Die Selbstinduktion eines Ruhestromkreises ist demnach

sehr viel grösser und mit ihr der Öffnungsfunke am Ruhecontakt der gebenden Taste. Deshalb sind (vgl. S. 257) an der Taste nur die Stifte des Ruhecontaktes, nicht die des Arbeitscontaktes platiniert.

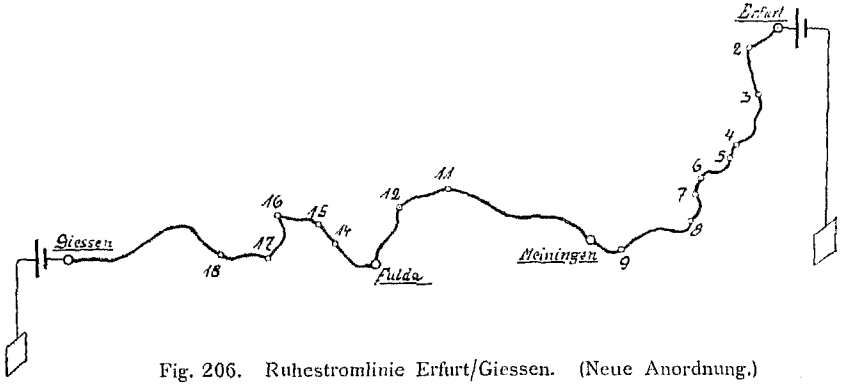


Fig. 206. Ruhestromlinie Erfurt/Giessen. (Neue Anordnung.)

Die Zweiteilung des Morsebetriebes in den mit Arbeits- und den mit Ruhestrom schien mir wichtig genug, um die Hauptpunkte in dieser Tabelle zusammen zu stellen:

Vergleich der Betriebseigenschaften von Arbeitsstrom und Ruhestrom.

Arbeitsstrom	Ruhestrom
Ein Ämterpaar mit grossem Verkehr.	Ganzer Ämterkreis für den Kleinverkehr.
Ein Amt giebt, das andere empfängt.	Ein Amt giebt, alle können empfangen.
Während des Tastendrucks Stromfluss.	Während des Tastendrucks Stromunterbrechung oder wenigstens starke Stromschwächung.
Daher nützlich verbrauchte Menge galvanischen Materiales der Einnahme so gut wie proportional.	Verschwendung galvanischen Materiales.
Je eine für die Entfernung beider Ämter abgeglichene Batterie auf jedem Amt.	Für den ganzen Kreis abgeglichene Batterie auf die Ämter verteilt. Kleine und provisorische Ämter ohne Batterie.

Anhangsweise muss hier der amerikanische Ruhestrom kurz erwähnt werden. Bei ihm liegen, wie bei unserem Ruhestrom, eine Reihe von Ämtern — Klopfer und Klopfertasten — in einem Stromkreise. Die Tasten haben aber ihren Arbeitscontakt eingeschaltet, dessen Luftspalt durch einen Hilfshebel überbrückt ist (Fig. 164 auf S. 262). Das gebende Amt klappt diesen Hilfshebel nach rechts (Fig. 163), unterbricht damit den Ruhestrom und giebt nun allen eingeschalteten Ämtern, also auch dem gewünschten, mit Arbeitsstrom. Würde statt des Klopfers ein Farbschreiber verwandt, so bliebe der auf Arbeitsstrom eingestellt. Sein Farbrad läge dann im Ruhezustande gegen das Papierband und bei ausgelöstem Uhrwerk entstände ein ununterbrochener Strich. Kurz, in der Ruhe fliesst Strom und trotzdem kommen die Zeichen unter Strom, die Zwischenräume unter Stromunterbrechung.

Morseschaltungen giebt es in ziemlich grosser Zahl. Ihre Besprechung kann sich trotzdem auf die kleine Auswahl von sieben beschränken. Die übrigen ergeben sich danach von selbst oder mögen andern Quellen entnommen werden. Über die zum Verständnis notwendigen Schaltungsskizzen ist zu sagen, dass sie nicht in der früher geübten Weise (wie zum Beispiel Fig. 203 auf S. 314) gezeichnet sind, sondern stets nur die Apparate eines Amtes und zwar möglichst so wiedergeben, wie sie auf der Platte eines Apparatetisches stehen. Die Drahtverbindungen sind dabei oben auf die Platte verlegt, überhaupt die thatsächlichen Verhältnisse so abgeändert, wie es zu einem leichteren Verständnisse[1]) wünschenswert schien.

Allgemein ist über die Schaltungsskizzen noch folgendes zu sagen: Die in der Mitte der hinteren Tischkante befindlichen Tischklemmen werden von links nach rechts gezählt. Es folgen sich so die Klemmen für Erde, Leitungen und Batterien. Dabei führt Klemme 1 immer zur Erde.[2]) Klemme 2 trägt die Leitung *L*

[1]) Zur Einübung ist der wiederholte Versuch nützlich, die Schaltungen unter stetem Augenmerk auf ihren Zweck aus dem Kopfe aufzuzeichnen, wozu Eisen- und Strassenbahnfahrten sehr geeignet sind. Auch ist es zweckmässig, die Anordnung auf dem Apparatetische in die frühere Darstellungsweise mit zwei oder mehr Ämtern zu übertragen.

[2]) Der Blitzableiter ist der Einfachheit halber in manchen Skizzen, seine Erdung überall fortgelassen.

oder bei Trenn- und Übertragungsstellen die Leitung L_1, Klemme 3 dann L_2. Bei mehreren Batterien speist die linke Batterie — als Linienbatterie LB — die Leitung L, die rechte — als Ortsbatterie OB — den Ortsstromkreis, oder B_1 speist die erste Leitung L_1 und B_2 die zweite L_2. Die übrigen Wort- oder Zeichnungsabkürzungen ergeben sich von selbst.

Bei Arbeitsstromschaltungen liegt grundsätzlich (Fig. 208) die speisende Batterie an der Arbeitsschiene der Taste, die Leitung über Galvanoskop und Blitzableiter an der Mittelschiene

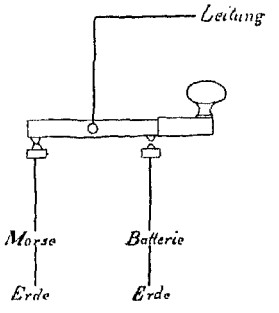


Fig. 208.

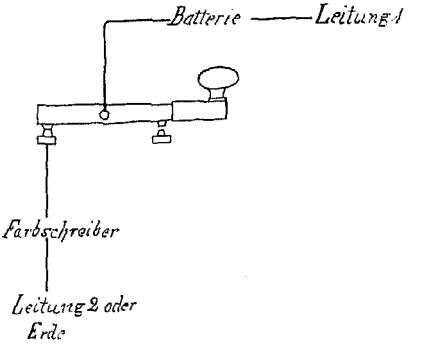


Fig. 209.

Die Taste im Arbeits- und Ruhestrombetrieb.

und der über den Blitzableiter geerdete Morse an der Ruheschiene. Bei Ruhestromschaltungen (Fig. 209) — und hieran sind sie sofort als solche zu erkennen — ist die Arbeitsschiene frei. Die Mittelschiene führt über Galvanoskop und Blitzableiter, zwischen denen gewöhnlich die Batterie liegt, zur Leitung L. An der Ruheschiene liegt der Farbschreiber, dessen zweite Klemme über den Blitzableiter beim Zwischenamt zur zweiten Leitung oder beim Endamt zur Erde führt.

Die einfache Arbeitsstromschaltung (Fig. 210) kennen Sie schon von früher her (Fig. 203 auf S. 314). Beim Geben durchläuft der negative Strom folgende Schaltungselemente: Negative Klemme der Batterie B — Tischklemme 4 — Arbeitsschiene, Hebel und Ruheschiene der gedrückten Taste — Galvanoskop — linke Blitzableiterplatte — Tischklemme 2 — Leitung L —

Negative Klemme — Inneres und positive Klemme der Batterie *B* — Tischklemmen 3 und 1 — Erde. — In das empfangende Amt tritt der negative Strom von der Leitung *L* durch Tischklemme 2 ein und läuft dann über: linke Blitzableiterplatte — Galvanoskop — Hebel und Ruheschiene der Taste — Farbschreiber zur Erde. Der auf Arbeitsstrom eingestellte Farbschreiber schreibt.

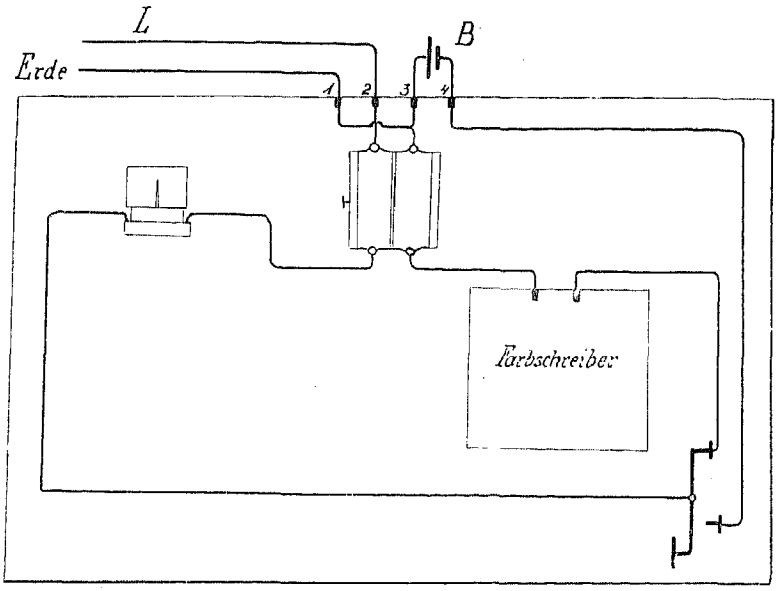


Fig. 210. Einfachste Arbeitsstromschaltung.

Die Schaltung geht, sobald ein Relais notwendig wird, in No. 2 über. (Fig. 211 auf Tafel I) Die Batterie *B* wird zur Linienbatterie *LB*. Beim Geben bleibt alles unverändert. Der ankommende Strom fliesst auch wie vorher von der Leitung *L* über die Tischklemme 2, den Blitzableiter, das Galvanoskop und die Taste, dann aber durch die Wicklung des Relais, statt die des Farbschreibers zur Erde. In Folge dessen wird der Relaishebel zum Arbeitskontakt (IIa in Fig. 178 auf S. 280) geführt und schliesst den rot gezeichneten Ortsstromkreis. Damit fliesst der Strom der Ortsbatterie *OB* von ihrer positiven Klemme über die Tischklemme 6 — den Farbschreiber — den

Arbeitskontakt und den angezogenen Hebel des Relais — die Tischklemme 5 — die negative Klemme und das Innere der Ortsbatterie *OB* zu ihrer positiven Klemme zurück.

Schaltung No. 3 (Fig. 212 auf Tafel I) ist die einer Trennstelle. Sie erinnern sich an den Zweck einer solchen (vergl. S. 313) und auch an das, was über die Anwendung von Ausgleichswiderständen (S. 272 u. f.) gesagt worden ist. Es ist angenommen, dass die ganze Leitung durch die Trennstelle im Verhältnis $L_1 : L_2$, hier wie zwei zu drei geteilt wird. W_1 ist etwa so gross, wie der Widerstand von L_1, W_2 wie der von L_2. Von B_2 sind zwei Drittel der Zellen zu B_1 abgezweigt. Es gilt die Gleichung

$$\underset{\text{(Ohm oder km)}}{L_1 : L_2} = \underset{\text{(Ohm)}}{W_1 : W_2} = \underset{\text{(Volt)}}{B_1 : B_2} = 2 : 3.$$

Die Veränderung von Trennung auf Durchgang und umgekehrt wird durch Umschalter VII der Postbenennung besorgt. Der Stöpsel stellt in Schiene 1 oder 3 die Schaltung auf Durchgang, in Schiene 2 auf Trennung.

Durchgang (Stöpsel in Schiene 1): Ein von der Leitung L_1 ankommender Strom fliesst auf blau gezeichnetem Wege durch die Tischklemme 2 — das Galvanoskop G_1 — den Hebel und die Ruheschiene der Taste T_1 — den schreibenden Farbschreiber M_1 — die gestöpselte Umschalterschiene 1 — und von jetzt an auf rotgezeichnetem Wege über die Taste T_2 — das Galvanoskop G_2 und die Tischklemme 3 in die Leitung L_2 — Bei Stöpselung von Umschalterschiene 3 steht die Schaltung ebenfalls auf Durchgang. Dann schreibt aber M_2.

Trennung (Stöpsel in Schiene 2): Rechts die Taste T_2 giebt über L_2, die längere von beiden Leitungen, mit der ganzen Batterie B_2. Der Strom nimmt folgenden rot gezeichneten Weg: Negative Klemme von B_2 — Tischklemme 6 — Arbeitsschiene und Hebel der gedrückten Taste T_2 — Galvanoskop G_2 — Tischklemme 3 — Leitung L_2 — Negative Klemme, Inneres und positive Klemme von B_2 — Tischklemme 4 und 1 — Erde.

Ein von L_2 ankommender Strom (rot) fliesst über Tischklemme 3 — Galvanoskop G_2 — ruhende Taste T_2 — schreibenden

Farbschreiber M_2 — obere Hälfte der Umschalterschiene 3 — Ausgleichswiderstand W_1 (= L_1), gestöpselte Umschalterschiene 2 — Tischklemme 1 — Erde. Ebenso kann bei derselben Stöpselung — von Schiene 2 — der Farbschreiber M_1 von L_1 unter Einschaltung von W_2 (= L_2) auf blau gezeichnetem Wege empfangen und T_1 mit dem Batterieteile B_1 über den blau gezeichneten Stromweg nach L_1 geben.

Zur Übertragung mit Relais ganz im Sinne des früher gesagten (S. 294 und 295) dient Schaltung No. 4 (Fig. 213 auf Tafel I). R_1 und R_2 seien dabei zwei grosse Hughesrelais, auf Anziehung eingestellt. Wie bei der vorigen Schaltung verhalten sich die Widerstände der Leitungen L_1 und L_2 und die Zellenzahlen der Batterien B_1 und B_2 wie zwei zu drei. Ein von der Leitung L_1 kommenden Strom legt folgenden blau gezeichneten Weg zurück: Tischklemme 2 — Blitzableiter — Galvanoskop G_1 — Zunge und Ruhekontakt von Relais R_1 — Wicklung von Relais R_2 — Tischklemme 1 — Erde. Dadurch schliesst R_2 den rot gezeichneten Stromkreis: Negative Klemme der roten Batterie B_2 — Tischklemme 6 — Arbeitskontakt und Zunge von R_2 — Galvanoskop G_2 — Blitzableiter — Tischklemme 3 — Leitung L_2. — Es wird demnach ohne Zuthun des Übertragungsamtes von L_1 nach L_2 übertragen. Die umgekehrte Übertragung von L_2 nach L_1 ergiebt sich von selbst.

Dass auch Telegraphenschaltungen leidlich verwickelt sein können, sehen Sie aus dieser hier (Fig. 214 auf Tafel I). Die Schaltung dient zur Übertragung durch Farbschreiber in der Weise, wie sie früher (S. 295 unten) geschildert wurde. Gleichzeitig verändert aber die Verstellung der Kurbeln der beiden Umschalter (No. V) nach links die Übertragungs- in eine Trennstelle, so dass getrennt von beiden Seiten empfangen oder nach beiden Seiten gegeben werden kann. Zunächst sollen die Kurbeln der beiden Umschalter nach rechts, auf *Üb*, das heisst in die Übertragungsstellung, herübergeklappt sein. Es komme ein Telegraphierstrom über die blaue Leitung L_1 und nehme folgenden blau gezeichneten Verlauf: Tischklemme 2 — Galvanoskop G_1 — *Üb* des linken Umschalters — Schreibhebel und Ruhekontakt von M_2 — Ruhekontakt von T_1 — Wicklung von M_1 — Tischklemme 1 — Erde. Dadurch schreibt M_1 und schliesst dabei den rot gezeichneten Stromkreis: negative

Klemme, Inneres und positive Klemme von B_2 — Tischklemme 7 — Arbeitskontakt und Hebel des schreibenden M_1 — *Üb* des rechten Umschalters — Galvanoskop G_2 — Tischklemme 3 — Leitung L_2. — Negative Klemme von B_2 — Tischklemmen 6 und 1 — Erde.

Die Übertragung von L_2 nach L_1 erfolgt entsprechend.

Denken Sie sich nun, wie in Skizze V (Fig. 214) gezeichnet, die Kurbeln der beiden Umschalter nach links auf Trennung *Tr* gestellt. Dann fliesst ein von der Leitung L_2 kommender Strom auf rot gezeichnetem Wege durch Tischklemme 3 — Galvanoskop G_2 — *Tr* des rechten Umschalters — Mittelschiene, Hebel und Ruheschiene von Taste T_2 — Spulen des Farbschreibers M_2 — Tischklemme 1 in die Erde. M_2 schreibt; aber, da der blau gezeichnete Stromkreis durch *Üb* des linken Umschalters unterbrochen ist, überträgt er jetzt nicht nach L_1. — Ein Strom von L_1 macht ebenso M_1 schreiben, wird aber nicht nach L_2 übertragen. — Der Druck auf die Taste T_2 schickt nach L_2 einen Strom auf dem rot gezeichneten Wege: positive

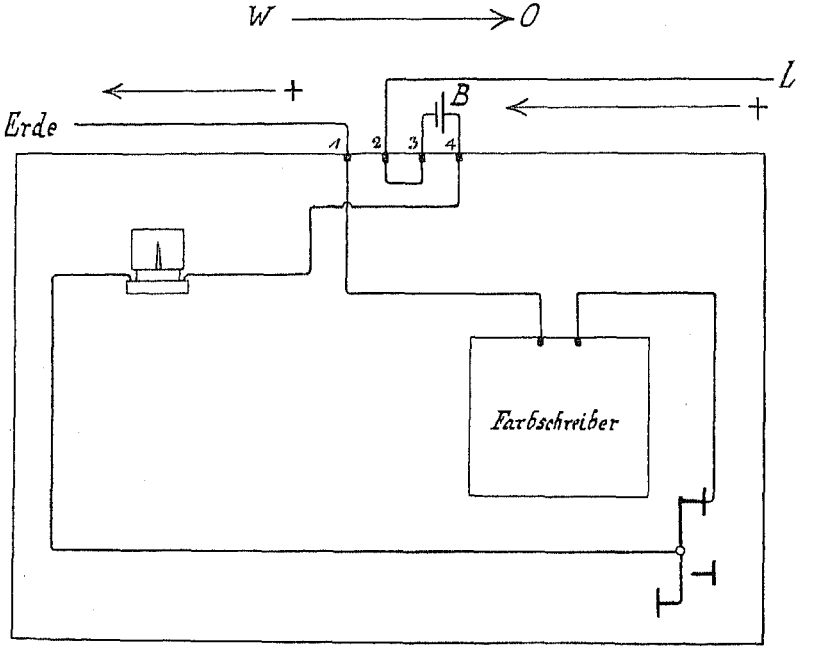


Fig. 215. Ruhestrom-Endstelle.

Klemme von B_2 — Tischklemme 7 — Arbeitsschiene, Hebel, Mittelschiene der gedrückten Taste T_2 — Tr des rechten Umschalters — Galvanoskop G_2 — Tischklemme 3. — Positive Klemme, Inneres und negative Klemme von B_2 — Tischklemmen 6 und 1 — Erde. — Ebenso arbeitet T_1 mit der blau gezeichneten Leitung L_1.

Die nächste Skizze VI (Fig. 215) stellt, wie Sie sofort an der freien Arbeitsschiene erkennen, eine Ruhestromschaltung dar. Der von Osten — d. h. von einem jedenfalls etwas östlicher gelegenen Amte — kommende Ruhestrom fliesst über die Tischklemmen 2 und 3 durch die Teilbatterie B — Tischklemme 4 — Galvanoskop — Mittelschiene, Hebel und Ruheschiene der ruhenden Taste — Farbschreiber und Tischklemme 1 zur Erde. Wird der Strom unterbrochen, so schreibt der auf Ruhestrom eingestellte Farbschreiber gerade so, wie seine Kollegen auf alien andern Ämtern des Kreises. Die gleiche Wirkung hat ein Druck auf die Taste unseres Amtes. Aus der Batterieschaltung ergiebt sich, dass das Amt am westlichen Ende eines Ruhestromkreises (wie Giessen in Fig. 207) liegt. Lassen Sie in Skizze VI den Strom aus dem Farbschreiber nicht zur Erde, sondern in eine weiter westlich führende Leitung L_2 fliessen, so wird aus der Schaltung für eine End- die einer Zwischenstelle.[1]) — Auch die als möglich angegebene Fortlassung der Batterie kann man sich ohne weitere Skizze vorstellen.

Als letzte der Morseschaltungen sei Ihnen mit Skizze VII (Fig. 216) eine Trennstelle vorgeführt, wie sie ämterreiche Ruhestromkreise zur besseren Ausnutzung erhalten. Der grosse Ruhestromkreis Erfurt-Giessen wird, wie beschrieben, in drei kleinere: Erfurt-Meiningen, Meiningen-Fulda und Fulda-Giessen zerlegt. Dazu giebt man Meiningen und Fulda die Anordnung der Skizze VII. Sobald der Stöpsel des Umschalters VI in dem mit Tr bezeichneten Loche steckt, steht die Schaltung auf Trennung. In Meiningen fliesst dann der von L_2, dass heisst aus den Teil-Batterien von Erfurt und den zwischen liegenden Ämtern kommende Strom auf folgendem Wege zur Erde: Tischklemmen 3 und 6 — Teil-Batterie B_2 — Tischklemme 7 —

[1]) Freilich ist dabei eine Klemmenverschiebung notwendig, weil Klemme 1 für die Blitzableitererdung belegt bleibt.

Galvanoskop G_2 — Umschalter — Mittelschiene, Hebel, Ruheschiene der Taste T_2 — Farbschreiber M_2 — Umschalter (Stöpsel *Tr*) — Tischklemme 1 — Erde. Unterbrechung durch die Taste irgend eines der eingeschalteten Ämter, auch durch T_2 — lässt alle Farbschreiber schreiben.

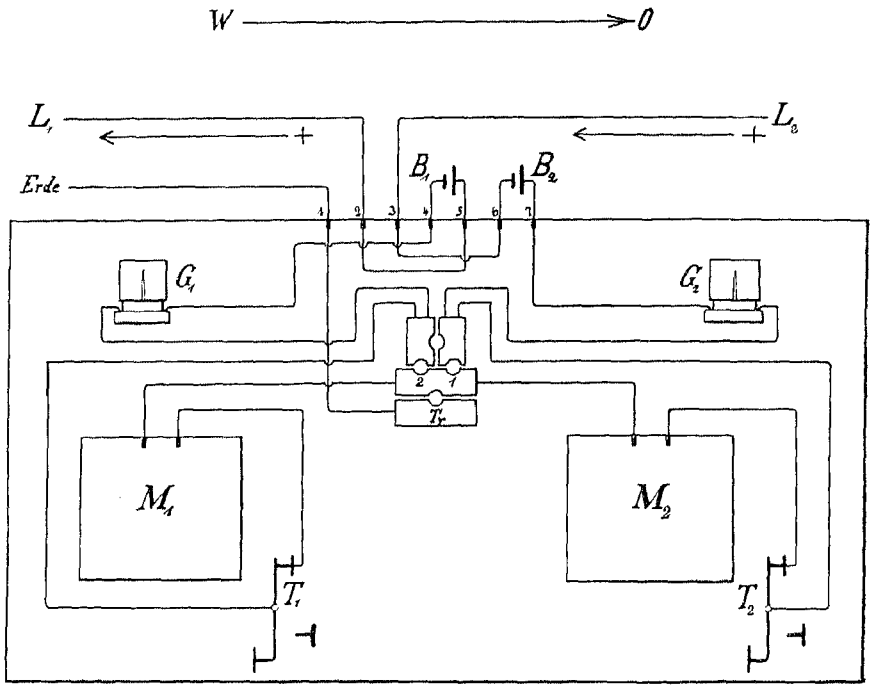


Fig. 216. Ruhestrom-Trennstelle.

Wird der Stöpsel in eins der beiden Umschalterlöcher 1 oder 2 gesteckt, so wird der grosse Stromkreis wiederhergestellt, und zwar ist mit 1 der linke Farbschreiber M_1 und die linke Taste T_1 eingeschaltet. Der von L_1 kommende negative Strom durchfliesst dann: Tischklemme 2 und 5 — Teil-Batterie B_1 — Tischklemme 4 — Galvanoskop G_1 — Umschalter — Taste T_1 — Farbschreiber M_1 — Umschalter (Stöpsel 1), der Weg über M_2 und T_2 ist kurzgeschlossen. — Galvanoskop G_2 — Tischklemme 7 — Teil-Batterie B_2 — Tischklemmen 6 und 3 — L_2. — Ebenso schaltet der in das linke Umschalterloch (2) gesteckte Stöpsel Farbschreiber M_2 und Taste T_2 in den grossen Ruhestromkreis ein.

Morseschnellbetrieb.

Zum Schlusse bleibt uns eine kurze Betrachtung der automatischen Zeichengebung und des Schnelltelegraphen von Pollak und Viràg in seiner älteren Form. Beide können unter der Überschrift Morseschnellbetrieb zusammengefasst und der heutigen Vorlesung angegliedert werden. Zwar handelt es sich in beiden Fällen eher um neue Formen des Morseapparates, als um neue Betriebsweisen; doch bleibt der Schnellbetrieb an ihnen das Wesentliche.

Wir suchen also nach Mitteln, dem Morse die Betriebsgeschwindigkeit zu erhöhen. Ein solches kennen wir schon in der Umwandlung des Farbschreibers in den Klopfer. Seinem Diktate folgend, kann man eben die Morsesprache schneller in die gewöhnliche übersetzen, als beim Lesen der geschriebenen Zeichen. Mit dem schnelleren Aufnehmen wird ein schnelleres Geben möglich.

Es lassen sich nun auf anderem, automatischem, maschinellem Wege die Morsezeichen ausserordentlich viel schneller über den Draht jagen und mit einem dazu geeigneten Farbschreiber aufnehmen, sobald man sich damit einverstanden erklärt, eine grosse Zahl von Telegrammen zum automatischen Geben vorbereiten und die Übersetzung nicht gleichzeitig mit der Aufnahme und nicht von einem einzigen Beamten besorgen zu lassen.

Bei diesen Morsesystemen mit automatischer Zeichengebung, von denen eins unter dem Namen des Wheatstoneschen in England für die verkehrsreichen Linien im Lande besonders beliebt ist, benutzt man — von Zwischenfragen und dergleichen abgesehen — keine Taste. Vielmehr schlägt man mit Hilfe eines Lochers die Morsezeichen in zweckmässiger Form in ein Papierband ein. Viele solcher Papierbänder werden vorbereitet und dann hinter einander fort durch einen Sender gezogen, der — wie Sie sich vorstellen mögen — überall, wo das Papier durchlocht ist, Strom in die Leitung schickt und an den unverletzten Stellen des Päpieres den Strom unterbricht. Dass man thatsächlich mit Strömen wechselnder Richtung und mit einem polarisierten Farbschreiber, das heisst einem mit polarisiertem Magneten (vgl. Fig. 187 auf S. 292), arbeitet, kümmere Sie nicht. Es genüge, dass man mit dem Wheatstoneschen Auto-

maten im Stande sein soli, dreihundert und funfzig englische Worte in der Minute zu übermitteln. Diese ausserordentlich hohe Leistungsfähigkeit wird aber nur durch die angespannte Thätigkeit eines ganzen Stabes von Beamten möglich. Denn auf dem gebenden Amte will eine sehr grosse Zahl aufgegebener Telegramme in Morseschrift den Papierbändern eingestanzt und auf dem empfangenden ein fortwährend und mit ausserordentlicher Geschwindigkeit hervorquellender Morsestreifen in gewöhnliche Schrift übersetzt werden.

Natürlich erschwert es die grosse Menge hinter einander gegebener Telegramme den Ämtern, sich über Unklarheiten und Irrtümer zu verständigen. Vielleicht liegt unter anderem hierin und in der Sorge, dass sich auf dem Empfangsamte unerledigte Morsestreifen anhäufen möchten, der Grund, der die automatische Zeichengebung bei uns so viel weniger beliebt gemacht hat, als in England. Am Ende mag dazu auch der Wunsch beigetragen haben, lieber gedruckte Telegramme zu lesen, wie sie der Hughes-Apparat liefert, als geschriebene.

Während man die automatische Zeichengebung dem Morseapparate schon in seiner frühesten Jugend hinzufügte, wurde er erst vor wenigen Jahren durch Pollak und Viràg zu einem wirklichen Schnelltelegraphen. Sie bauten keinen bis ins Aschgraue verwickelten Apparat, wie es jetzt sonst üblich, sondern brachten in die seit mehr als fünfzig Jahren erfinderisch so ausgebeutete Telegraphie neue und einfache Gedanken.

Die Morsezeichen werden automatisch über den Draht gejagt. Den Punkten entsprechen dabei die Stromstösse der einen Richtung, den Strichen solche der anderen. Sie werden in einem polarisierten Empfänger verwertet. Dieser, einem Telephon sehr ähnlich, enthält vor einem polarisierten Elektromagneten eine dünne Eisenplatte. Die Stromstösse umkreisen die Magnetspulen und lassen je nach ihrer Richtung die Eisenplatte sich mehr oder weniger zum Magneten hin durchbiegen. Die dünne Platte folgt natürlich den magnetischen Schwankungen viel schneller und willfähriger, als der Farbschreiberhebel oder auch die Zunge eines Relais. Wenn Sie sich nun der Spiegelgalvanometer erinnern, werden Sie das geistvolle Verfahren verstehen, nach welchem die kleinen schwingenden Bewegungen der dünnen Platte auf Papier geschrieben werden. Dort ist der träge

Zeiger des gewöhnlichen Galvanometers durch den Lichtstrahl ersetzt. Ähnlich auch hier. Die Eisenplatte trägt einen kleinen Spiegel und zwar durch einen Kunstgriff so, dass ihre hin- und hergehenden Bewegungen ihn hin- und herdrehen. Je nach der Richtung des über die Leitung ankommenden Stromstosses wird dadurch der gespiegelte Lichtstrahl aus seiner Gleichgewichtslage nach oben oder nach unten abgelenkt. Der Lichtstrahl fällt nun auf einen photographischen Film und erzeugt dort einen leuchtenden Punkt. Der Film wandert — nehmen wir an — seitwärts, so dass der den Spiegeldrehungen folgende leuchtende Punkt auf ihm eine wellenförmige Kurve abbildet (Fig. 217). Der Film durchläuft sofort automatisch Entwickler,

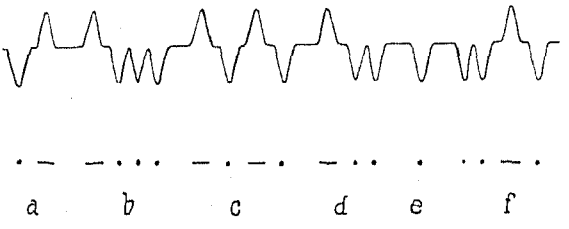


Fig. 217. Wellenförmige Morseschrift des Schnelltelegraphen.

Fixier- und Wasserbad und kommt so gut, wie trocken, als handliches Blatt heraus. Die ausserordentliche Schnelligkeit der Übermittelung — es werden dafür über tausend Worte in der Minute angegeben — liegt darin, dass das Telegramm ebenso schnell von dem Spiegel empfangen und photographisch festgehalten werden kann, als es gegeben wird. Die so erlaubte Geschwindigkeit wird durch automatisches Geben ausgenutzt. Die Notwendigkeit, die photographisch erhaltene Morseschrift zu übersetzen, bleibt natürlich und ist bei der Geschwindigkeit des Arbeitens umso lästiger.

Der Schnelltelegraph blieb aber hier nicht stehen, und es soll Ihnen wenigstens kurz das Prinzip der weiteren Entwicklung angegeben werden, wenn auch mit ihr die Morsetelegraphie verlassen ist. Es musste eben das Ziel sein, die Morseschrift durch die gewöhnliche- zu ersetzen.

Man lässt zu dem Ende unter Benutzung von zwei Leitungen und Erde auf den Spiegel zwei Empfänger statt eines wirken. Die eine Empfängerplatte dreht den Spiegel so, dass sich auf

dem Film der leuchtende Punkt, wie vorher, in der Vertikalen, der andere so, dass er sich auch in der Horizontalen bewegt. Gleichzeitiges Arbeiten beider Empfänger bewegt den Lichtpunkt gleichzeitig in beiden Richtungen, das heisst schräge. Ist nun das gebende Papierband in der richtigen Weise gelocht,

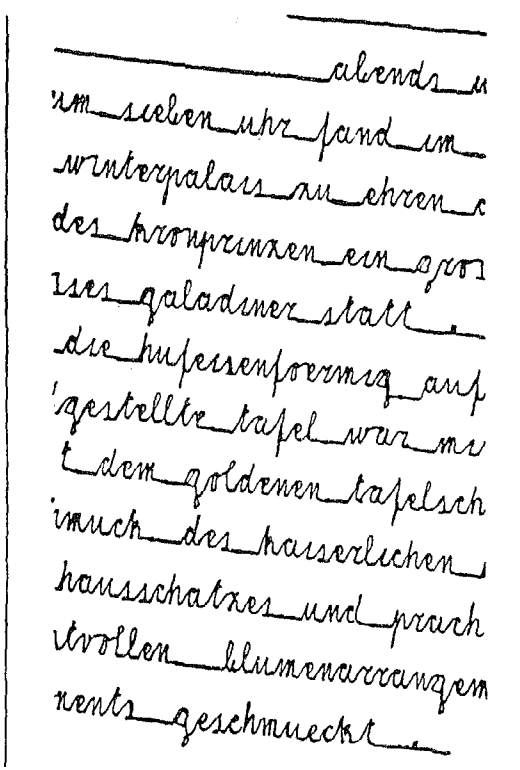


Fig. 218. Schriftprobe des Schnelltelegraphen.

so erscheint das Telegramm in gewöhnlichen geschriebenen Buchstaben und der Film, wie Sie einen solchen hier (Fig. 218) im Lichtbilde wiedergegeben sehen, ist ohne jede weitere Bearbeitung zum Austragen fertig.[1]) Dadurch soll der Apparat in den Stand gesetzt sein, in der Minute auch etwa tausend Worte zu bewältigen. Sein Name Schnelltelegraph ist verdient.

[1]) Es wird angegeben, dass der Film in 0,003 Sekunden belichtet, mit Paraamidophenol in 6 Sekunden entwickelt und etwa ebenso schnell mit 20 % igem Thiosulfat fixiert wird. Für 24stündiges Arbeiten enthält er 3 l Entwickler, 1 l Fixierlösung und 5 l Waschwasser.

16. Vorlesung.

Der Hughes-Apparat.

Mit einer kurzen Besprechung **des Ferndruckers.**

Verhältnis des Hughes zu Farbschreiber und Klopfer. Jeder Buchstabe durch einen einzigen Tastendruck übertragen. — Zwei synchrone Typenräder. — Tasten. Figurenwechsel. Tastenhebel. Stiftbüchse. Contaktstifte. Schlitten. Contakthebel. Stromstoss. — Elektromagnet. — Antrieb durch einen Gleichstrommotor. Motor- und Schwungradachse machen an 800 Touren, Typenrad- und Schlittenachse 120. — Der Auslösehebel verkuppelt Schwungrad- und Druckachse für eine Umdrehung. Die dann von der Schwungradachse mitgenommene Druckachse schlägt den Drucklhebel gegen das Typenrad. — Die drei Erfordernisse des Typenrades. Typen-, Correktions- und Friktionsrad. Typen- und Correktionsradbuchse. Wechselhebel und Klinkenausschnitte. Zahnklinke und Dreifingerhebel. — Bremsregulator. — Zusammenarbeiten zweier Apparate. Der Correktionsdaumen und seine dreifache Aufgabe: Anhängen des Typenrades an das Friktionsrad, Kontrolle des Synchronismus, Figurenwechsel. — Erst die fünfte folgende Taste darf gedruckt werden. Möglichste Ausnutzung jedes Schlittenumlaufes. — Dauer des Stromstosses. — Schaltung.

Ferndrucker und die Ferndruckercentrale.

Dem Morseapparate bleibt, wie Sie schon sahen, bei aller Vollendung stets der Nachteil anhaften, dass er in einer besonderen Sprache redet, deren Kenntnis zu seiner Bedienung notwendig ist. Beim Geben muss die gewöhnliche- in die Morseschrift, beim Empfangen in umgekehrter Richtung übersetzt werden. Zwar kann man sich durch Übung die Morseschrift ebenso vollständig einprägen, wie die gewöhnliche. Das kann aber nur der Beamte oder wer sich sonst beruflich mit der Telegraphie beschäftigt. Das Publikum verlangt die Rückübersetzung in die gewöhnliche Schrift, und dazu gehört Zeit. Wenn man sich auf den automatischen Betrieb nicht einlassen will, ist der Morse als Farbschreiber selbst mit Hilfe von Vielfachschaltungen nicht im Stande, so schnell zu arbeiten, als für Leitungen mit lebhaftem Verkehre besonders während der Geschäftsstunden notwendig ist. Der Farbschreiber bedient deshalb, wie Sie wissen, im wesentlichen nur noch die verkehrs-

armen Ruhestromleitungen, bei denen eine ganze Ämterreihe ihre geringen telegraphischen Ansprüche mit einem einzigen Drahte erfüllt. Der Klopfer genügt zwar höheren Anforderungen, als der Farbschreiber. Aber die Grenze ist auch hier erreicht, sobald man seinem Diktat nicht mehr folgen kann.

Nun arbeitet der Morse nicht allein deshalb so langsam, weil er überhaupt besondere, von den gewöhnlichen Buchstaben abweichende Zeichen benutzt. Der andere Grund seiner Langsamkeit ist der, dass seine Schrift für einen Buchstaben mehrere Zeichen verwendet. Viel gewonnen wäre mit einem Apparate, der jeden Buchstaben durch ein einziges elektrisches Signal überträgt.

Das ist beim Hughesapparate der Fall, welcher weiter dadurch so vollkommen wird, dass sich der Buchstabe selbstthätig auf dem empfangenden Papier abdruckt, ohne dass zum Geben mehr, als ein einmaliger kurzer Druck auf eine einzige bestimmte Taste erforderlich ist. Der Papierstreifen des Empfangsapparates enthält nachher das Telegramm in den Typen der gewöhnlichen Druckschrift (Fig. 219) und zwar

abcdefghijklmnopqrstuvwxyz 1234567890.,;:?!'+-§/= ()&"

Fig. 219. Hughesschrift.

wegen des Verkehrs mit dem Ausland der s. g. lateinischen. Der Papierstreifen braucht nur in Teile von der Breite des Formulars zerschnitten und aufgeklebt zu werden, und das Telegramm ist unmittelbar zum Austragen oder zur Versendung mit der Rohrpost bereit. Jeder Buchstabe verlangt nur ein einziges und kurzes elektrisches Signal, und beim Empfang ist weder eine Übersetzung, noch auch nur ein Aufschreiben erforderlich. Kein Wunder deshalb, wenn der Hughes wesentlich schneller arbeitet, als der Morse. Die Geschwindigkeiten,[1]) mit denen Farbschreiber, Klopfer und Hughes telegraphieren, verhalten sich ungefähr wie die Zahlen zwei, drei und fünf.

[1]) Die Angaben darüber schwanken ausserordentlich.

Tafel I.

Arbeitsstromschaltungen.

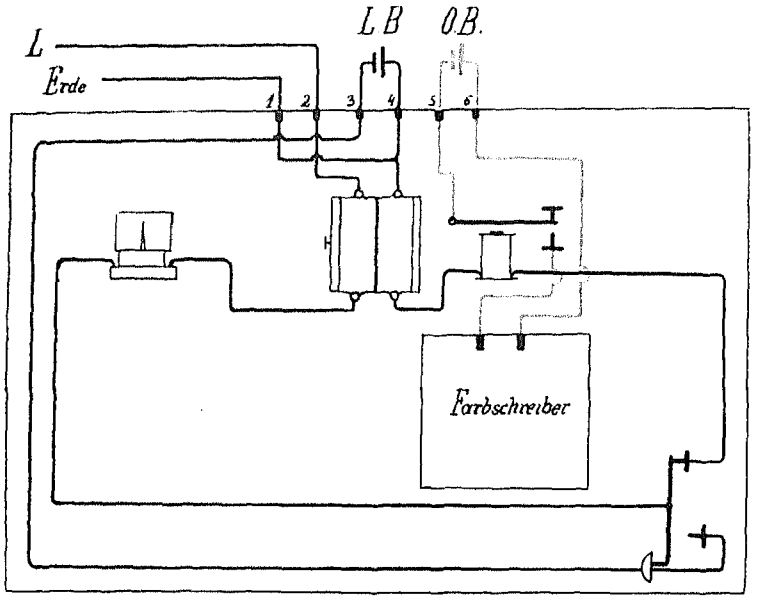


Fig. 211. Endstelle mit Relais.

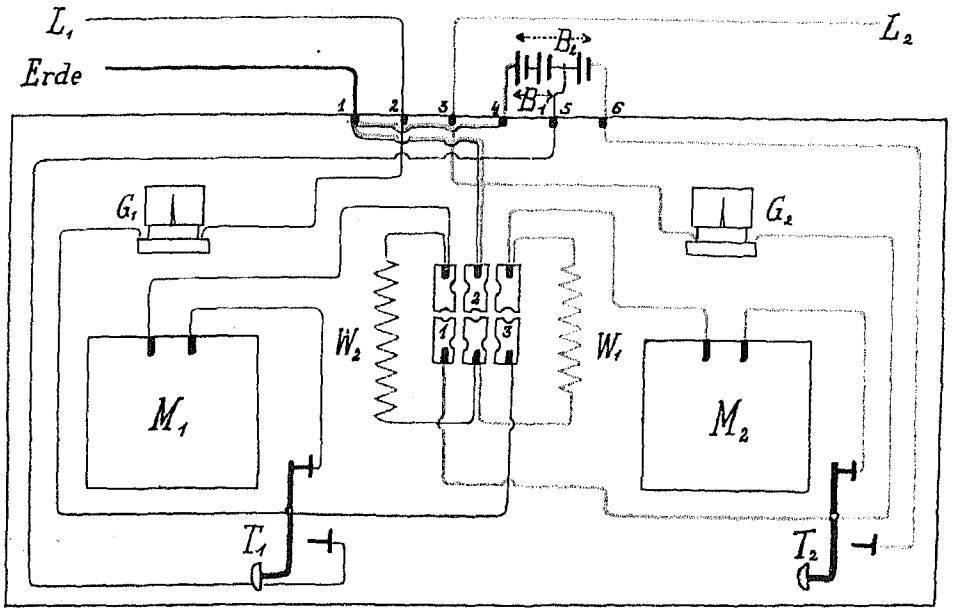


Fig. 212. Trennstelle.

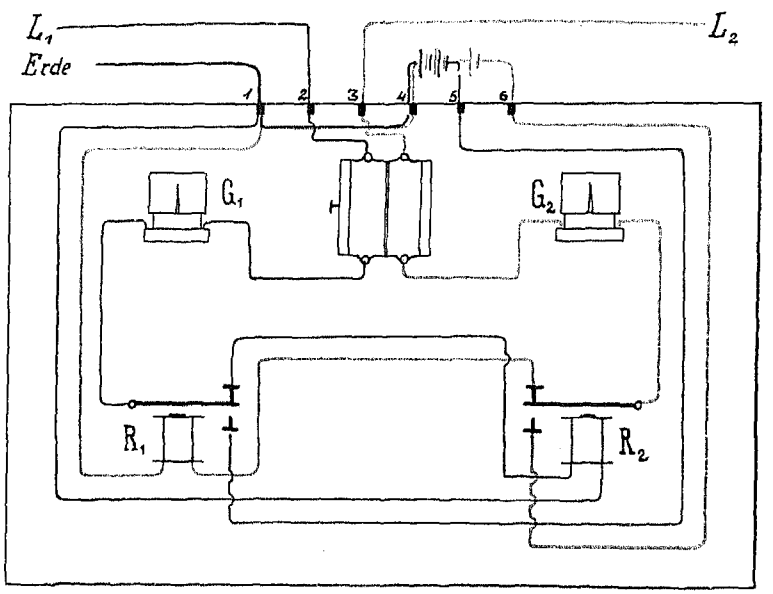


Fig. 213. Übertragung mit Relais.

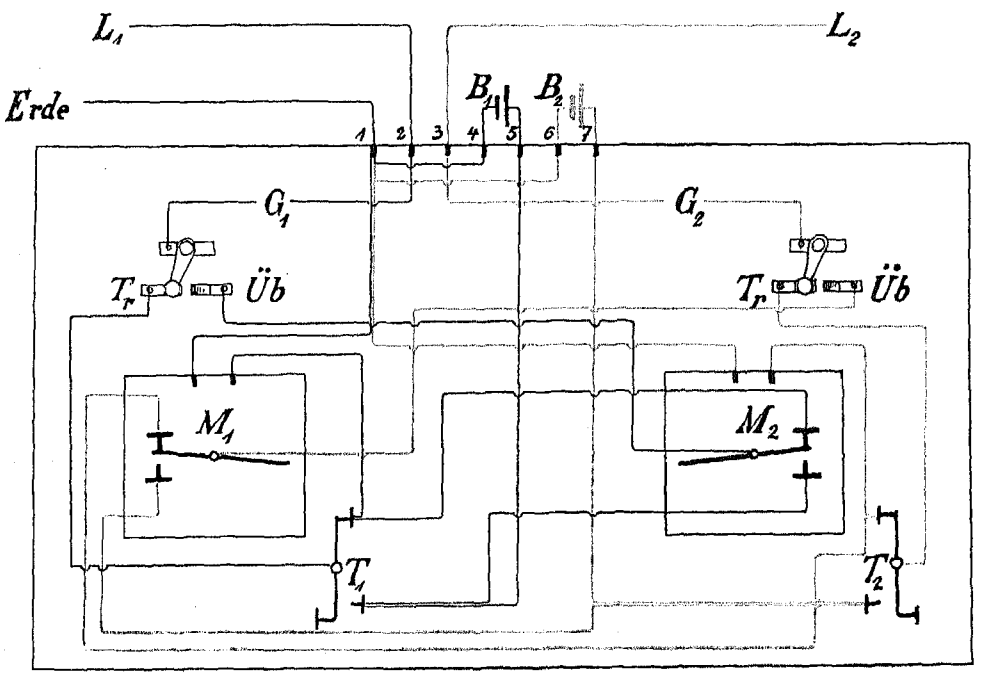


Fig. 214. Übertragung mit Farbschreibern, zugleich Trennung.

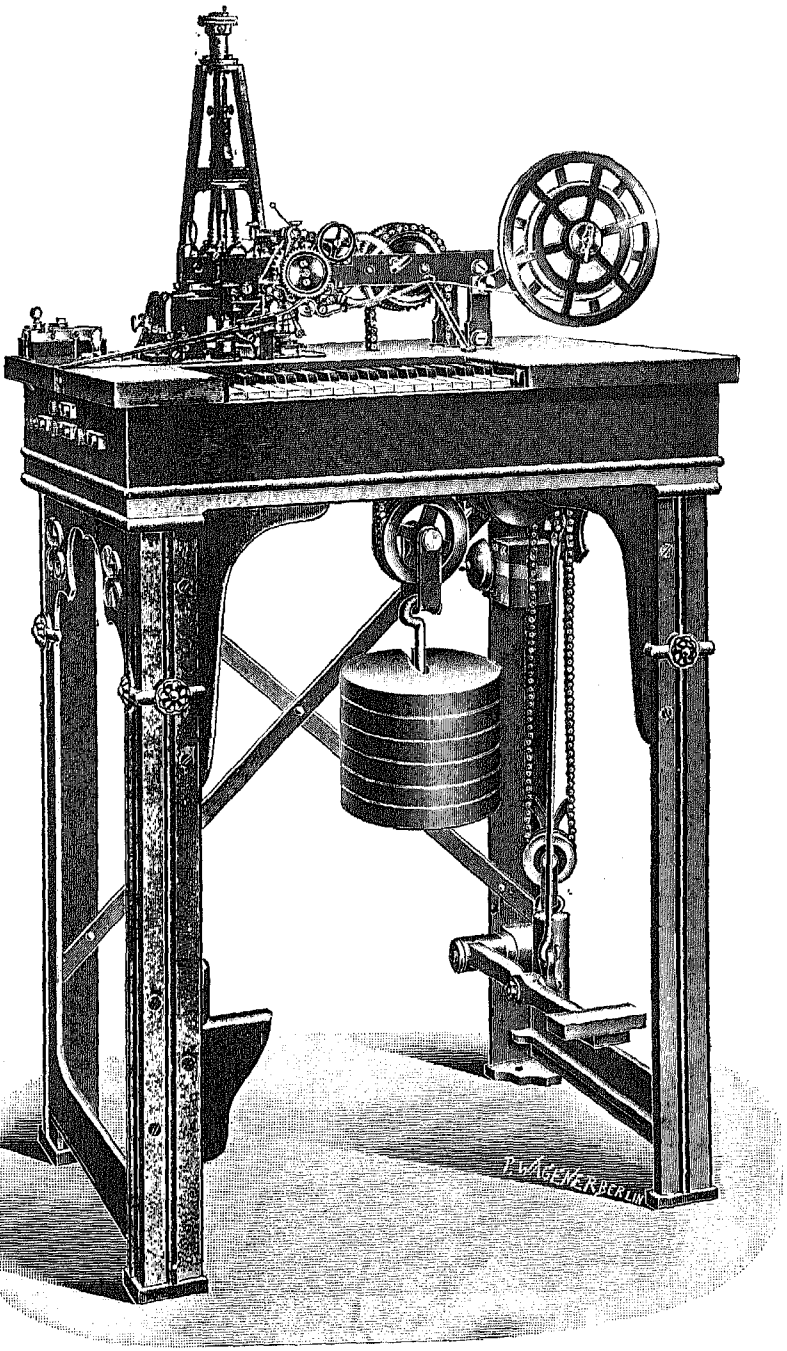


Fig. 220. Hughes-Apparat mit Gewichts- und elektrischem Antrieb.

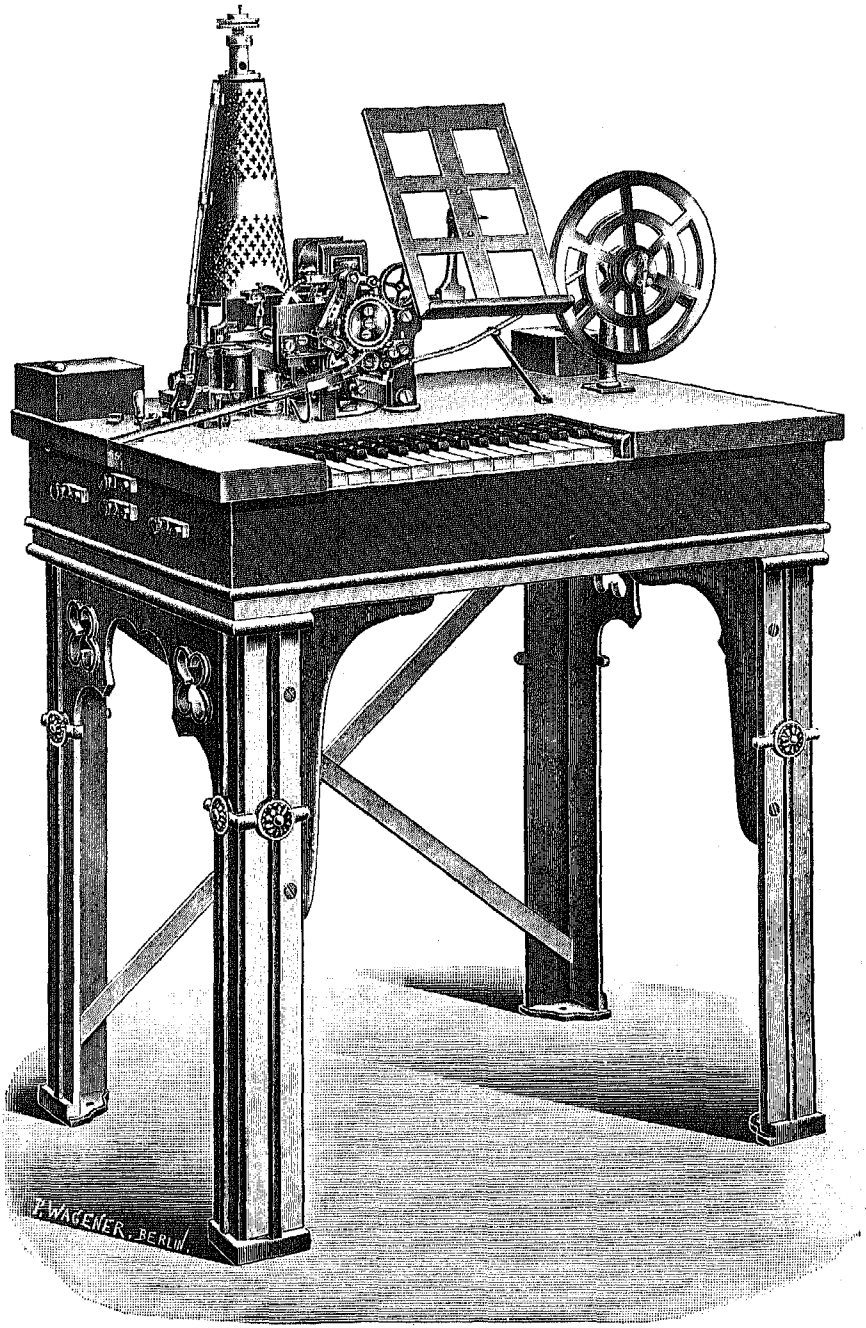


Fig. 221. Heutiger Hughes-Apparat.

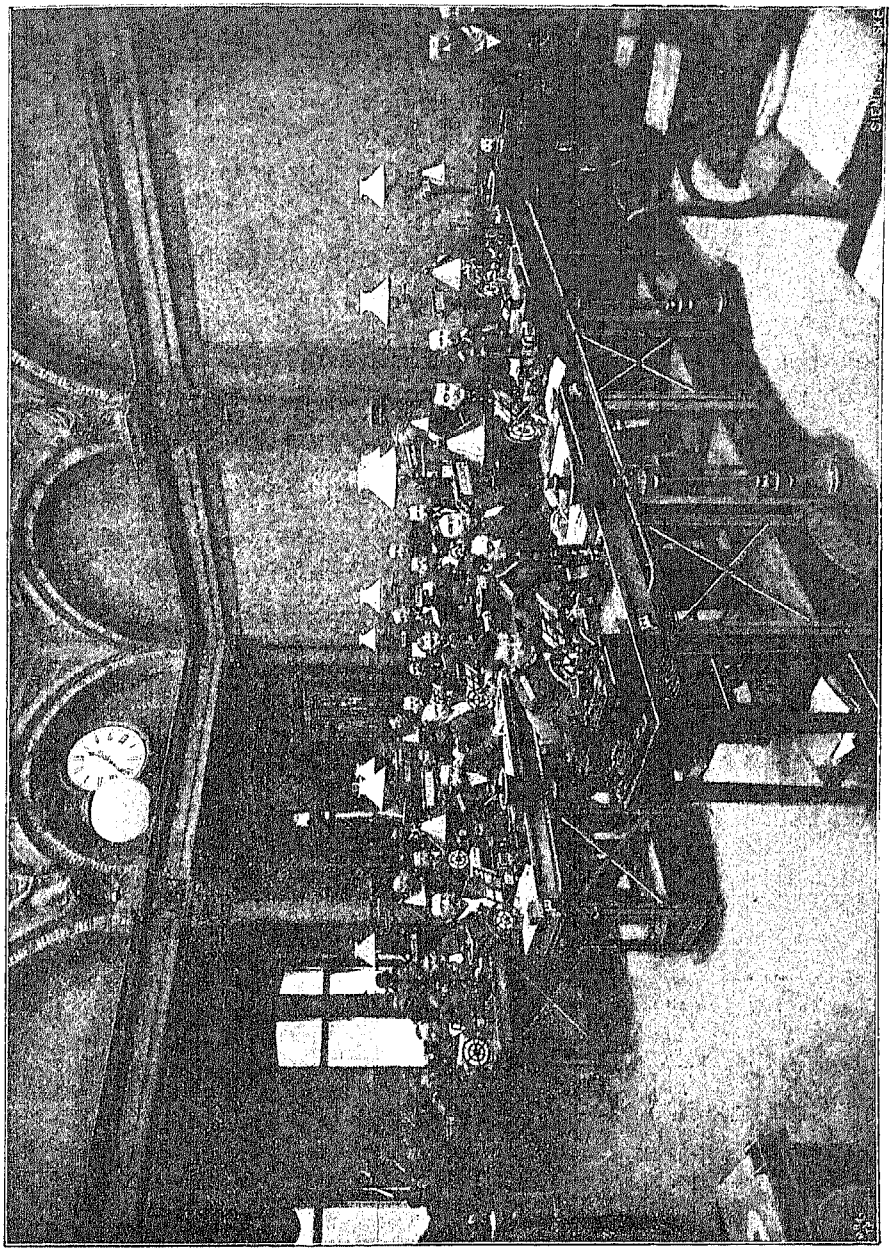


Fig. 222. Aus dem Hughessaal des Berliner Haupttelegraphenamts.

Zwei Formen des Hughesapparates sehen Sie hier abgebildet: (Fig. 220) eine ältere mit Gewichtsantrieb, für elektrischen Antrieb umgearbeitet, so dass bei Störung des elektrischen der Gewichtsantrieb einspringen kann, und (Fig. 221) eine neuere nur mit elektrischem Antrieb. Schliesslich ist hier (Fig. 222) ein Teil aus dem Hughes-Saal des Berliner Haupttelegraphenamtes photographiert.

Der prinzipiell wichtigste Teil des Hughesapparates ist sein Typenrad, ein vertikales um eine horizontale Achse drehbares Stahlrad. Dessen äusserer ringförmiger Mantel trägt Buchstaben, Ziffern und Zeichen — eben die Typen — wie die Köpfe von Buchdruckerlettern. Denken Sie sich den Typenbesetzten Ring um 90 ° in die Ebene des Rades herumgeklappt, so entsteht dieses Bild (Fig. 223). Sie beachten die für den Druck notwendige Spiegelschrift. Die Kunst des Apparates besteht nun darin, vom gebenden Amte aus elektromagnetisch den empfangenden Papierstreifen gegen das sich drehende Typenrad in dem einen richtigen Augenblicke anzudrücken, in dem sich die gewünschte Type an seiner tiefsten Stelle — gegenüber der Druckvorrichtung — befindet. Hierzu dient dem Apparate ein sinnreicher, aber verwickelter Mechanismus, welcher ihn kostspielig macht und öfteren Störungen unterwirft. Auch erschwert die Fülle der einzelnen Teile und ihr verwickeltes Zusammenspiel das Verständnis. Ein gründliches Studium am Apparate selbst [1]) kann deshalb zu seiner Kenntnis nicht wohl

[1]) Dazu reicht ein für den Gebrauch fertig zusammengesetzter Hughes, wie er im Reichspostmuseum in Berlin aufgestellt ist, nicht aus. An ihm verdeckt ein Teil den andern, und man wird seine Anatomie und Physiologie nicht vollständig begreifen lernen. Die Museumsverwaltung sollte deshalb mal durch eine etwas pädagogische Brille schauen. Es wird ihr dann ein Leichtes sein, die von aussen schlecht oder gar nicht sichtbaren Teile bei einem zweiten Exemplare des Apparates blosszulegen oder durch im grösseren Maassstabe und unter Vernachlässigung der Einzelheiten gebaute Modelle und durch treffende Zeichnungen zu erläutern.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich, wenn auch hier natürlich nur kurz — ausführlicher habe ich das Folgende schon vor drei Jahren dem vorigen Staatssekretär im Reichspostamt vorgeschlagen — darauf hinweisen, dass das Postmuseum für den Zweck des Studiums viel mehr thun könnte. Was könnte es nicht allein durch Modellapparate leisten! Zum Bau solcher giebt es mehrere Wege. Bald wird ein Schnitt durch den Apparat zu legen, bald eine den Einblick hindernde Wand fort-

entbehrt werden, umso mehr, als wir uns hier versagen müssen, vielerlei Einzelheiten des Baues auf den Grund zu gehen.

Als Sender und Empfänger dienen zwei gleiche Hughesapparate. Die Typenräder beider drehen sich beständig mit genau derselben gleichförmigen Winkelgeschwindigkeit im Sinne

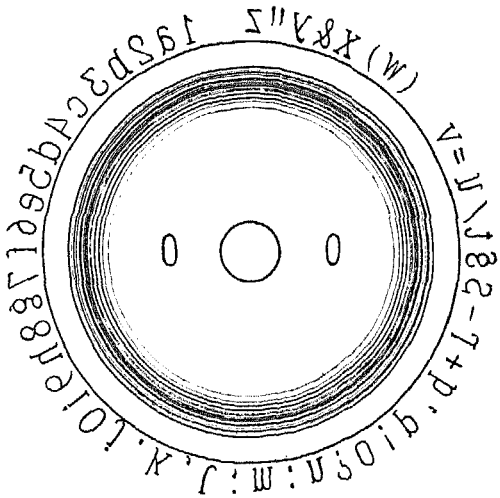


Fig. 223. Typenrad.

zunehmen oder durch Glas zu ersetzen sein. Auch sollten für die Apparate kurze und schlagende Erklärungen in gutem Deutsch verfasst und in grosser und deutlicher Schrift unter Glas, zweckmässig an der Wand oder sonst erhöht und so gleichzeitig mehreren lesbar, angebracht werden. Ob man die Modellapparate zu einer besonderen, von der Hauptsammlung getrennten Schausammlung vereinigen oder sie jener eingliedern will, wird von mehreren, besonders räumlichen Gründen abhängen. Sehr nützlich scheint es auch, zur Einleitung den technischen Apparaten eine Reihe von solchen voranzustellen, welche die wichtigsten der in Betracht kommenden Wirkungen des elektrischen Stromes veranschaulichen. Sie sollten zum Betriebe — durch die Aufsichtsbeamten oder besser durch das Publikum selbst — in bekannter Weise mit Druckknöpfen versehen sein. Erklärungen und Abbildungen von Apparaten wären in einem verständlich und flott geschriebenen Führer zu vereinigen, der auch zu häuslichem Nachdenken anregt. Schauapparate und Erklärungen müssten den Museumsbesucher zum Studium geradezu verlocken und jedem Verständnis bringen, der es ernstlich sucht. Dann würde der Besucher nicht nur an den grobverständlichen Dingen und den Jahrmarkt-artigen Vorführungen, sondern auch an den technischen Apparaten Vergnügen finden. Jetzt hingegen sagt ihm deren so ausserordentlich reichhaltige Sammlung, die vielleicht in der ganzen Welt ihres Gleichen nicht hat,

des Uhrzeigers um ihre horizontale Achse und machen so etwa hundertundzwanzig Umdrehungen in der Minute, oder zwei in der Sekunde. Aber nicht nur die Geschwindigkeit ist beiden Rädern gemeinsam, sondern, da beide aus genau gleicher Stellung zu genau derselben Zeit ihre Drehung beginnen, deren Phase. Beide Typenräder haben in ihrem Laufe zu gleicher Zeit gleiche Typen am gleichen Ort. Ist das *a* des einen Typenrades gerade an der Druckstelle, so ist es auch das *a* des andern. Beide Räder laufen synchron, wie die Zeiger zweier gleich gehender Uhren. Ein Stromstoss des gebenden Apparates (I) schickt seine magnetische Wirkung praktisch unendlich schnell über die Leitung, so dass diese Wirkung das Typenrad des empfangenden Apparates (II) gerade so weit herumgedreht findet, wie das des gebenden I. Genau so, wie bei I, ist auch bei II die gewünschte Type eben im Begriff, sich an der Druckvorrichtung vorbei zu drehen. Deshalb braucht nur der Stromstoss diese Druckvorrichtung elektromagnetisch auszulösen, damit das Papierband im richtigen Augenblick gegen das Typenrad geschlagen und die richtige Type abgedruckt wird.

Der Stromstoss wird mit Hilfe einer Klaviatur (Fig. 224) erzeugt, die der eines Klavieres äusserlich sehr ähnlich ist. Sie enthält vierzehn weisse und darüber ebenso viel schwarze, im ganzen achtundzwanzig Tasten. Es ist selbstverständlich, dass die Tasten mit den Typen des Typenrades in Beziehung stehen. Die Typen sind auch darauf geschrieben. Nur zwei, die erste und sechste der weissen Reihe sind unbeschrieben, blank. Auch das Typenrad (Fig. 223) hat zwei leere Stellen, und man kann sich denken, dass die Blanktasten nicht für den

---

wenigstens wenn er halbwegs Laie ist, so gut wie nichts. Die Fülle des Gebotenen verblüfft und verwirrt. Was soll jemandem eine ganze Sammlung von Relais, der nichts von ihrem Prinzip weiss? Er starrt die Schränke, die Tische an und geht mit einem Seufzer der Bewunderung weiter. Der für den Laien sehr niedrige, für den Telegraphenbeamten und den Elektriker nicht eben hohe Wirkungsgrad des jedenfalls sehr kostspieligen Museums lässt sich in der angegebenen und mancherlei anderen Weise um vieles steigern, ohne doch bei diskreter Anordnung das vornehme Gepräge des Ganzen zu stören.

Ähnliche Gesichtspunkte werden übrigens auch bei dem geplanten technischen Museum in München massgebend sein müssen, wenn es für das Laienpublikum einen wahren Nutzen haben soli.

Abdruck von Typen, sondern für die Herstellung der Zwischenräume zwischen den Worten des Telegramms vorhanden sind. Für den Abdruck von Typen bleiben demnach sechsundzwanzig Tasten. Nun macht aber, wenn man *i* und *j* trennt, die Buchstabengruppe unter den Typen allein schon sechsundzwanzig

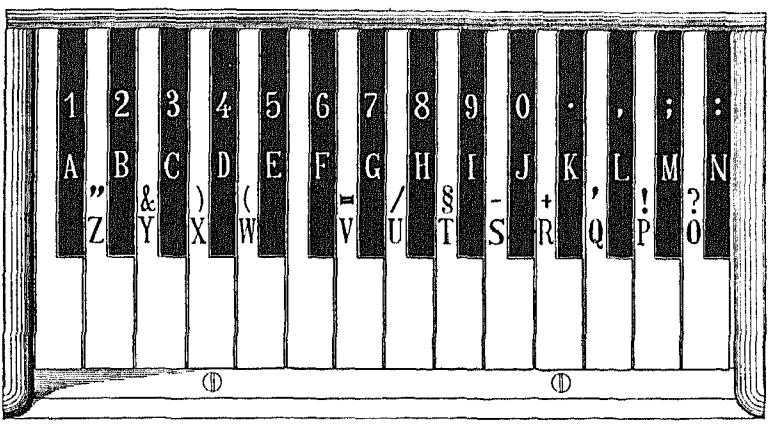


Fig. 224. Klaviatur.

aus. Dazu kommen in zweiter Typengruppe die Ziffern von Null bis Neun und sechzehn sonst notwendige oder wünschenswerte Zeichen, wie =, +[1]), &, §. Die zweite Gruppe zählt ebenfalls sechsundzwanzig Typen. Es wären demnach eigentlich zweiundfünfzig Tasten notwendig. Abgesehen von den beiden Blanktasten, sind aber nur sechsundzwanzig da. Es muss demnach jede Typentaste in zwei Bedeutungen gebraucht werden können und ein Wechsel der Typengruppe, ein Figurenwechsel möglich sein. Dieser Figurenwechsel ist die zweite Aufgabe der Blanktasten. So stellt die erste Blanktaste, das Buchstabenweiss, das Typenrad so um, dass statt Ziffern oder Zeichen Buchstaben gedruckt werden, und die sechste weisse, ebenfalls blanke Taste, das Ziffernweiss, thut das Umgekehrte.

[1]) Es sei hier beiläufig erwähnt, dass man bei Hughestelegrammen Adresse, Text und Unterschrift von einander durch Gleichheitszeichen = trennt und als Schluss des Ganzen ein Pluszeichen + setzt.

An jeder Taste ist hinten ein zweiarmiger Hebel angeschraubt. Diese Tastenhebel besitzen eine solche Länge und Gestalt, dass ihre nach hinten liegenden freien Enden in einem Kreise gruppiert sind. Sie können das aus diesem Bilde (Fig. 225) sehen, welches den Anblick wiedergiebt, den die

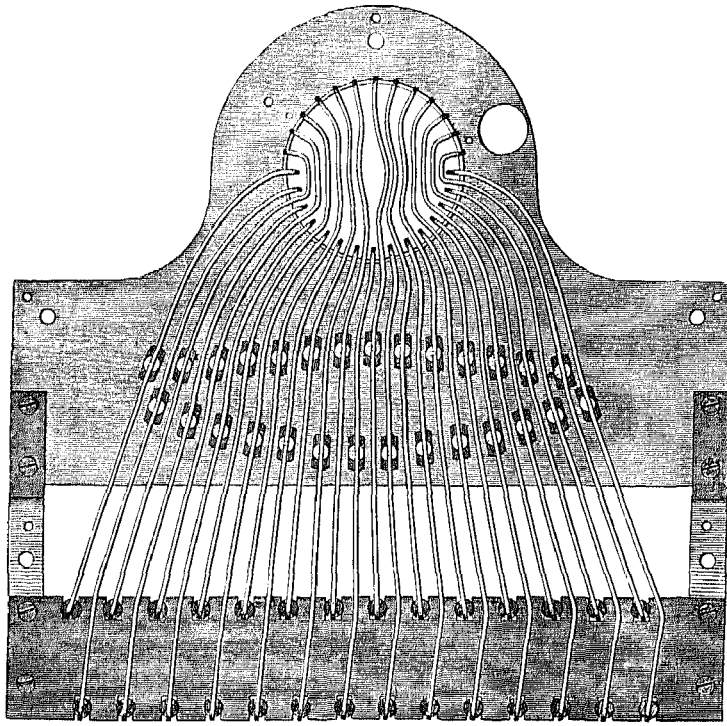


Fig. 225. Tastenwerk, von unten gesehen.

Tischplatte des Apparates einem sich unter sie bückenden Beschauer darbietet. Wird eine Taste gedrückt (Fig. 226), so hebt sich das zugehörige der im Kreise liegenden freien Hebelenden und stösst gegen einen vertikal und über ihm stehenden stiftartigen Schieber aus Stahl, den Contaktstift (Fig. 227). Solcher sind für jede Taste einer, im ganzen also achtundzwanzig Exemplare kreisförmig in der Stiftbüchse (Fig. 226) angeordnet. Diese ist in der Tischplatte eingelassen, und Boden (Fig. 228) und Deckel (Fig. 229) tragen jeder achtundzwanzig

ebenfalls im Kreise angeordneter Ausschnitte. Der nach unten und etwas nach der Kreismitte zu gerichtete Zug einer Feder zieht jeden Stift so weit wie möglich in den Bodenausschnitt hinein. Aber ein Druck auf die zugehörige Taste lässt das hintere Ende des Tastenhebels von unten gegen den Contaktstift schlagen und gegen den Federzug heben. Der Kopf des Contaktstiftes sieht dann oben aus seinem Ausschnitt im Stiftbüchsendeckel ein wenig hervor.

Fig. 227. Contaktstift.

Nun ist in diesem Deckel die vertikale Schlittenachse gelagert und mit ihr ein kompliziertes Hebelwerk, der Contaktschlitten (in Fig. 226 von der Seite, in Fig. 230 von oben) fest verbunden. Schlittenachse und Schlitten drehen sich, wobei der Schlitten dicht über dem Deckel der

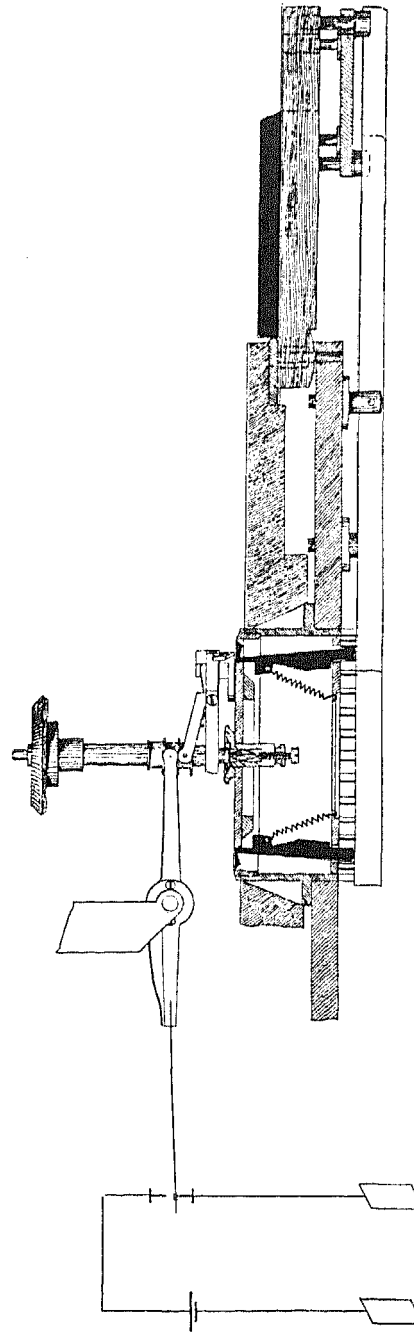


Fig. 226. Erregung des Stromstosses.

Stiftbüchse hinfährt. Hat nun ein Tastendruck den zugehörigen Stift hochgeschnellt, so hebt dieser einem zu dem darüber-

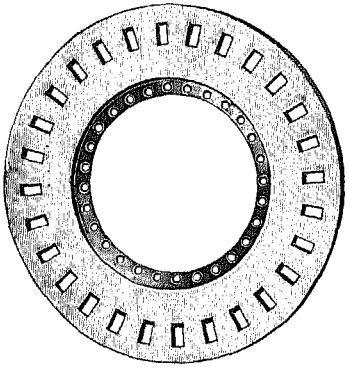


Fig. 228.
Boden

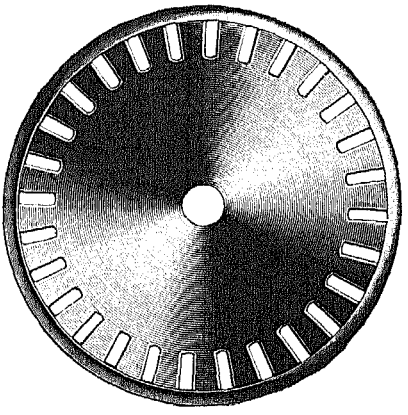


Fig. 229.
und Deckel
der Stiftbüchse.

fahrenden Schlitten gehörigen Winkelhebel den äusseren Arm (vgl. immer Fig. 226), und dessen innerer zieht eine Hülse

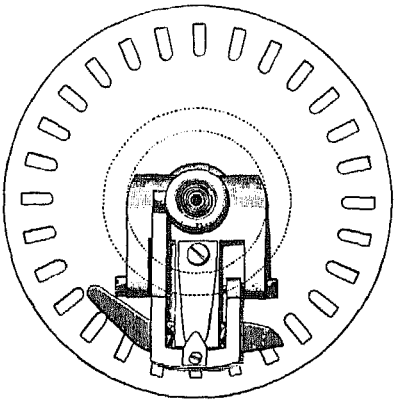


Fig. 230. Stiftbüchsendeckel mit Schlitten.

Fig. 231. Hülse.

etwas nach unten. Diese Hülse (Fig. 231) ist mit drei Flanschen versehen und, wie eine Manschette, lose auf die Schlittenachse

aufgeschoben. Auf der Hülse ruht der rechte Arm des zweiarmigen Contakthebels (Fig. 226 und 232). Die Abwärtsbewegung der Hülse dreht demnach den Hebel im Uhrzeigersinn. Eine seinen linken Arm verlängernde, mit Platinplättchen belegte Contaktfeder wird dadurch von ihrem unteren Anschlage entfernt und gegen den oberen gelegt. Der untere Anschlag

Fig. 232. Contakthebel in Teilen.

liegt an Erde, der obere an der Batterie, deren andere Klemme geerdet ist. Demnach fliesst, so lange der Schlittenhebel vom Kopf des Contaktstiftes[1]) gehoben wird, über den Contakthebel, den Metallkörper des eigenen Apparates und dessen Elektromagnetwicklung, auf die wir gleich zu sprechen kommen, ein Stromstoss in die Leitung. Dient umgekehrt der Apparat als Empfänger, so geht der aus der Leitung kommende Strom über Wicklung, Apparatkörper, Contakthebel und unteren Anschlag zur Erde. Wie Sie später sehen werden, drehen sich auch Typenrad und Schlitten des gebenden Apparates mit einander und mit dem Typenrad des empfangenden synchron, und zwar befindet sich der Schlitten immer über dem Contaktstifte derjenigen Type, welche auf dem Typenrade die Druckvorrichtung passiert. Das ist notwendig, damit die Type, deren Taste gedrückt wird, zum Abdruck kommt. — Der Stromstoss durchfliesst übrigens jetzt auch die Wicklung des gebenden Apparates. Bei älteren Apparaten vermeidet er die eigene Wicklung, und die eigene Druckvorrichtung wird nicht elektromagnetisch, sondern rein mechanisch ausgelöst. In jedem Falle aber schreibt der eigene Apparat das abgehende Telegramm mit auf.

---

[1]) Man sieht, wie wenig dem Contaktstift seine Bezeichnung gebührt. Denn er trägt nur mechanisch und mittelbar dazu bei, den Contakthebel umzulegen, und hat mit einem elektrischen Contakt nichts zu thun. Sein französischer Name goujon spielt auf seine lischartige Gestalt an und erinnert an unsere militärische Bezeichnung des Zeltflockes als Häring.

Damit sind wir zu dem empfangenden Teile des Hughesapparates, dem Elektromagneten (Fig. 233, 234 und 235) gekommen. Sie kennen ihn von dem ihm nachgebildeten Hughesrelais. Nur ist jetzt der Hufeisenmagnet aus mehr Lamellen zusammengesetzt und ist aufrecht unter der Tischplatte

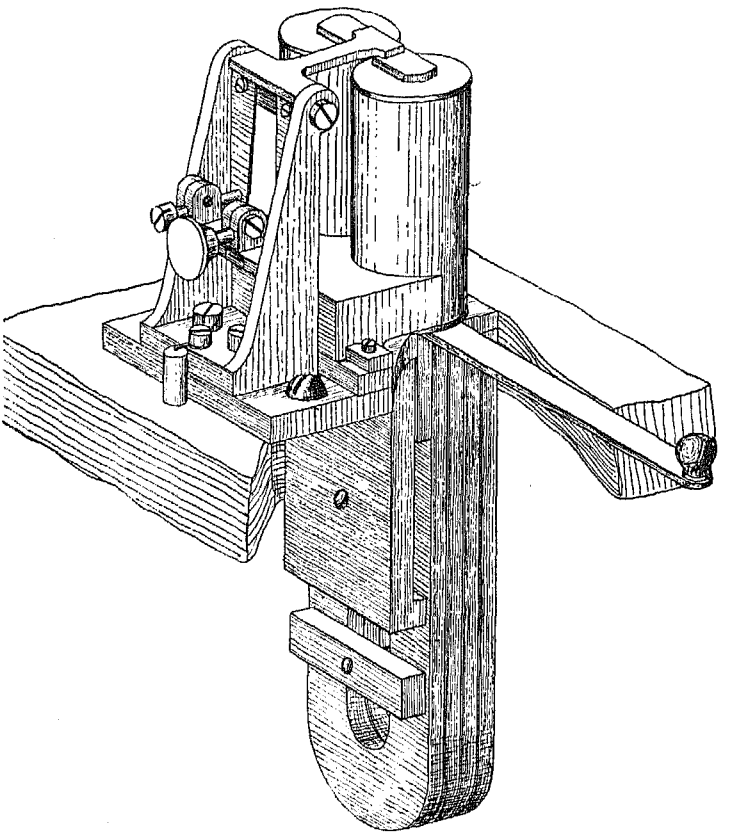


Fig. 233. Elektromagnet.

des Apparates und von unten sichtbar angebracht. Die aus bekanntem Grunde hohlen Eisenkerne stehen nicht, wie beim Relais, auf den Hufeisenschenkeln senkrecht, sondern bilden ihre Verlängerung. Die Spulen sind nach den Angaben aus 0,15 mm starkem Draht in zusammen etwa 17 000 Windungen vom Widerstande 1200 Ohm gewickelt. Der stets auf Abreissen

eingestellte Anker ist etwas eigenartig gestaltet (Fig. 233). Senkrecht nach unten trägt er zwei Ankerfedern, die gegen zwei horizontale Stellschrauben drücken. Von ihnen wird gewöhnlich nur die vordere verstellt. Die Lamellen des Hufeisens werden von einer Querverbindung zusammengehalten, die man ursprünglich aus Eisen wählt, so dass sie als — nicht sehr starker — magnetischer Nebenschluss wirkt. Wird das

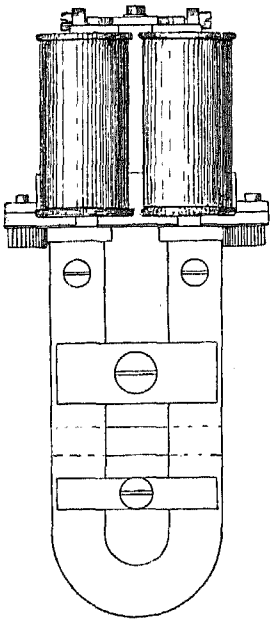


Fig. 234. Elektromagnet, von rechts gesehen.

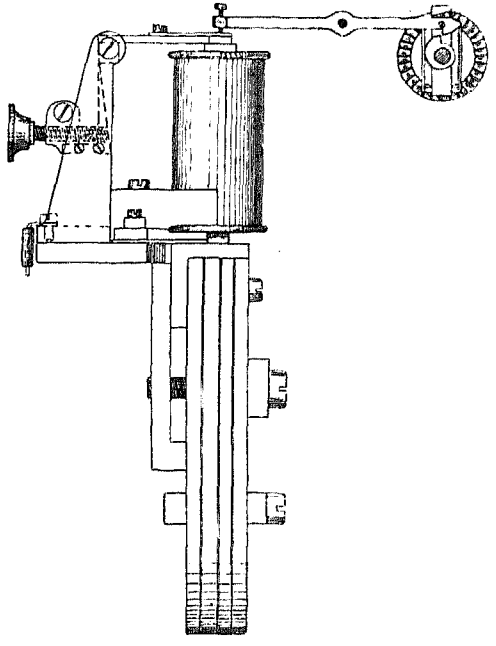


Fig. 235. Elektromagnet und Auslösung der Druckachse.

Hufeisen mit der Zeit schwächer magnetisch, so lässt man es von Messing statt von Eisen zusammenhalten. Ausserdem ist als regulierbarer magnetischer Nebenschluss ein Schwächungsanker vorhanden. Um ihn bequemer fassen zu können, ist er sehr lang ausgebildet und reicht mit seinem vorderen Messingknopf-besetzten Ende weit nach vorn vor. Die Kraft, mit welcher der Dauermagnet den Anker festhält, und die ihr entgegenwirkende Elasticität der Ankerfedern werden durch

Verschieben des Schwächungsankers und durch Verstellen der gegen die vordere Ankerfeder drückenden Schraube passend eingestellt. Ganz wie beim Relais (vgl. die rechte Hälfte des Diagramms auf S. 285), schwächen dann in den Eisenkernen die vom Telegraphierstrome erzeugten Kraftlinien die aus dem Dauermagneten und geben den drückenden Ankerfedern das Übergewicht. Der Anker schnellt in die Höhe. Mit dem Strome verschwinden auch seine Kraftlinien. Die des Dauermagneten allein überwinden den Federdruck. Der Anker kehrt zurück und kann auf einen neuen Stromstoss ansprechen. Um ein durch Remanenz bewirktes Kleben des Ankers zu verhindern, sind in bekannter Weise den Polschuhen Papierblätter aufgeleimt.

Die Wirkung des polarisierten Elektromagneten verlangt, um das beschriebene Abschnellen des Ankers veranlassen zu können, ihren Stromstoss natürlich in bestimmter Richtung. Nun liegt aber bald die eine Klemme der Batterie, bald die andere an der Leitung, so dass der Strom in der Wicklung falsch fliessen würde. Es ist deshalb der Tischplatte (auf ihrer linken hinteren Ecke) ein Stromwender aufgeschraubt. Seine Kurbel muss auf der hinteren Contaktschiene stehen, wenn die gebende Batterie ihre positive Klemme an der Leitung hat. Auf der Tischplatte liegt vor dem Stromwender ein Ausschalter, der bei seiner vorderen Kurbelstellung den Apparat von der Leitung abtrennt.

Sie wissen jetzt, wie ein Tastendruck einen Stromstoss in die Leitung schickt und wie dieser den Anker hochschnellen macht, und verlangen von der Arbeitsquelle zu hören, welche das ganze Räderwerk in Bewegung setzt und erhält. Dem Farbschreiber genügte die Elasticität einer Feder. Beim Hughesapparate sind grössere Massen mit grösserer Präzision zu bewegen. Früher benutzte man dazu den Zug eines an sechzig Kilo schweren Gewichtes (Fig. 220). Dabei war, ähnlich wie beim Farbschreiber, eine Reihe von Zahnradübersetzungen notwendig, um die von dem grossen Gewicht bei seinem langsamen Falle hergegebene Leistung in eine solche von kleiner Kraft

und grosser Geschwindigkeit umzusetzen. Diese Zahnradübersetzungen bewirkten es, dass Typenrad und Schlitten die schon

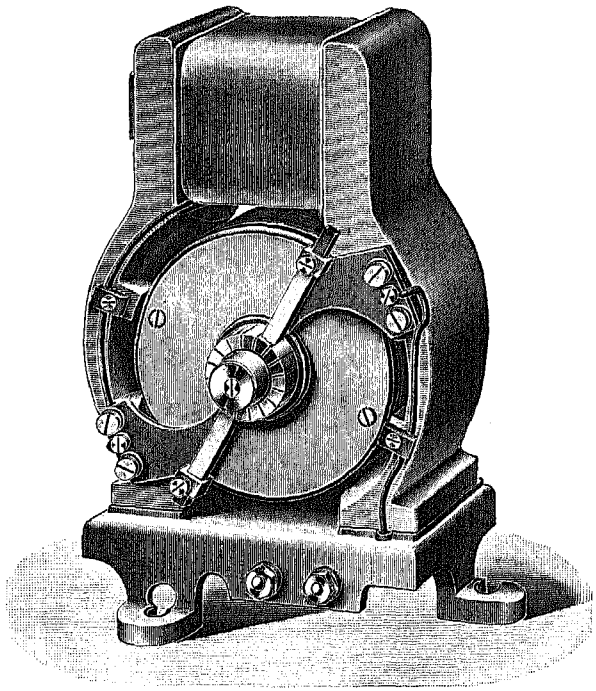


Fig. 236. Gleichstrommotor.

genannte Tourenzahl von 120 in der Minute machen konnten, wenn das von dem Gewicht unmittelbar angetriebene Rad sich etwas mehr als einmal — nämlich um 400° — drehte.

Die neueren Apparate werden nicht mehr von einem fallenden Gewicht, sondern von einem kleinen Gleichstrommotor (Fig. 236) angetrieben, dessen Anker (Fig. 237) im normalen Betriebe in der Minute an achthundert Umdrehungen macht. Je nach dem er für 110 oder für 65 Volt gewickelt ist, braucht er etwa 0,25 oder 0,43 Ampere,

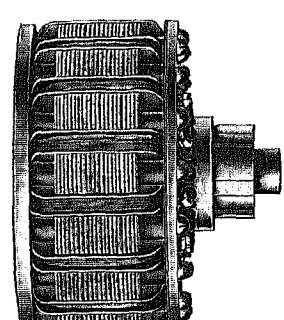


Fig. 237. Motoranker.

so dass er eine elektrische Leistung von rund 28 Watt aufnimmt und eine mechanische von weniger als $^1/_{30}$ PS abgiebt.

Die Achse des Motorrankers (Fig. 238) liegt horizontal und der Breitseite des Tisches parallel. Sie trägt ein Kegelrad (Fig. 239), das in ein anderes, links zu ihm senkrechtes und gleich grosses, aber doppeltes (Fig. 240) eingreift. So wird eine zweite, von vorn nach hinten gelagerte Achse mit gleicher

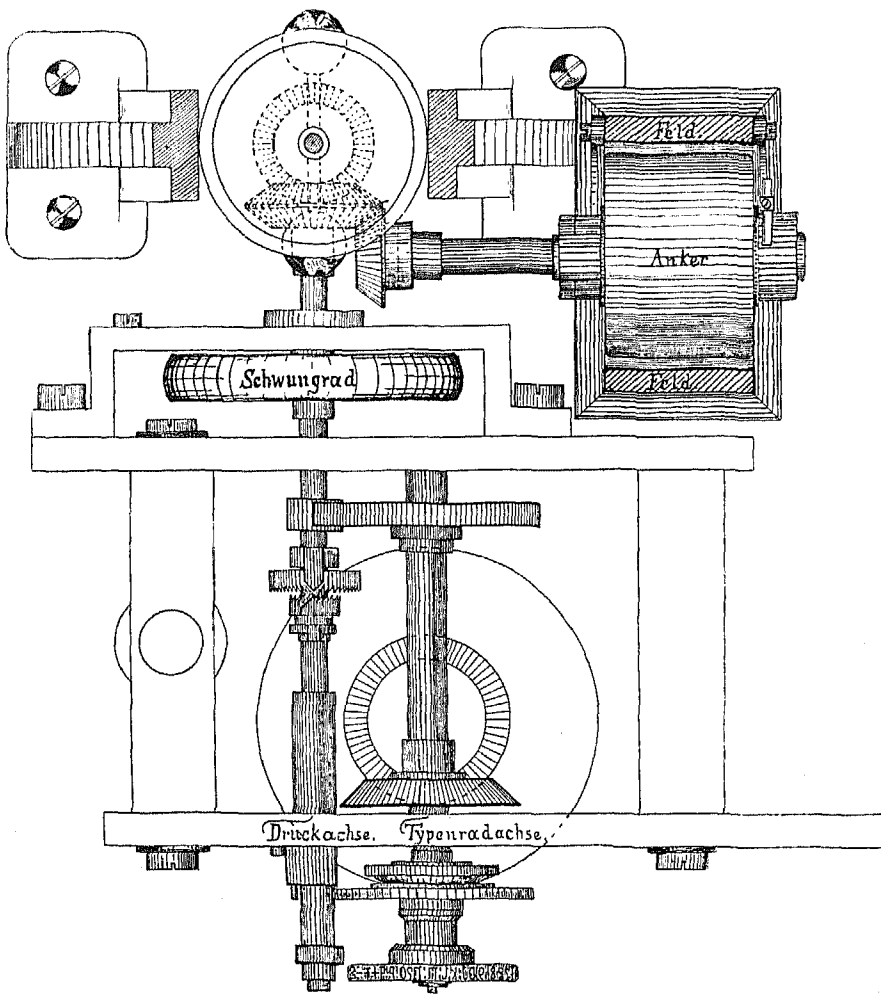


Fig. 238. Wichtigste Teile des Triebwerks.

Umdrehungszahl — etwa achthundert pro Minute — angetrieben. Diese Achse trägt zur Vermehrung ihres gleichförmigen Laufes ein Schwungrad (Fig. 241). Es ist die berühmte Schwungradachse. Von ihr erhält die Achse des Typenrades ihre Drehung. Ein Zahnrad von hundertsechsundzwanzig Zähnen überträgt auf eins mit achtzehn, so dass die Winkelgeschwindigkeit

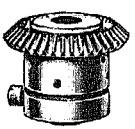


Fig. 239.
Kegelrad der Motorachse.

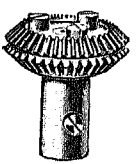


Fig. 240.
Kegelrad der Schwungradachse.

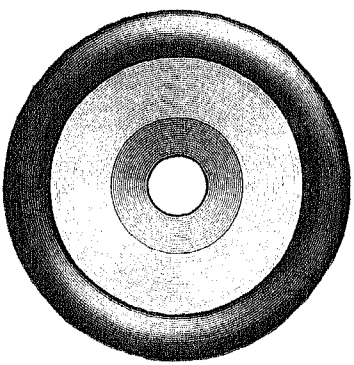


Fig. 241. Schwungrad.

von der Schwungrad- auf die Typenradachse auf ein Siebentel verzögert wird und die erwähnte Umdrehungszahl von etwa hundertundzwanzig in der Minute zu Stande kommt. Die Typenradachse treibt über ein Paar Kegelräder von gleicher Zahnzahl die Schlittenachse an, so dass Typrenrad und Schlitten, wie verlangt wurde, mit gleicher Tourenzahl laufen. Wie die Phasengleichheit zu Stande kommt, davon später.

Eine Verlängerung der Schwungradachse nach vorn bildet die Druckachse; wenigstens sind ihre Mittellinien Verlängerungen von einander (Fig. 238). Die Schwungradachse trägt auch vertikal ein mit scharfen Zähnen versehenes Kuppelungsrad und die Druckachse einige dazu passende Kuppelungszähne; auch ist eine Feder bestrebt, die Zähne dem Rade anzudrücken. Aber für gewöhnlich verhindert eine Hemmung, dass die Zähne sich, dem Federdruck folgend, in das Rad schieben, und dass die achthundert Mal in der Minute rotierende Schwungradachse die ruhende Druckachse mitnimmt. Der elektromagnetisch hochschnellende Anker beseitigt aber durch seinen Schlag gegen den Auslösehebel (Fig. 235 auf S. 349) für die Dauer einer Drehung,

also für etwa $^1/_{14}$ Sekunde, diese Hemmung (Fig. 238). Die Druckachse kann sich gerade einmal herumdrehen. Dann drängt die Hemmung die Kuppelungszähne von dem Kuppelungsrade wieder ab, und die Schwungradachse giebt die Druckachse wieder frei.

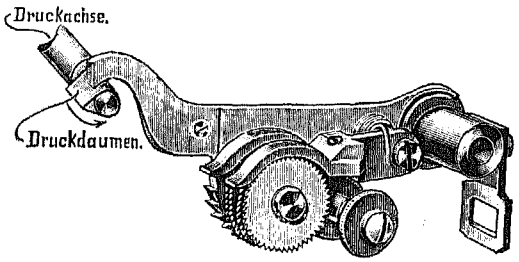


Fig. 242. Druckhebel.

Nun sehen Sie hier (Fig. 242) den vorn am Apparate befindlichen Druckhebel, welcher die das Papierband führenden Theile trägt. (Der Papierlauf geht aus Fig. 221 hervor.) Sein linkes freies Ende ist zu einem gekrümmten Finger ausgebildet. Der gekrümmte Finger liegt auf der sich unter ihm drehenden Druckachse auf und wird bei jeder Drehung einmal von einer seitlich an der Druckachse sitzenden Ausstülpung, dem Druckdaumen, mitgenommen. Die Aufwärtsbewegung führt den Druckhebel mit dem von einer Gummirolle gestützten Papierband gegen das Typenrad und druckt die an der Druckstelle befindliche Type ab. Rechts oben ist dem Typenrade ein Farbrad mit seinem Farbe-getränkten Filzüberzuge angedrückt. Hierdurch wird das Typenrad ähnlich, wie beim französischen Farbschreiber das Schreibrad, mit Farbe benetzt. Das Farbrad trägt den Filzüberzug zwischen vorstehenden Rändern, welche ein Überlaufen der Farbe und eine unbeabsichtigte Berührung mit dem Filz verhindern. Mit jedem Hochklappen des Druckhebels wird das Papierband um die Breite eines Typenfeldes nach links vorgeschoben.

Ein die Elektromagnetwicklung durchfliessender Stromstoss hat also, um es zu wiederholen, folgende Wirkungen: Der Anker schnellt gegen den Auslösehebel. Dieser beseitigt die Hemmung, welche die Verkuppelung der rotierenden Schwung-

rad- und der ruhenden Druckachse hindert. Diese Achsen werden für eine Umdrehung mit einander gekuppelt. Der sich mit der Druckachse drehende Druckdaumen schiebt den gekrümmten Finger und damit den Druckhebel in die Höhe. Das um ein Typenfeld vorgerückte Papierband wird gegen das Typenrad geschlagen und die an der Druckstelle befindliche Type abgedruckt.

Betrachten Sie nochmals die Zeichnung (Fig. 223 auf S. 341) des Typenrades mit dem umgeklappten Rand und den Typen in Spiegelschrift. Über den ganzen Ring wechseln beide Typengruppen mit einander ab. Die beiden weiss gebliebenen Felderpaare entsprechen den Blanktasten. Das Felderpaar zwischen z und 1 ist das Buchstabenweiss, das zwischen v und dem Zeichen für Klammer-auf das Ziffernweiss.

Es wird nun von dem Typenrade dreierlei verlangt. Für gewöhnlich muss es von der ununterbrochen rotierenden Typenradachse mitgenommen werden, ohne auf ihr zu schlüpfen. Trotzdem soll es, damit die Räder beider Apparate synchron laufen, plötzlich von der sich drehenden Achse gelöst, in einer bestimmten Stellung angehalten und später aus dieser Stellung ebenso plötzlich wieder in Gang gesetzt werden können. Drittens muss das Rad um die Breite eines Typenfeldes, das heisst um $^1/_{56}$ Kreisumfang oder $\frac{360^0}{56} = \text{rd. } 6{,}5^0$ vor und wieder zurück geschoben werden können, ohne dadurch den Halt auf der Achse zu verlieren. Diese Verschiebung hat natürlich den Zweck, bald Buchstaben, bald Ziffern oder Zeichen an der Druckstelle, das heisst an der Stelle des Typenrades zu haben, gegen die der Druckhebel das Papierband schlägt. Mit dem Typenrade muss eben das vorgenommen werden, was wir früher den Figurenwechsel nannten.

Diese drei Anforderungen an das Typenrad scheinen einander zu widersprechen. Sie werden aber trotzdem und ziemlich einfach erfüllt. Das Typenrad ist seiner Achse nämlich nicht unmittelbar aufgesetzt, sondern beide sind erst unter Vermittelung zweier Buchsen und zweier anderer Räder, des Correktions- und des Friktionsrades, mit einander verbunden

(Fig. 243b). Die Reihenfolge der drei ist, von vorn angefangen, Typenrad, Correktionsrad, Friktionsrad. Das Correktionsrad sieht man mit seinen achtundzwanzig scharfen Zähnen hinter dem Typenrad hervorragen. Von den drei Rädern können Sie nur das hinterste, das Friktionsrad als der Achse unmittelbar aufgeschraubt ansehen. Die beiden andern werden von Buchsen getragen, die sich auf der Achse und gegen einander drehen

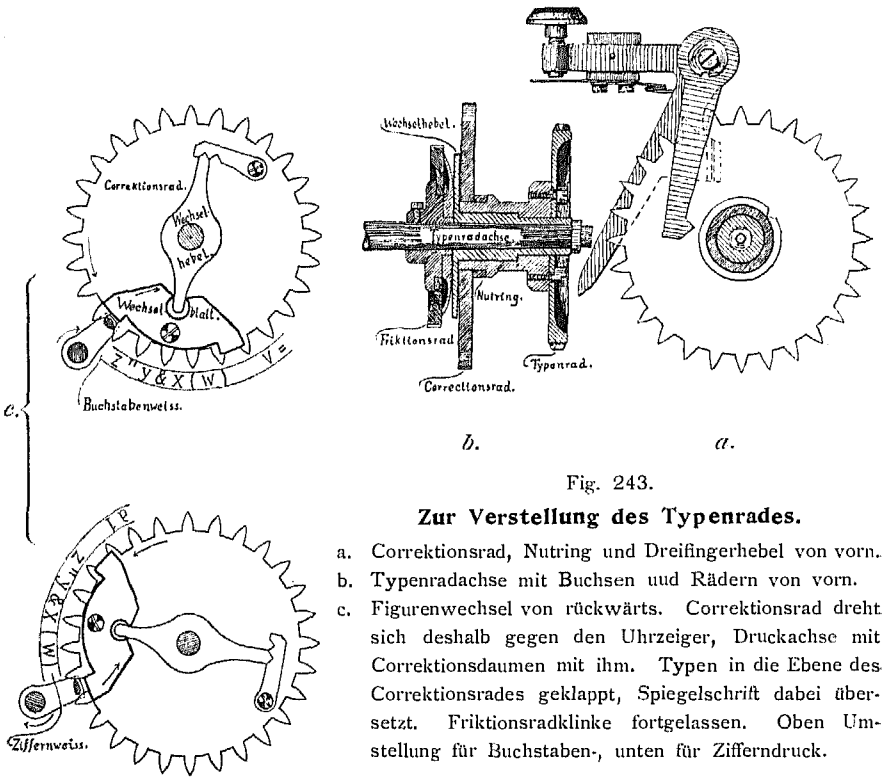


Fig. 243.

Zur Verstellung des Typenrades.

a. Correktionsrad, Nutring und Dreifingerhebel von vorn.
b. Typenradachse mit Buchsen uud Rädern von vorn.
c. Figurenwechsel von rückwärts. Correktionsrad dreht sich deshalb gegen den Uhrzeiger, Druckachse mit Correktionsdaumen mit ihm. Typen in die Ebene des Correktionsrades geklappt, Spiegelschrift dabei übersetzt. Friktionsradklinke fortgelassen. Oben Umstellung für Buchstaben-, unten für Zifferndruck.

können, und zwar ist die Achse zunächst von der Typenradbuchse und diese von der Correktionsradbuchse umgeben. Die Typenradbuchse reicht mit ihrem hinteren Ende gerade durch die Correktionsradbuchse hindurch, und dort ist ihr ein eigenartig geformter Stahlhebel, der Wechselhebel[1]) aufgelötet

[1]) Andere Beschreibungen haben für diesen Hebel keinen Namen und nennen Wechselhebel, was Sie als Wechselblatt kennen lernen werden.

(Fig. 243b und c). Dessen eines Ende ist zugespitzt und passt in jeden von zwei Ausschnitten einer einschnappenden Klinke, welche Klinke der hinteren Seite des Correktionsrades aufgeschraubt ist. Wird in der nachher zu besprechenden Weise der Wechselhebel aus einem Klinkenausschnitt in den andern oder wieder zurück geklappt, so dreht sich mit dem Wechselhebel auch Typenradbuchse und Typenrad und zwar um denselben Winkel, wie die Mittellinie des Wechselhebels. Dieser Winkel ist auf $^1/_{56} . 360^0$ bemessen. Das Typenrad wird demnach durch den Wechselhebel gerade um ein Typenfeld verstellt und die Typengruppe gewechselt.

Also Correktions- und Typenrad sind trotz der Leichtigkeit des Figurenwechsels fest miteinander verbunden. Wie bekommen sie nun ihren Halt auf der Achse? Durch eine zweite und mit Zähnen versehene Schnappklinke, welche ebenfalls der Rückseite des Correktionsrades aufgeschraubt und in der Zeichnung fortgelassen ist. Diese zweite Klinke packt das Friktionsrad mit ihren Zähnen und hält dadurch Correktions- und Typenrad am Friktionsrad und damit an der Achse fest. Nun wird aber verlangt, dass trotz Weiterlaufs der Achse das Typenrad in bestimmter Stellung stillgesetzt werden kann. Die Kupplung Zahnklinke/Friktionsrad muss deshalb in bestimmter Stellung lösbar sein. Dazu dient der vorn am Apparat sichtbare Dreifingerhebel (Fig. 243a). Dessen drei Finger sind fest miteinander verbunden. Ein Druck des Beamten auf den Kopf des horizontalen Fingers lässt die beiden andern nach rechts schlagen. Dadurch drängt der längere von beiden die Zahnklinke vom Friktionsrad ab und löst damit die Kupplung. Das plötzliche Feststellen besorgt dann der kürzere der nach unten gerichteten Finger dadurch, dass er mit seinem Keil in die Nut des auf die Correktionsradbuchse aufgezogenen Nutringes eingreift, sich gleichsam einkrallt.

Die Feststellung des Typenrades hat erst Zweck, wenn bei beiden als Geber und Empfänger arbeitenden Apparaten die Typenräder und damit zugleich die Schlitten mit gleichförmiger und mit gleicher Geschwindigkeit umlaufen. Beides besorgt der Bremsregulator. Dieser hat also beim Hughesapparat zunächst die gleiche Aufgabe zu versehen, wie beim Farbschreiber der Windfang. Er hält, unterstützt von dem

Schwungrade, die Geschwindigkeit des Laufwerks über alle Störungen fort, peinlich genau auf derselben unveränderten Höhe. Sie sehen ihn hier (Fig. 244) photographiert und hier (Fig. 245) gezeichnet. Seine vertikale Achse, von einem guss-

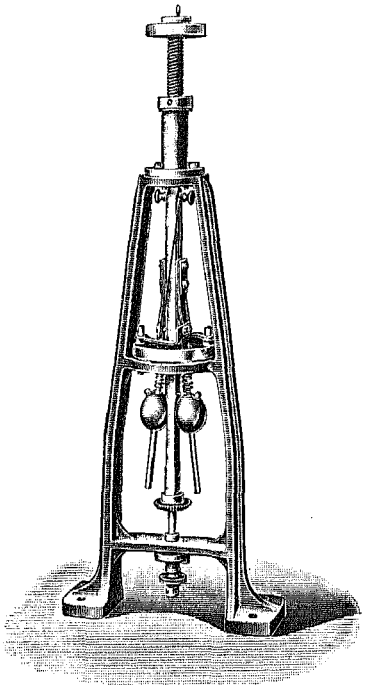


Fig. 244.

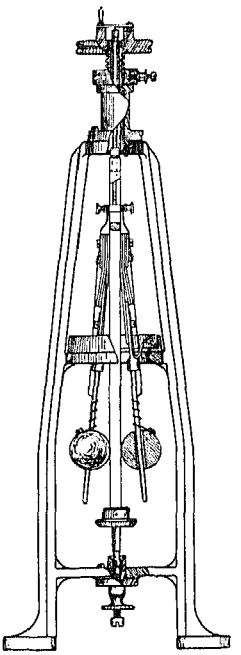


Fig. 245.

Bremsregulator.

eisernen Bocke getragen, wird durch Kegelräder vom Gleichstrommotor angetrieben. Mit ihr drehen sich zwei mit Schwungkugeln belastete und zur leichteren Abgleichung der Elastizität aus Blattfedern zusammengesetzte Arme. Je schneller die Drehung, umso weiter treibt ähnlich, wie beim Wattschen Regulator, die Trägheit die Schwungkugeln auseinander, und umso mehr schleifen zwei weiter oben an den Armen befestigte Bremspfropfen aus Leder gegen die innere Wand eines Bremsringes. Je schneller also die Drehung, umso mehr wird

gebremst.[1]) Die Geschwindigkeit behält demnach, auch wenn sie sich oben ändern will, den ihr zukommenden Wert bei. Nun soll man den Wert dieser gleichförmigen Geschwindigkeit in gewissen Grenzen — üblich sind zwischen hundert und hundertfünfundzwanzig Typenradtouren in der Minute — verändern können. Das geschieht einfach durch Drehen einer, den Regulator krönenden, gesicherten Regulierschraube. Ihre Drehung bewirkt ein Hochziehen oder Herablassen der an Stahldrähten hängenden Schwungkugeln auf den Armen, damit eine Verkürzung oder Verlängerung des Hebelarmes der Kraft, mit der die Kugeln die Arme spreitzen machen, und damit schwächere oder stärkere Bremsung, das heisst schnelleren oder langsameren Lauf des Räderwerks.

Den mit einander sprechenden Ämtern ist eine Geschwindigkeit des Räderwerkes als zwischen ihnen üblich bekannt. Der gebende Beamte erteilt seinem Apparat (*I*) durch Einstellung der Kopfschraube am Bremsregulator ungefähr diese übliche Geschwindigkeit und drückt eine beliebige Taste mehrmals hintereinander. Apparat *II* hat die Geschwindigkeit *I* aufzunehmen. Läuft er von vornherein ebenso schnell, so erscheint auf seinem Papierstreifen wiederholt ein und derselbe Buchstabe. Es ist aber noch kein Grund vorhanden, dass das auch der Buchstabe ist, dessen Taste der Beamte *I* gedrückt hat. Wenn aber Apparat *II* noch nicht die Geschwindigkeit von *I* aufgenommen hat, so wird auf dem Papierband *II* eine Reihe verschiedener Buchstaben abgedruckt. Die Folge der Buchstaben zeigt, welcher Apparat schneller läuft. Liest der Beamte *II* zum Beispiel auf seinem Papierband *r q p*, so weiss er (vergl. Fig. 223), dass sein Apparat mit dem des Amtes *I* nicht mitkommt. Denn dessen Typenrad steht mit dem *r* schon wieder in der Druckstellung, das seinige erst mit *q* und dann mit dem *p*. Sein Typenrad läuft eben langsamer, als das des Apparates *I*. Handelte es sich um Uhren, würde die seine nachgehen. Da es — um im Bilde zu bleiben — vorläufig nicht auf gleiche Zeitangabe,

[1]) Hierbei ist vorausgesetzt, dass der Motor mit steigender Belastung einen Tourenabfall erleidet.

sondern nur auf gleiche Zeigergeschwindigkeit ankommt, so verstellt er nicht die Zeiger, sondern schiebt den Rücker der hemmenden Unruhe weiter auf *A* (Avant) zu. Dadurch wird die Hemmung vermindert, der Lauf beschleunigt. Dasselbe erreicht der Beamte am Hughesapparat *II*; indem er die Schwungkugeln des Bremsregulators mit der Kopfschraube vorsichtig solange hebt, bis sich auf seinem Papierband immer der gleiche Buchstabe wiederholt.

Wie erwähnt, braucht dieser mehrfach kommende Buchstabe nicht der gleiche zu sein, wie der, dessen Taste der Beamte *I* drückt. Dazu müssen beide Apparate ausser gleicher Geschwindigkeit auch gleiche Phase der Bewegung haben. Ihr Lauf muss aus einem isochronen zu einem synchronen werden. Beide Beamte drücken deshalb auf den Kopf des Dreifingerhebels. Sie haben gesehen, dass dadurch das mit der Typenradachse unverändert weiter laufende Friktionsrad das mit dem Typenrad verbundene Correktionsrad sofort fahren lässt und der Keil in den Nutring der Correktionsradbuchse einschlägt. Das Typenrad wird aus vollem Laufe plötzlich und zwar so festgestellt, dass sich das Buchstabenweiss in der Druckstellung befindet.

Jetzt drückt der Beamte *I* die erste Blanktaste, das Buchstabenweiss. Der dadurch erzeugte Stromstoss schnellt auf beiden Apparaten gleichzeitig den Anker hoch. An beiden Apparaten veranlasst der Auslösehebel, dass sich die rotierende Schwungrad- mit der ruhenden Druckachse kuppelt. Früher war der Druckdaumen (Fig. 242) erwähnt worden, welcher, ein seitlicher Vorsprung, an der Druckachse sitzt und den Druckhebel an seinem gekrümmten Finger mit hochnimmt. Die Druckachse trägt noch einen zweiten seitlichen Vorsprung: den Correktionsdaumen (Fig. 243c) und zwar etwas weiter rückwärts, dort, wo sie die Ebene des Correktionsrades schneidet. Der Correktionsdaumen passt mit seiner Länge eben in die Breite einer Lücke des Correktionsrades hinein. Ist nun durch den Stromstoss der Buchstabenweisstaste *I* an beiden Apparaten die Druckachse in Umdrehung versetzt, so befreit der Correktionsdaumen das Correktionsrad von seiner Hemmung und hängt es gemeinsam mit dem Typenrade dem Friktionsrade an. Beide Typenräder beginnen ihren gleich schnellen Lauf aus gleicher Stellung in

dem Augenblick, in welchem der Schlitten *I* auf den hochgeschnellten Contaktstift des Buchstabenweiss stösst. Sie laufen demnach mit dem Schlitten *I* synchron, und zwar wird die Drehungsphase vom Schlitten *I* angegeben und den beiden Typenrädern aufgenommen. Ein Schlitten wirkt immer nur beim Geben mit und der des empfangenden Apparates beteiligt sich garnicht an der Übermittlung der Depesche. Sein Lauf ist für sie gleichgiltig und, wenn er auch ebenso schnell geschieht, wie der der Typenräder und des Schlitten *I*, so ist er doch — von einem Zufall mit kleiner Wahrscheinlichkeit abgesehen — nicht synchron.

Der Correktionsdaumen dient also erstens dazu, das Typenrad im richtigen Augenblick seine Drehung beginnen zu lassen. Zweitens hat er den Auftrag, kleine Abweichungen des Synchronismus zu korrigieren. Gerade, während gedruckt wird, dreht sich der Correktionsdaumen gegen den Uhrzeiger durch eine Zahnlücke des mit dem Uhrzeiger rotierenden Correktionsrades hindurch. (In der von hinten gesehenen Fig. 243c umgekehrt.) Hierbei lässt das Correktionsrad bei seinem, also auch des Typenrades vollendet synchronen Lauf den Correktionsdaumen durch die Zahnlücke unberührt hindurch. Sind aber Correktions- und Typenrad ein klein wenig zurückgeblieben, so giebt der Correktionsdaumen dem Correktionsrade an einer unteren Zahnkante einen kleinen Anstoss nach vorwärts (aufwärts), im umgekehrten Falle an einer oberen Zahnkante nach rückwärts (abwärts). Der über alles wichtige Synchronismus ist gerade während des Druckens wiederhergestellt. Jeder Druck einer Type wird geneigt sein, den Synchronismus ein wenig zu stören. Deshalb folgt sofort die Controlle und etwaige Abhilfe durch den Correktionsdaumen. Die Unregelmässigkeit wird sofort wieder ausgeglichen.

Damit ist die Thätigkeit des Correktionsdaumens noch nicht erschöpft. Sie erinnern sich des Wechselhebels, der bei seinem Umklappen aus einem Klinkenausschnitt in den andern das Typenrad um ein Typenfeld verstellt. Dieses Umklappen besorgt nun auch der Correktionsdaumen und zwar so: Auf der der Klinke gegenüberliegenden Seite endet der Wechselhebel in dem Wechselblatt, welches etwa die Form eines Kreissegmentes hat und um eine Schraube drehbar ist. Es trägt

zwei Vorsprünge. Der eine dieser Vorsprünge bedeckt immer eine Lücke zwischen zwei Zähnen des Correktionsrades, wenn der andere nur bis an die Wurzel der beiden eine andere Lücke bildenden Zähne heranreicht. Diese andere, freie Lücke ist die sechste, wenn man die bedeckte als die erste zählt. Ein Druck auf das Buchstabenweis des Apparates I lässt den Correktionsdaumen beider Apparate durch die (Fig. 243c oben) bedeckte, — die Buchstabenlücke gehen. Dabei schlägt er das Wechselblatt so bei Seite, dass sich das — von hinten gesehen — gegen den Uhrzeigersinn dreht und der andere Vorsprung die sechste Lücke bedeckt. Das Wechselblatt nimmt den Wechselhebel mit sich, so dass er sich im Uhrzeigersinne dreht und sein spitzes Ende in den linken Klinkenausschnitt klappt. Damit ist das Typenrad zum Druck von Buchstaben umgestellt. Soll mit dem Typenrade der umgekehrte Figurenwechsel vorgenommen werden, so drückt der gebende Beamte sein Ziffernweiss. Der Correktionsdaumen schlägt in die sechste, die Ziffernlücke. Das Wechselblatt dreht sich im Uhrzeigersinn, der Wechselhebel dagegen und klappt in den Ziffernausschnitt der Klinke. Die Verstellung des Typenrades von Buchstaben auf Ziffern und Zeichen geschieht, immer von hinten gesehen, gegen den Uhrzeiger, und so sind ja auch die beiden Bedeutungen einer Taste auf dem Typenrade angeordnet.

Wie die Blanktasten ausser dem Figurenwechsel der Herstellung der Zwischenräume dienen, ergiebt sich aus dem Vorhergehenden von selbst. Für Zwischenräume zwischen Worten wird das Buchstabenweiss, zwischen Ziffern oder Zeichen das Ziffernweiss gedrückt. Der Druckhebel schlägt dann das Papierband gegen eine nicht mit Typen besetzte Stelle des Typenrades. Gleichzeitig geht der Correktionsdaumen durch die freie, nicht durch die vom Wechselblatt bedeckte Lücke des Correktionsrades, demnach ohne Wirkung hindurch. Das Typenrad bleibt auf die Typengruppe, die es eben gedruckt hat, weiter eingestellt.

Die den Hughesapparat bedienenden Beamten lernen gleich von Anfang an folgende Regel kennen: Während eines und desselben Schlittenumlaufes darf nach keiner Taste eine nähere

gedrückt werden, als die fünfte auf sie folgende oder, wenn jene als die erste gezählt wird, als die sechste. Während des gleichen Schlittenumlaufs kann, auf *a* folgend, nicht *b* oder *c* oder *d* oder *e* gedruckt werden, sondern erst *f*. Folgt im Wortlaut des Telegramms eine nähere Type, so ist der nächste Schlittenumlauf abzuwarten, der — wie Sie wissen — etwa eine halbe Sekunde später beginnt. Immerhin macht die Vorschrift den Hughesapparat weniger leistungsfähig, als er ohne sie sein würde.

Um ihre Notwendigkeit einzusehen, erinnere man sich, dass die Schwungradachse gerade sieben Mal so schnell umläuft, als Typenradachse und Schlitten. Die Schwungradachse ist pro Tastendruck solange mit der Druckachse gekuppelt, als sie einmal, der Schlitten also ein siebentel Mal umläuft und als er dabei über ein siebentel des Umfanges oder $^1/_7 . 28 =$ 4 Contaktstifte hinfährt. Schwungrad- und Druckachse sind nicht nur gekuppelt, solange der Schlitten sich über dem Contaktstift der gedrückten Taste, sondern auch noch, während er sich über den drei nächsten befindet. In dieser Zeit einen neuen Stromstoss zu erzeugen, hätte keinen Sinn. Denn der einzige Zweck des Stromstosses, Druck- und Schwungradachse plötzlich zu kuppeln, ist unausführbar, weil sie noch gekuppelt sind. Also während eines Schlittenumlaufes darf nach *a* weder *b* noch *c* noch *d* gedruckt werden. Aber wie ist es mit *e*? Das ist auch noch verboten, und doch würde sein hochgeschnellter Contaktstift mit seinem Stromstoss bewirken, dass die beiden Achsen, welche sich eben entkuppeln wollen, weiter gekuppelt bleiben. Man möchte glauben, alles sei in Ordnung, und *e* würde gedruckt. Man übersieht dabei, dass zum Ent- und Wiederkuppeln der Achsen Zeit gehört. Trotzdem sie sicherlich sehr kurz ist, darf sie nicht vernachlässigt werden. Es ist der Verlust dieser Zeit, welcher beim Druck auf die der gedrückten *(a)* folgende vierte Taste *(e)* fortfiele. Zu sicherem Abdruck bleibt nichts übrig, als Ent- und Wiederkupplung der Achsen abzuwarten. Erst die fünfte folgende Taste *(f)* darf gedrückt werden. Die gegebene Vorschrift besteht zu Recht.

Abgesehen von diesem Abwarten der fünften folgenden Type, muss der Beamte natürlich aus jedem Schlittenumlauf soviel Typen herausholen, als ihm der Wortlaut seines Tele-

grammes erlaubt. Sobald er eine Type, deren Druck möglich ist, auslässt, verliert er damit eine volle halbe Sekunde. Dabei finden dann sieben Schwungradumläufe bei ruhender Druckachse und demnach statt, ohne dass der Correktionsdaumen den Synchronismus von Correktions- und Typenrad kontrolliert. Man läuft so Gefahr, dass die kleinen Unregelmässigkeiten des Laufes zu störender Grösse anwachsen.

Dass die Dauer des jedesmal in die Leitung geschickten Stromstosses in der That sehr klein ist, zeigt folgende Überlegung. Der Schlitten mache hundertundzwanzig Umdrehungen in der Minute, jede Umdrehung daure also eine halbe Sekunde. Im Stiftbüchsendeckel sind achtundzwanzig Ausschnitte vorhanden. Wenn dann der Schlitten ungefähr die doppelte Breite hat wie die Entfernung zweier Ausschnitte, so bleibt er etwa für den achtundzwanzigsten Teil einer Sekunde über einem gehobenen Contaktstift und solange dauert der Stromstoss.

Zum Schlusse ist noch kurz über die Schaltung im Hughesapparate zu sprechen, dabei aber, wie sonst, prinzipiell weniger wichtiges zu übergehen. Der ankommende Strom geht, wie die Skizze (Fig. 246) zeigt, von der Leitung über die Magnet-

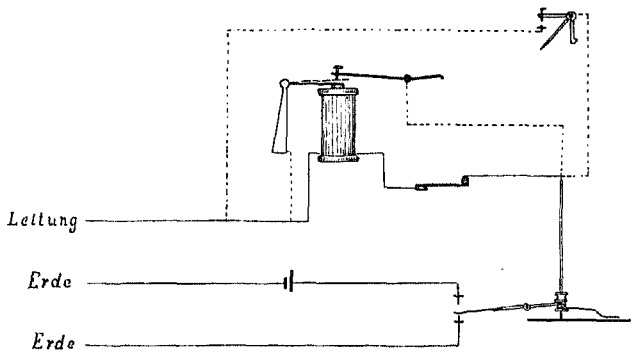


Fig. 246. Schaltung.

wicklung, den Apparatkörper, die Schlittenachse, den Contakthebel und dessen Ruhecontakt zur Erde. Warum in den Stromweg eine vom Apparatkörper isolierte Feder und der Correktionsdaumen eingeschaltet ist, werden Sie gleich einsehen.

Vorher bitte ich noch zweierlei zu beachten. Erstens stösst der das Typenrad feststellende Druck den Kopf des Dreifingerhebels auf die unter ihm angebrachte s. g. Ausschlussfeder und schliesst dadurch für die Dauer dieses Druckes auf dem oberen der beiden gestrichelten Stromwege die Magnetwicklung kurz. Für die Dauer des Feststellens verhindert man dadurch eine etwaige störende Verkupplung der Druckachse und den damit verbundenen Anstoss des Typenrades durch den Correktionsdaumen. Ein zweiter Kurzschluss der Magnetwicklung wird durch den hochgeschnellten Anker besorgt. Dann fliesst ein unnötig lange andauernder Strom der fremden oder der eigenen Batterie auf dem unteren gestrichelten Wege über Ankergestell, Anker und Auslösehebel an der kurzgeschlossenen Wicklung vorbei und hält den Anker nicht unnötig hochgeklappt.

Die Abwärtsbewegung des Ankers induziert nun in der Magnetwicklung eine Elektromotorische Kraft. Nach dem Schema ist das ein Fall von Ankerinduktion. Diese induzierte Elektromotorische Kraft würde in der Wicklung, wenn ihr Kreis geschlossen bliebe, ein Strom hervorrufen. Der Induktionsstrom müsste nun nach dem Lenzschen Gesetze eine solche Richtung haben, dass er den sich annähernden Anker abzustossen sucht, mithin eine gleiche, wie der kommende oder gehende Telegraphierstrom. Wir hätten denselben Fall wie beim Abwerfen des Ankers und könnten nicht verlangen, dass dieser jetzt, weil es uns nützt, auf den Polschuhen haftet. Er flöge eben einfach wieder ab. Deshalb ist dem Correktionsdaumen zu seinen drei Aufträgen noch ein vierter geworden. Sobald die ihn tragende Druckachse ihre Bewegung beginnt, verlässt er die vom Apparatkörper isolierte Feder. Er unterbricht dadurch den Stromkreis der Magnetwicklung und verhindert, dass die vom Anker in ihr induzierte Elektromotorische Kraft einen schädlichen Strom hervorruft. — Dem Lauf des abgehenden Stromes kennen Sie. — Sollte man Hughesapparate statt aus einer Sammlerbatterie noch mit Telegraphenelementen speisen, so gilt die Vorschrift, nicht mehr als drei Apparate parallel an dieselbe Batterie zu hängen.

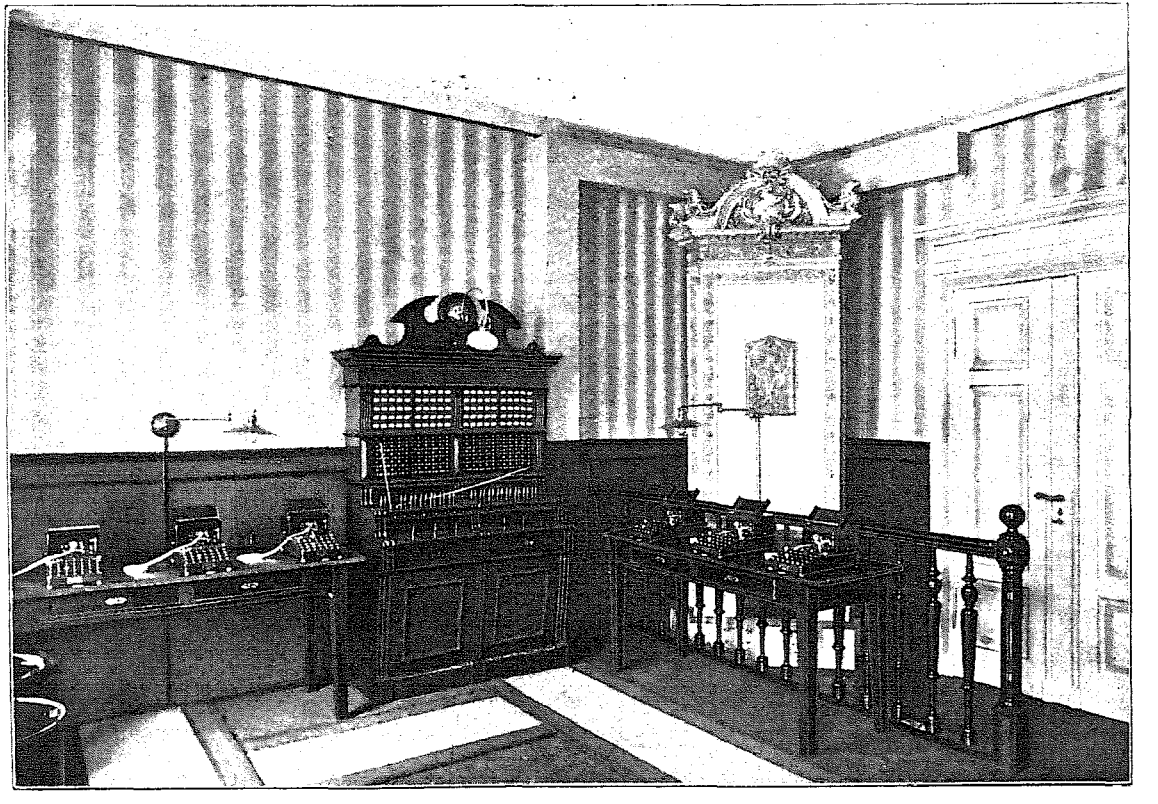


Fig. 247. Ferndruckeramt.

Von den übrigen Typendruckern brauche ich nur den Ferndrucker kurz zu besprechen. Er dient dem Bedürfnis vieler Geschäftsleute, in augenblicklichen und unmittelbaren Gedankenaustausch zu treten, in allen den Fällen, da der Fernsprecher versagt. Der Fernsprecher hat, wie jeder Benutzer weiss, eine ganze Reihe von unangenehmen Eigenschaften: Die gelegentlich zur Verzweiflung bringende Schwierigkeit, sich deutlich zu verständigen, — die Möglichkeit wirklicher oder absichtlicher Missverständnisse, umsomehr, als das verhallende Wort kein Beweismittel zurücklässt und dadurch dem Unehrlichen erlaubt, eine Abmachung nachher zu leugnen oder in seinem Sinne abzuändern — weiter die Leichtigkeit, mit der telephonische Verabredungen und Aufträge vergessen werden, weil eben nichts Geschriebenes an sie erinnert — schliesslich die mangelhafte Geheimhaltung. Alles das sind Gründe, die

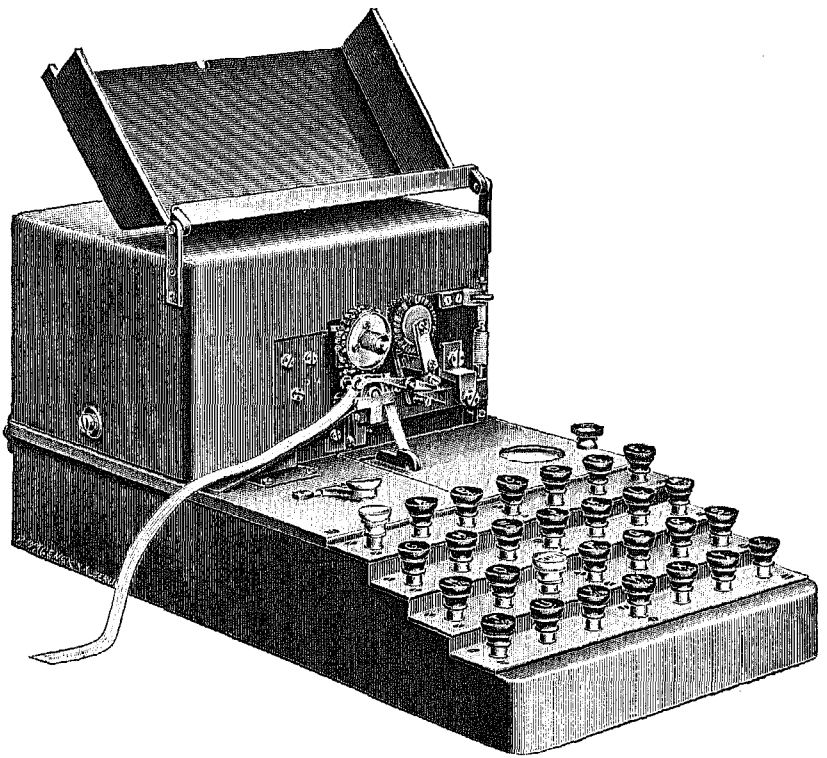


Fig. 248. Ferndrucker.

den Fernsprecher häufig, jedenfalls zu wichtigeren Verhandlungen und Abschlüssen höchst ungeeignet machen und für solche den unmittelbaren telegraphischen Verkehr mit dem Ferndrucker vorziehen lassen. Die Teilnehmer sind an ein besonderes Amt, angeschlossen, wie es erst ein einziges und zwar in Berlin giebt (Fig. 247). Von ihm erhalten sie über einen nach Art der telephonischen gebauten Umschalter den verlangten Anschluss. Beide Teilnehmer können dann mit Hilfe des Ferndruckers (Fig. 248), der das Äussere einer Schreibmaschine hat und ebenso bedient wird, unmittelbar mit einander verkehren. Wenn auch die gegenseitige Aussprache langsamer und weniger lebendig ist, als am Fernsprecher, so werden dafür dessen Nachteile vermieden.

Auf den Bau des Ferndruckers einzugehen, scheint mir nach der verhältnismässig ausführlichen Betrachtung des Hughesapparates nicht angezeigt. Erwähnt sei nur, dass auch beide mit einander arbeitende Ferndrucker zwei synchrone Typenräder enthalten, die aber nicht von jedem Apparat einzeln, sondern gemeinsam vom Sender aus elektromagnetisch und zwangläufig gedreht werden, ein Prinzip, nach dem schon der alte und seit Langem verschwundene Werner-Siemenssche Zeigertelegraph gebaut war.

Sehr zweckmässig ist auch die Einrichtung, über das Ferndruckeramt auswärtige Telegramme an das Haupttelegraphenamt zu geben und von ihm zu empfangen. Dadurch wird die Beförderung erheblich beschleunigt. Denn man weiss, dass das Abgeben am Schalter und das Austragen einen wesentlichen Teil der Beförderungszeit beansprucht. Endlich kann man auf dem Amt die Apparate aller Teilnehmer so schalten, dass sie gleichzeitig gewisse gleichlautende Nachrichten erhalten, wie etwa den Kurszettel der Börse oder die Wolffschen Depeschen. In Bremerhaven besteht sogar schon seit Längerem eine Centrale, die unter dem Namen Börsendrucker den empfangenden Teil des Ferndruckers bei hundert Teilnehmern aufgestellt hat und ihnen wichtige Schiffsnachrichten übermittelt. Man darf annehmen, dass der Ferndrucker eine aussichtsreiche Zukunft hat. Auch der hohe Preis wird unsere grossen Berliner Unternehmungen nicht abhalten, binnen kurzem ihre Chefbureaus an das Ferndruckeramt anzuschliessen.

17. Vorlesung.

Kabelströme.

Das Ohmsche Gesetz gilt nur für den Dauerzustand, nicht für den Telegraphierstrom. — Selbstinduktion. Kurvenaufnahme. Capacität. Lade- und Entladestrom. Oberirdische Leitungen und Kabel. — Zusammensetzung der Kabel. — Stromverlauf bei Widerstand und Selbstinduktion, bei Widerstand und Capacität (Wassermodell), bei Widerstand, Selbstinduktion und Capacität. Batterie scheinbar kurzgeschlossen. Bedeutung ihres inneren Widerstandes. Ladezeit von der EMK unabhängig. — Telegraphiergeschwindigkeit dem Produkte CW proportional.

Die heutige Vorlesung hat die interessante Frage nach dem thatsächlichen Verlaufe der Telegraphierströme zu beantworten. Sie hat uns diesen Verlauf in Bildern zu zeigen, welche die im telegraphischen Kreise fliessende Stromstärke J in Abhängigkeit von der Zeit t wiedergeben. Um diesen Verlauf zu verstehen, muss man aber die gewohnte Vorstellung aufgeben, die Telegraphierströme seien dem Ohmschen Gesetze allein unterworfen. Denn dieses gilt in seiner gewöhnlichen Form nur für den sogenannten Dauerzustand. Nur der seit Längerem unverändert fliessende Strom ist gleich dem Quotienten aus der Elektromotorischen Kraft der speisenden Batterie und dem gesamten Widerstand des Stromkreises. Ein solcher unverändert fliessender Strom ist aber der telegraphische durchaus nicht. Vielmehr entsteht und vergeht er fortwährend durch das wechselnde Spiel der Morsetaste oder des Hughescontakthebels. Es ist sogar im Grunde gleichgiltig, ob mit Arbeits- oder Ruhestrom gearbeitet wird. Denn es sind die Veränderungen des Stromes, in denen der Betrieb besteht, und je schneller die Veränderungen, umso nützlicher für den Betrieb. Die einfachen Beziehungen des Ohmschen Gesetzes[1]) beherrschen aber nur den Dauerzustand und reichen für den veränderlichen- nicht

[1]) Niemand wird auf den thörichten Gedanken kommen, dass deshalb das Studium des Ohmschen Gesetzes überflüssig gewesen sei.

mehr aus. Daran sind zwei Eigenschaften des telegraphischen Stromkreises Schuld: Selbstinduktion und Capacität. Sie dürfen jetzt nicht länger vernachlässigt werden.

Von der Selbstinduktion ist Ihnen noch in Erinnerung, wie sie sich, als Gegenspannung einer Trägheit ähnlich, dem Anfangen und Aufhören jedes Stromes entgegenstellte. Besonders gross war sie in eisenerfüllten Spulen, so gross, dass ihr Einfluss den des Ohmschen Gesetzes ganz bei Seite drückte (vgl. S. 82). Es wird Sie darum nicht überraschen, zu hören, dass die Telegraphenapparate durch die grosse Selbstinduktion ihrer Magnetwicklungen das plötzliche Ansteigen und Abfallen der Telegraphierströme zu verzögern streben.

Ein sinnreiches Verfahren ermöglicht, den thatsächlichen Verlauf von Telegraphierströmen aufzunehmen. Wir wollen uns einige solcher Aufnahmen genauer ansehen. Die erste (Fig. 249) zeigt den Verlauf des Morsestromes in einem Strom-

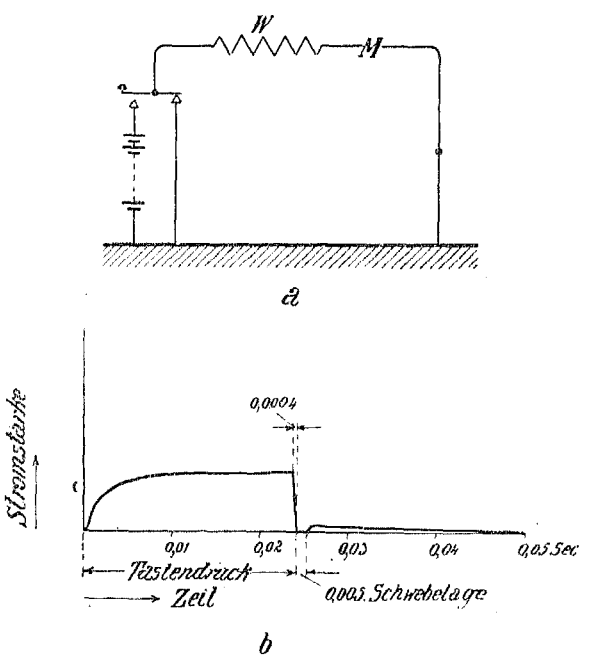


Fig. 249. Zeitlicher Verlauf eines Telegraphierstromes.

Der Stromkreis enthält den Widerstand W und die Selbstinduktion eines Morse M. Nach Franke.

kreise, der (nach Fig. 249a) neben dem bifilaren Widerstande *W* den Farbschreiber *M* mit seiner Selbstinduktion enthält. Der Ort der Aufnahme ist durch den Punkt bezeichnet. Deutlich (Fig. 249 b) verhindert die Selbstinduktion das plötzliche Ansteigen des Stromes. Bei veränderlichem Strome gesellt sich dem Ohmschen Widerstande die Induktanz hinzu. Diese wird erst mit der allmählichen Herstellung des Dauerzustandes Null, und ebenso allmählich erreicht unser Morsestrom den durch das Ohmsche Gesetz gegebenen Wert. Mit dem Loslassen der Taste fällt der Strom hingegen plötzlich, in 0,0004 Sekunden, zu Null ab. Denn der Stromkreis wird in dieser Zeit unterbrochen, und, abgesehen von dem Öffnungsfunken, der als Wechselstrom in der Kurve nicht bemerkbar wird, ist es zunächst mit der Selbstinduktion aus. Der Tastenhebel klappt dann, nachdem er an 0,005 Sekunden in der Luft geschwebt hat, hinten auf den Ruhecontakt und legt damit den Leitungsweg auch am gebenden Ende an Erde. Jetzt ist wieder ein Stromkreis geschlossen, und die im magnetischen Kreise des Farbschreibers noch vorhandenen Kraftlinien erzeugen bei ihrem gemächlichen Verschwinden einen leisen und allmählich abklingenden Induktionsstrom. Dieser erscheint als Wirkung einer durch die Remanenz des Eisens gleichsam aufgesparten Selbstinduktion.

Von noch grösserem Einfluss als die Selbstinduktion ist telegraphisch die Capacität. Erinnern Sie sich bitte daran, was früher über Leydener Flaschen und andere Condensatoren gesagt worden ist, und insbesondere an den Condensatorversuch (Fig. 74 und 75 auf S. 116), der hier (Fig. 250a), ein wenig abgeändert, nochmals aufgebaut steht. Zwischen Galvanoskop und Condensator liegt jetzt ein Widerstand, der mit dem des Galvanometers zusammen 500 Ohm ausmacht. Sonst kommt die Anordnung auf die von früher heraus. Die Batterie hat die Klemmenspannung 10 Volt, der Condensator die Capacität 1 *MF*. Wird nun die Taste gedrückt, so stürzt im selben Augenblick in den Condensator ein Ladestrom hinein, der aber gleich wieder und zwar zunächst sehr schnell, dann immer langsamer an Grösse abnimmt. Darauf schaltet die losgelassene Taste die Stromquelle ab, und der durch Widerstand, Galvanoskop und Erde geschlossene Condensator giebt seine Ladung wieder her.

Natürlich verläuft der Entladestrom rückwärts, das heisst in der dem Ladestrome entgegengesetzten Richtung.

Offenbar verlangt hiernach die ursprüngliche Anschauung, dass es Ströme nur in metallisch oder elektrolytisch geschlossenen Kreisen gebe, für die in der Nähe des Öffnens und Schliessens

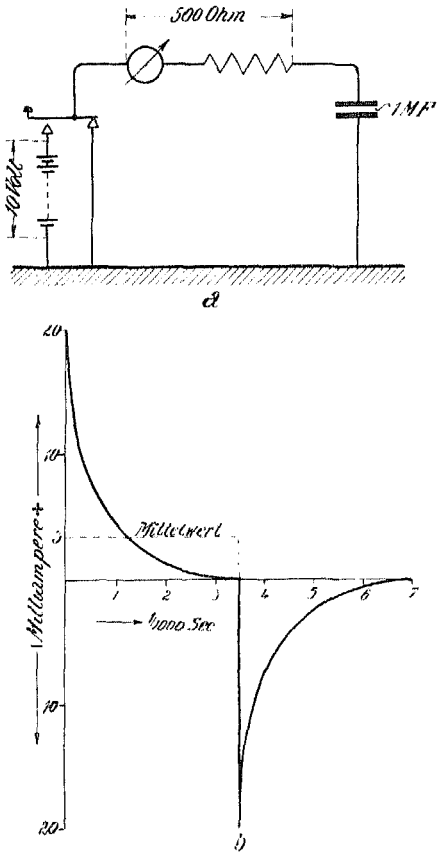


Fig. 250. Zeitlicher Verlauf von Ladungs- und Entladungsstrom im Kreise mit Widerstand und Capacität. (Schematisch.

liegende Zeit eine Abänderung; benimmt sich doch der Condensator vorübergehend so, als ob sein Dielektrikum leitend geworden wäre. Bei der Ladung des Condensators werden, wie Sie (von S. 110) wissen, im Dielektrikum die an den

Belegungen angehefteten elektrischen Kraftlinien gespannt, bei der Entladung abgespannt. Dieses zweimalige Verschieben der elektrischen Teilchen findet auf dem Wege durch das Dielektrikum in einer Art Strom, dem Verschiebungsstrome statt. Erst wenn die Teilchen der Ladespannung entsprechend verschoben sind, für den Dauerzustand, bildet der Condensator für den Stromdurchgang einen Schlagbaum. Für Ladung und Entladung aber, vorübergehend ist eine Art geschlossener Stromkreis vorhanden, durch den, wie man es auch von einem rein metallischen nicht anders verlangen kann, gleiche Mengen positiver und negativer Elektricität aneinander vorbeifliessen. Wollte man nach dem vorhin erwähnten Verfahren von dem Verlaufe des Lade- und Entladestromes eine Aufnahme machen, so entstände ein Bild von dieser Art (Fig. 250b). Die Lade- und Entladespitze ist so hoch, als ob thatsächlich beidemal der Condensator im ersten Augenblick widerstandslos durchflossen würde. Rechnen Sie für beide Spitzen den Widerstand W des Stromkreises aus:

$$W = \frac{E}{J} = \frac{10}{20 \,.\, 10^{-3}} = 500 \text{ Ohm.}$$

Für das Dielektrikum bleibt kein Widerstand übrig. Um über die Grösse der eingeladenen Elektricitätsmenge eine Vorstellung zu gewinnen, mögen Sie sich den fortwährend seine Grösse ändernden Ladestrom durch einen unveränderten Gleichstrom von mittlerem Werte ersetzt denken. Diesen Mittelwert liefert ein geometrisches Verfahren für unsere Aufnahme zu etwa 3 Milliampere, und so werde er als gestrichelte Horizontale in die Zeichnung eingetragen. Fliessen 3 Milliampere 0,0035 Sekunden lang, so werden (nach $Q = J \,.\, t$) $1{,}05 \,.\, 10^{-5}$ Coulomb befördert. Bei 10 Volt Ladespannung würde demnach der Condensator (vgl. S. 102) eine Capacität von

$$C = \frac{Q}{E} = \frac{1{,}05 \,.\, 10^{-5} \text{ Coulomb}}{10 \quad \text{Volt}} = \text{rd. } 1 \; MF.$$

haben, was mit dem vom Lieferanten auf ihm vermerkten Werte stimmt. Dieses alles führe ich nur an, um Sie mit dem merkwürdigen Ding: Condensator ein wenig vertraut zu machen.

Capacität besitzen nun nicht nur Leydener Flaschen und Plattencondensatoren, sondern alle Leiter. Denn jeder Leiter ist in ein Dielektrikum eingebettet und hat dort andere Leiter zu Nachbarn. Auch die Telegraphenleitung spielt die Rolle einer Flaschenbelegung. Die andere Belegung wird von einer Nachbarleitung gebildet, oder vom feuchten Erdreich, oder von einer Reihe Häuser, oder Säfte-führender Bäume. Abgesehen von den Porzellanglocken, liefert die zwischen liegende Luftschicht das Dielektrikum. Seiner Zeit ist nun abgeleitet worden, dass die Capacität eines Condensators der Grösse der belegten Fläche des Isolators und der Dielektricitätsconstante direkt und seiner Dicke umgekehrt proportional ist. Die Capacität einer Telegraphenleitung ist deshalb ihrer Länge und Dicke proportional. Die Erscheinungen, welche die Capacität hervorruft, und welche für kurze oberirdische Leitungen allenfalls übersehen werden können, machen sich bei langen schon mehr bemerkbar, die noch dazu mit vergrösserter Länge zur Widerstandsverminderung grössere Dicke vereinigen. Da es sich um lange Leitungen handelt, können nur solche in Frage kommen, die mit Arbeitsstrom betrieben werden. Denn »der Ruhestrom dient dem Kleinverkehr einer grösseren Zahl nahe gelegener Orte«. Auf den langen Leitungen des amerikanischen Ruhestromes andererseits, wird thatsächlich mit Arbeitsstrom gegeben (Vgl. S. 323). Dass dabei vor Beginn des Telegrammes Strom fliesst, kann nur für seine ersten Zeichen von Einfluss sein. Nun dienen ausser den über Tag geführten, durch Luft und Porzellan isolierten Leitungen noch **Kabel** zu telegraphischer Verbindung. Die Erscheinungen, die wir heute mit einander zu besprechen haben, treten nun allerdings schon in langen Oberleitungen auf und sind bei denen wohl zu beachten. Aber ihr eigentlicher Sitz sind doch erst die Kabel, und erst dort gewinnen sie ihre ausserordentliche Bedeutung. Wir begehen deshalb keinen grossen Fehler, wenn wir unsere heutige, etwas mehr theoretische Vorlesung, Kabelströme und unsere nächste, etwas mehr praktische, Kabelbetrieb überschreiben.

Zuerst einige Worte über die Kabel selbst. Es giebt Land-, Fluss- und Seekabel. Bei allen drei Arten bildet Kupfer das Leitungsmaterial, die Kabelseele, sei es als massiver Draht,

sei es als aus dünnen biegsamen Fäden hergestellte Litze. Die Kabelseele ist zur Isolation mit getränkter Pflanzenfaser, wie Jute, umsponnen, oder mit der teueren Guttapercha umpresst. Zu vermehrter Festigkeit kann die Guttapercha in mehrere Cylinder unterteilt sein, welche durch ein Klebegemisch (Chatterton Compound) untereinander und auf dem Kupferleiter haften. Das bis jetzt beschriebene, also Leiter mit Isolation, heisst Kabelader. Die Kabeladern werden zu mehreren oder vielen mit einander vereinigt und zwar zur Vermehrung der Zugfestigkeit, wie die Teile eines Bindfadens mit einander verseilt. Den verseilten Adern verleiht dann nach aussen, so weit notwendig, ein aufgepresster, manchmal doppelter Mantel aus Blei und 3% Zinn chemischen, ein Panzer von Drähten oder Bändern aus Eisen oder Stahl, mechanischen Schutz. Damit der Panzer nicht den Bleimantel oder, wenn kein solcher vorhanden ist, die Isolation verletzen kann, liegt unter ihm eine Schutzdecke aus Jute oder Hanf. Vor Rost wird die Bewehrung durch Verzinken und durch Jute und Asphalt geschützt. Dass die Kabel in jedem Falle ganz dem besonderen Zweck angepasst sind, dem sie dienen sollen, ist bekannt, so zum Beispiel, dass dasselbe Unterseekabel in dem Teile viel leichter gepanzert ist, in dem es auf dem tiefen Grunde des Weltmeeres, als da, wo es in der zermürbenden Brandung der Küste ruht.

Die unseren Vorlesungen gesteckten Grenzen erlauben nicht, auf Zusammensetzung verschiedener Typen der Kabel, auf Fabrikation und Verlegung einzugehen. Uns sind sie nur Leydener Flaschen (vgl. S. 101). Die kupferne Seele bildet die innere Belegung, der Bleimantel oder der Panzer oder das Wasser oder das feuchte Erdreich die äussere. Das Dielektrikum liegt in dünner Schicht dazwischen und besitzt dazu eine wesentlich höhere Dielektricitätsconstante, als die Luft. Aus beiden Gründen haben Kabel eine rund an dreissig mal so grosse Capacität, als gleich lange oberirdische Leitungen. Die beiden Capacitäten pro Kilometer Länge liegen in den Grössenordnungen 0,01 und 0,25 *MF*.

Nehmen Sie an, dass die früher einmal betrachtete Oberleitung von 2500 Ohm, das heisst ein 234 mm langer, viermillimetriger Eisendraht vollkommen isoliert wäre. Wenn nach der Angabe von eben die Capacität mit etwa 2,3 *MF* richtig

geschätzt ist, so schickt jedes Volt der speisenden Batterie $2{,}3 \cdot 10^{-6}$ und die ganze vierzigzellige Batterie $94 \cdot 10^{-6}$ oder ungefähr $^1/_{10000}$ Coulomb in die Leitung. Das mag wenig erscheinen. Betrachten Sie aber ein 500 m langes Kabel von 112 *MF* Capacität mit einer Speisebatterie von etwa 60 Volt. Zur Ladung des Kabels, dessen Isolation auch in Wirklichkeit als vollkommen angesehen werden kann, sind $60 \cdot 112 \cdot 10^{-6} = 6{,}7 \cdot 10^{-3}$ Coulomb erforderlich. Es wäre ein Irrtum, diese Elektricitätsmenge telegraphisch für klein zu halten. Nähme man zum Beispiel nur an, die Ladung dauere eine ganze Sekunde — thatsächlich verläuft sie sehr viel schneller — und ginge in gleichmässigem Flusse, in der Grösse des vorhin betrachteten Mittelwertes vor sich, so würde nach $J = \frac{Q}{t}$ der Ladestrom schon 6,7 Milliampere, die Hälfte des vorschriftsmässigen Dauerstromes ausmachen.

Nun verlaufen aber Ladeströme durchaus nicht in gleichmässigem Flusse. Das zeigt, wie das schematische Beispiel von eben (Fig. 250), auch die zweite der thatsächlich aufgenommenen Kurven. Bei der ersten Aufnahme war der Stromkreis mit Widerstand und Selbstinduktion ausgerüstet. Jetzt ist er es mit Widerstand und Capacität (Fig. 251 a). Während aber vorhin das Dielektrikum den Leiterkreis unterbrach, sehen Sie dieses Mal die Capacität im Nebenschlusse, seitlich. Zwischen bifilaren Widerständen liegt die eine Belegung eines Condensators. Seine zweite ist zur Erde abgeleitet. Zur Vermeidung von Selbstinduktion ist der Farbschreiber fortgelassen und das Empfangsende der Leitung unmittelbar geerdet. Die Kurve (Fig. 251 b) zeigt nun den Stromverlauf, wie er gleich hinter der Taste bei Punkt I aufgenommen ist. Mit dem Tastendruck setzt augenblicklich ein heftiger Strom ein, der aber sehr bald — in etwa 0,005 Sekunden — zu dem Werte des Dauerzustandes abfällt. Die Unterbrechung der Taste macht ihn dann so gut, wie augenblicklich, zu Null, auf welchem Werte er während ihrer Schwebelage beharrt. Dann legt die zurückgeklappte Taste den Condensator auch am Leitungsanfang an Erde, und sofort stürzt ein Teil der eingeladenen Coulomb rückwärts wieder heraus. Ganz wie bei der Ladung, nimmt der Strom schnell an Heftigkeit ab und wird im Verlaufe von etwa 0,01 Sekunden praktisch zu Null.

Nun ist bei unveränderter Schaltung der Stromverlauf noch einmal aufgenommen worden. Aber der Aufnahmeapparat lag dieses Mal statt im Punkte I im Punkte II. Die neue Kurve (Fig. 251 c) muss Ihre lebhafte Verwunderung hervorrufen. Denn sie unterscheidet sich, und noch dazu vollständig, von

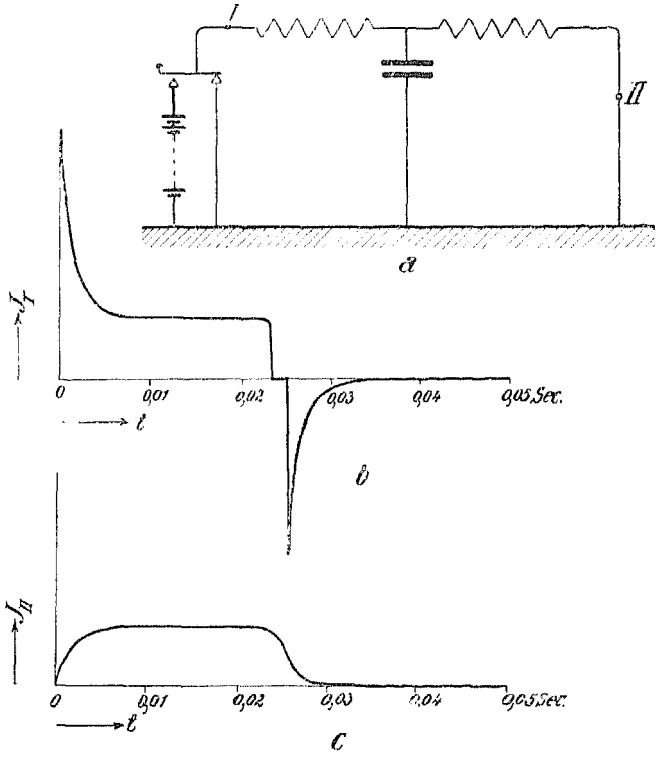


Fig. 251. Stromverlauf in einem Kreise *a* mit Widerstand und seitlicher Capacität. — *b* in I, *c* in II aufgenommen. Nach Franke.

der vorigen. An zwei Punkten ein und desselben Stromkreises ist der Stromverlauf verschieden, während Ihnen (vgl. S. 7) als ausgemacht und als Grundgesetz mitgeteilt worden ist, dass durch jeden Querschnitt eines Stromkreises jeder Zeit gleiche Elektricitätsmengen fliessen. War es doch auch nur eine scheinbare Ausnahme von diesem Grundgesetz, dass in

einer mangelhaft isolierten Telegraphenleitung der Strom am Anfang grösser ist, als am Ende. Denn dort liegt eine fortgesetzte Stromverzweigung vor. Bei unserer Versuchsanordnung sind aber erstens Stromverluste ausgeschlossen und zweitens ist der Strom hinter dem Condensator nicht nur ein wenig kleiner, als vor ihm, sondern er hat einen ganz anderen Charakter. Denken Sie sich in eine lange Leitung an verschiedenen Stellen Galvanoskope eingeschaltet und die gebende Taste dauernd gedrückt. Die Galvanoskope schlügen nicht zur gleichen Zeit aus. Vielmehr würde jedes mit seiner Ablenkung um einen umso grösseren Zeitbruchteil später beginnen, je weiter es vom gebenden Amte entfernt ist. Kehren wir nun zu unserer Stromaufnahme (Fig. 251) zurück. Mit Stromschluss stürzen die Coulomb heftig in den Leiterkreis hinein (I). Aber sie bleiben zum grossen Teile im Condensator haften, und nur zum kleinen und allmählich fliessen sie heraus (II). Beide Kurven erreichen darauf gleichzeitig den Ohmschen Dauerwert. Während aber dann bei I das Abschalten der Stromquelle den Stromkreis augenblicklich unterbricht und das gleich folgende Erden den heftigen Rückstoss ergiebt, entladet sich bei II der Condensator ganz gemächlich und ziemlich gleichgiltig gegen die Vorgänge am Leitungsanfang. Die Kurvenaufnahme liefert so das telegraphisch bedauerliche Ergebnis: Das Ende einer Capacität und Widerstand führenden Leitung gehorcht den frischen und lebhaften elektrischen Weisungen der Taste am Leitungsanfang nur träge und schleppend.

Die beiden Kurvenaufnahmen haben getrennt von einander die Wirkung von Widerstand und Selbstinduktion und von Widerstand und Capacität auf den Telegraphierstrom ergeben. Ehe wir nun beide Schaltungen zu dem praktischen Falle des gemeinschaftlichen Vorhandenseins von Widerstand, Selbstinduktion und Capacität vereinigen, möchte ich Ihnen erst noch ein bekanntes Modell zeigen. Sie werden an ihm sehen, wie einfach — solange es sich um eine elementare Betrachtung handelt — die so wichtigen Erscheinungen sind, die die Capacität beim Telegraphieren hervorruft. Aus einem erhöht hängenden Vorratsgefäss wird über einen Hahn ein längeres horizontales Glasrohr mit gefärbtem Wasser gespeist. Der Hahn soll dabei

die Taste, das Glasrohr die praktisch capacitätslose Telegraphenleitung, sein nach oben umgebogenes, etwas ausgezogenes und offenes Ende das Empfangsamt vorstellen. Durch Öffnen und Schliessen des Hahnes hier wird das Geben, durch den nach dem Gesetze der kommunizierenden Röhren hervorspringenden Wasserstrahl dort der ankommende Telegraphierstrom nachgeahmt. Mit dem Öffnen des Hahnes springt am offenen Ende des Rohres der Strahl sofort in die Höhe, mit dem Schliessen fällt er sofort ab. Die mit dem Hahn gegebenen Morsezeichen lesen Sie deutlich aus dem springenden Strahle. Während der ganzen Dauer des Versuches wird jeder Rohrquerschnitt von einer gleichen Wassermenge durchflossen.

Lassen Sie uns jetzt das horizontale Glasrohr durch einen ebenso langen Gummischlauch mit dünner elastischer Wand ersetzen, sonst aber die Versuchsanordnung beibehalten. Wie früher das Rohr, ist jetzt der Gummischlauch mit Wasser gefüllt. Nun wird der Hahn geöffnet, aber noch spielt kein Strahl. Das in den Schlauch eintretende Wasser wird erst dazu verwandt, seine Gummihaut, vom Schlauchanfang an fortschreitend über die ganze Länge, soweit zu dehnen, als dem Wasserdruck entspricht. Erst nachdem das geschehen, beginnt der Strahl zu springen. Auch erreicht er nur allmählich, nicht wie früher, plötzlich, die ihm zukommende Höhe. Dem entsprechend macht das Schliessen des Hahnes den Wasserstrahl nicht plötzlich fallen. Es vergeht einige Zeit, bis er zu spielen aufhört. Denn die jetzt zu Unrecht gespannte Gummihaut muss erst das unter dem früheren Drucke aufgenommene und jetzt überschüssige Wasser entlassen.

Wie das Glasrohr den idealen Leiter, so stellt der Gummischlauch den ladungsfähigen vor. Sofort lässt am Ende das Glasrohr so viel Wasser, der ideale Leiter soviel Elektricität austreten, als am Anfang eintritt. Der Gummischlauch ladet sich erst mit Wasser, das Kabel mit Elektricität, ehe am Ende ein Austritt erfolgt. Es entsprechen sich Capacität und Elasticität, Leiterlänge und Schlauchlänge, elektrische Spannungsdifferenz zwischen den Enden der Leitung und mechanische Druckdifferenz zwischen denen des Schlauches. Natürlich bleiben wir uns bewusst, dass das Modell nur ein äusserliches Bild des elektrischen Vorganges liefert.

Das Wassermodell bestätigt grob sinnlich die aus der zweiten Kurvenaufnahme für die Telegraphie gewonnenen Erfahrungen. Die Capacität einer Leitung erzwingt ein langsameres Telegraphieren. Zwischen das Geben eines Zeichens und seine Ankunft auf dem Empfangsamte, schiebt die Leitung ihren Anspruch an Ladung ein. Schaltet dann die losgelassene Taste die Batterie ab und legt die Leitung auch auf dem gebenden Amte an Erde, so strömen dieser die beim Geben eingeladenen Coulomb über die Morseapparate beider Ämter zu. Ein neues Zeichen verlangt neue Ladung.

Der Verlangsamung des Telegraphierens, der Möglichkeit, kostspielige Leitungen umso weniger ausnützen zu können, je länger und damit kostspieliger sie sind, fügt sich ein weiterer, dem ersten im Wesen eng verwandter Nachteil hinzu. Bei Verwendung des Glasrohres sahen Sie den Wasserstrahl ebenso scharf und rythmisch ansteigen und abfallen, als es mir möglich ist, den Hahn zu bedienen. Bei der Gummileitung dauerte es erstens einige Zeit, bis der Strahl überhaupt zu spielen anfängt. Aber auch dann springt er nicht scharf und energisch, sondern nur allmählich und unbestimmt an und erreicht seine Höhe erst während des Spielens. Ebenso vergeht nach dem Schliessen des Hahnes nicht nur Zeit, bis der Strahl abfällt. Er thut das auch nicht scharf und in einem Augenblick, sondern verkleinert seine Höhe nur allmählich und verschwindet erst ganz, wenn das elastisch eingeladene Wasser vollständig wieder heraus gedrückt ist. Ebenso geht es mit den telegraphischen Zeichen im Capacität-führenden Leiter. Auch sie setzen nicht mehr scharf und energisch ein und reissen nicht mehr deutlich ab. Sie kommen verwaschen. Sie laufen zusammen.

Über den Stromverlauf in Kreisen, die getrennt entweder Selbstinduktion oder Capacität enthalten, sind Sie unterrichtet. Der wirkliche Fall, der beide vereinigt, ergiebt sich nun von selbst. Dabei schreiben wir die Selbstinduktion allein den Apparaten, die Capacität der Leitung zu. Freilich ist im praktischen Falle die Capacität nicht, wie früher, auf einem vom Widerstande gesonderten Condensator zusammengefasst, sondern, in ihren kleinsten Teilen mit denen des Widerstandes vereinigt, über die ganze Länge der Leitung verteilt.

Zur Aufnahme des der Wirklichkeit entsprechenden Stromverlaufes ist das vorhin erwähnte Kabel von 500 km Länge und 112 *MF* Capacität in einfacher Morseschaltung (Fig. 252a) betrieben worden. Betrachten Sie zunächst Kurve I (Fig. 252b),

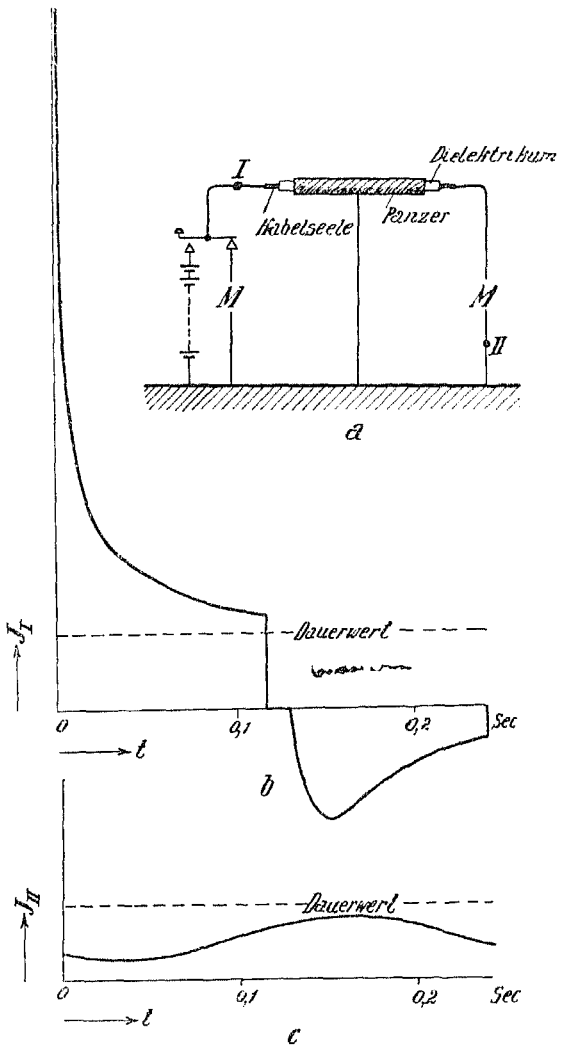


Fig. 252.
Stromverlauf vor (b) und hinter (c) einem Kabel in einfacher Morseschaltung.
Nach Franke.

die beim Punkte I dicht hinter der Taste aufgenommen ist. Als Folge der grossen Capacität tritt eine hohe Ladespitze auf, welche — verglichen mit der anderen Aufnahme — hier aus Raummangel sogar nur in etwa halber natürlicher Grösse gezeichnet ist. Der Ladestrom nimmt dann in gewohnter Weise erst schnell, dann allmählich ab. Er ist aber noch nicht auf den durch die gestrichelte Horizontale bezeichneten Dauerstrom gesunken, als ihn das Loslassen der Taste mit eins unterbricht. Während ihrer Schwebelage bleibt er Null. Jetzt liegt der Tastenhebel auf dem Ruhecontakt, und trotzdem beginnt nun die Entladung des Kabels nicht in der erwarteten Heftigkeit. Vielmehr ist die bei der Ladung so ausserordentlich hohe Spitze bei der Entladung zu einer verhältnismässig seichten Ausbauchung abgeflacht. Jetzt fliesst nämlich der Rückstoss nicht mehr unmittelbar und ungestört zur Erde. Sondern die der Wirklichkeit nachgeahmte Schaltung enthält zwischen Ruheschiene der Taste und Erde einen Morse. Dessen Selbstinduktion puffert den Entladungsstoss ab. Sie beachten, wie hier Selbstinduktion und Capacität einander entgegenwirken, wie die eine die andere unschädlich machen kann. Mit dem Ende der Aufnahme ist der Entladestrom noch nicht zu Null geworden.

Nochmals sei auf die ausserordentliche Höhe der Ladespitze hingewiesen. Der Ladestrom ist an funfzehn Mal so gross, als der Ohmsche Dauerstrom. Unmittelbar kurzgeschlossen lieferte die speisende Batterie keinen grösseren Strom. Die Dinge liegen sehr ähnlich dem früher betrachteten schematischen Beispiele, bei dem der Condensator mit einem Widerstand in Reihe geschaltet war. Genau genommen geht noch der innere Widerstand der Batterie in die Rechnung ein. — Je grösser der Ladestrom, um so schneller wird dasselbe Kabel geladen, um so schneller vermag der Telegraphierstrom durch die ihn festhaltende Capacität hindurch an das empfangende Kabelende zu gelangen. Da nun einmal geladen werden muss, kommt es darauf an, dass es möglichst schnell geschieht. Demnach soll der innere Widerstand von Batterien, die Kabel speisen, möglichst klein sein. Auch hier sind also Akkumulatoren gewöhnlichen Elementen überlegen. Früher (S. 299 und 365) war erwähnt worden, dass die Reichspost verbietet, aus einer Batterie gewöhnlicher Elemente mehr als fünf Morse- oder drei

Hughesleitungen zu speisen. Handelt es sich um Kabel, so verlangt der Einfluss des inneren Widerstandes auf die Ladung eine weitere Beschränkung. Parallel an gewöhnlichen Elementen sind höchstens zwei Morse- oder ein Hugheskabel erlaubt. Man wird aber zum Kabelbetriebe natürlich, wenn irgend möglich, Akkumulatoren wählen. Freilich muss man denen, wie früher (S. 305 Fussnote) bemerkt, einen Schutzwiderstand vorschalten, weil eben der Anschluss eines Kabels auf die Stromquelle wie ein vorübergehender Kurzschluss wirkt. Trotz dieses Schutzwiderstandes bleibt, wie Sie leicht nachrechnen können, die Ladespitze immer noch über doppelt so hoch, als bei Verwendung gewöhnlicher Elemente.

Während die Ladungsdauer ein- und desselben Kabels, wie wünschenswert, mit dem inneren Widerstande der Telegraphierbatterie abnimmt, ist sie von deren Elektromotorischer Kraft unabhängig. Allerdings liefert eine grössere Zellenzahl einen grösseren Ladestrom. Aber es muss nach $Q = C \cdot E$ auch eine entsprechend grössere Anzahl von Coulomb eingeladen werden. Es wird zwar schneller, aber auch entsprechend reichlicher geladen. Die Ladezeit oder die Dauer der veränderlichen Stromstärke bleibt dieselbe. Damit steht der Nutzen kleinen inneren Widerstandes nicht im Widerspruch. *Denn* der *beschleunigt* die Ladung, ohne gleichzeitig die Lademenge zu erhöhen.

Kommen wir jetzt wieder auf unseren Kabelstrom zurück. Kurve II (Fig. 252c) stellt ihn dar, wie er im Punkte II hinter dem Empfangsapparat aufgenommen wurde. Sie sehen, von den heftigen Änderungen der Stromstärke am Kabelanfang ist nur ein kleines Auf- und Niederschwanken übriggeblieben. Dem einstürzenden Ladestrom sind durch die über die ganze Länge des Kabels wirksame Capacität der grösste Teil seiner *Coulomb entzogen worden, und nur* eine matte Welle kommt bis an das Kabelende. Auch die hier ununterbrochen angeschlossene Selbstinduktion der Empfangsspulen puffert die schwachen Stösse noch ab. Hier wirkt also praktisch die Selbstinduktion im gleichen Sinne schädlich wie die Capacität. Wie zögernd die Weisungen der Taste bis ans Kabelende gelangen, geht schon daraus hervor, dass der Empfangsstrom weder zum Dauerwert anzusteigen, noch zu Null abzufallen

vermag. Die Welle erreicht sogar ihren Höchstwert erst, nachdem die Stromquelle vom Kabelanfang abgeschaltet ist.

Der Einfluss der Capacität auf den Telegraphierstrom zeigt sich sehr schön bei den beiden folgenden Kurven (Fig. 253 und 254). Zwei verschiedene Leitungen sind in gleicher Weise

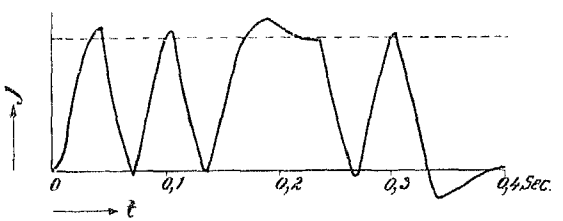


Fig. 253. Morse-*f* über 11 *MF* und 7500 Ohm. Nach Franke.

in einfacher Morseschaltung betrieben worden. Auf beiden hat man die Zeichen des *f* — • • — — • maschinell und mit einer Geschwindigkeit von 0,4 Sekunden pro *f*, das heisst mehr als doppelt so schnell gegeben, als es die mit der Hand bewegte Taste kann. Die erste Leitung, von Berlin nach Hannover und zurück, ist an 600 km lang. Sie besteht in ihrem Hauptteil aus Eisendraht und in den Städten aus Kabeln und besitzt

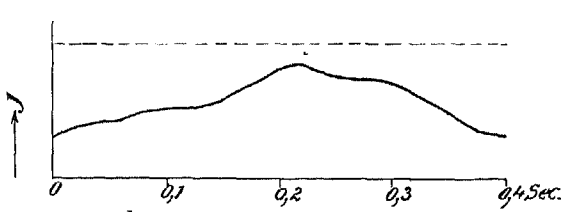


Fig. 254. Morse-*f* über 112 *MF* und 3800 Ohm. Nach Franke.

so eine Capacität von 11 *MF* bei einem Widerstande von 7500 Ohm. Man sieht, wie wunderschön klar der hinter dem Morse aufgenommene Empfangsstrom (Fig. 253) das *f* wiedergiebt. Auf solchen Leitungen könnte also sehr viel schneller

telegraphiert werden, als bei Handbetrieb möglich ist, ohne dass irgend welche Störungen aufträten. Hat doch hier der Strom sogar Zeit, auf den Dauerwert anzuwachsen. Vergleichen Sie aber damit den Stromverlauf (Fig. 254) wie er am Ende des ebenso schnell mit f beschickten Kabels von früher, mit seinen 112 *MF* und 3800 Ohm zum Vorschein kommt. Mit solchem Telegraphierstrom ist nichts anzufangen. Die beiden Bilder geben den klaren und handgreiflichen Beweis, dass mit wachsender Capacität der Leitung die Dauer der veränderlichen Stromstärke zunimmt und langsamer gegeben werden muss. Diese Thatsache lässt sich erweitert als Gesetz aussprechen. Zwar gilt dieses nicht ganz allgemein und lässt sich leider nicht elementar ableiten. Trotzdem sei es jetzt zum Schluss unserer heutigen Vorlesung als besonders wichtig hervorgehoben. Es lautet: Die erreichbaren Telegraphiergeschwindigkeiten sind bei verschiedenen Leitungen dem Produkt aus deren Capacität und Widerstand umgekehrt proportional. Die Angabe des Produktes CW, wobei C in Farad ($= 10^{-6}$ mal der Anzahl *MF*) und W in Ohm [1]) gemessen sein möge, ist zur Beurteilung der Vorgänge in einem Kabel zwar nicht ausreichend, aber wertvoll. Je grösser CW, umso weniger Zeichen können pro Minute gegeben werden. Im vorliegenden Falle verhalten sich die Telegraphiergeschwindigkeiten umgekehrt wie

$$11 \,.\, 10^{-6} \,.\, 7500 : 112 \,.\, 10^{-6} \,.\, 3800 = \text{rd. } 0{,}08 : 0{,}4 = 1 : 5.$$

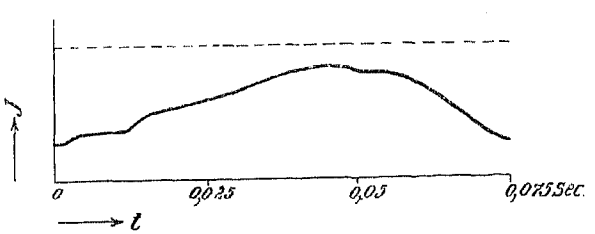


Fig. 255. Morse-f über 11 *MF* und 7500 Ohm, fünfmal so schnell wie in Fig. 253. Nach Franke.

[1]) Eigentlich sollte man C in *MF* und W in Megohm = Ohm mal 10^6 ausdrücken. Beide Produkte sind aber gleich gross.

Auf der Oberleitung kann etwa fünf Mal so schnell gegeben werden, wie auf dem Kabel. Betriebe man demnach die Oberleitung etwa *fünf mal* so schnell, als das Kabel, so würde der Telegraphierstrom an ihrem Ende etwa ebenso verlaufen, wie beim Kabel. Das ist thatsächlich durch eine Aufnahme nachgewiesen, bei der die Oberleitung mit 800 Morse-*f* pro Minute beschickt worden ist (Fig. 255). *Da übrigens* sowohl Capacität, als Widerstand, proportional der Leitungslänge l wachsen, ist die Geschwindigkeit, mit der über gleiche Leitungen verschiedener Länge gegeben werden kann, dem Quadrat dieser Länge umgekehrt proportional.

18. Vorlesung.

Kabelbetrieb.

Verhalten des Empfangsapparates. Zwei kritische Stromstärken. Kleiner Ankerspielraum. Reihe von Punkten und Strichen. *Mittlere Einstellung.* — *Hilfsmittel bei grossem CW*: Streckenteilung. Polarisierte Relais und entgegengesetzt geschaltete Klemmen. Beschleunigung der Entladung durch unmittelbares Erden. Induktanzrolle. — *Verlauf des Hughesstromes.* Nur eine kritische Stromstärke. (Lauf zweier Hughes streng genommen asynchron.)

Betrieb langer Unterseekabel.

Condensatorabschluss gegen Erdströme und zur Versteilerung der Stromkurve. — Kleinheit der Amplitude. Niedrige Betriebsspannung. — Punkte und Striche entgegengesetzter Stromrichtung. Doppeltaste. Schwankender Nullpunkt. — Galvanometrischer Empfang. — Spiegelgalvanometer. Astasie. Empfindlichkeit. Richtmagnet. — Prinzip der Drehspule. Heberschreiber. Wellenschrift. Originalstreifen. Ursache des schwankenden Nullpunktes. — Übertragung auf Inseln. Trommelrelais. Grosse Empfindlichkeit durch Drehtrommel. Unveränderter Nullpunkt durch Correktionsströme.

In der vorigen Vorlesung haben Sie den Verlauf einiger Telegraphierströme kennen gelernt und den Ursachen solchen Verlaufes nachgespürt. Heute ist zunächst zu überlegen, wie sich diesem gegenüber der Empfangsapparat benimmt. Offenbar kann er, sobald das Produkt *CW* der Leitung einige Grösse erreicht, mit dem Ansprechen nicht darauf warten, bis der Strom auf den Dauerwert angewachsen ist. Denn die gebende Taste hat in ihrer eiligen Arbeit schon längst vorher den Kreis wieder unterbrochen. Eben drum muss der Empfangsapparat so eingestellt werden, dass er auf eine Stromstärke anspricht, die wesentlich unter dem Dauerwerte liegt. Wir nennen sie die kritische Stromstärke.

Ebenso beginnt die Taste schon wieder das nächste Zeichen, ehe der Empfangsstrom zu Null geworden ist. Der Anker hat nicht Zeit, etwa solange angezogen zu bleiben, bis der Strom erloschen ist. Er muss abgerissen werden, wenn auch noch Strom fliesst. Dabei ist leicht einzusehen, dass es nicht die gleiche Amperewindungszahl ist, welche zum Anziehen des

entfernten Ankers überschritten und zum Loslassen des benachbarten Ankers unterschritten werden muss. Zum Loslassen gehört eine wesentlich kleinere, zweite kritische Stromstärke. Das wird Ihnen an dieser Kurve (Fig. 256) deutlich werden, die schematisch den Verlauf eines Telegraphierstromes im Empfangsapparat wiedergiebt. $\overline{OA}$ sei der Ohmsche Dauerwert, dem die wachsende Stromstärke zustrebt, $\overline{OB}$ die Dauer des Tastendrucks, dessen Aufhören die Kurve noch nicht von C,

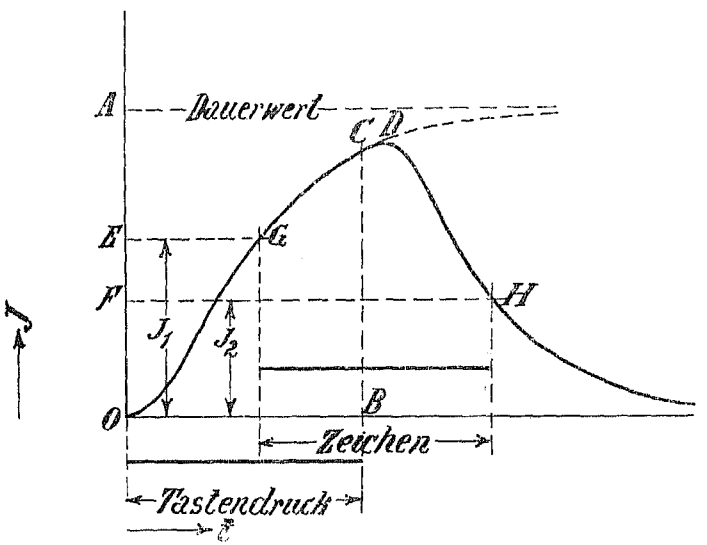


Fig. 256. Telegraphierstrom am Leitungsende.
Schematisch. Nach Thomas.

sondern erst von D ab sinken lässt. Der Empfangsapparat ist so eingestellt, dass der Anker gerade dann angezogen wird, wenn der Telegraphierstrom die Grösse $\overline{OE} = J_1$ erreicht. Hingegen muss er auf $\overline{OF} = J_2$ sinken, soll die Feder im Stande sein, den angezogenen Anker wieder abzureissen. Die Strecken $\overline{OE}$ und $\overline{OF}$ sind im Maasstabe der Zeichnung die beiden Werte J_1 und J_2 der kritischen Stromstärke und G und H die beiden kritischen Punkte der Stromwelle. Bei ihnen wird der Anker angezogen und losgelassen. Zwischen ihnen schreibt ein unmittelbar eingeschalteter Farbschreiber. Je näher diese kritischen

Punkte einander liegen, umso schneller kann telegraphiert werden. Man ist deshalb bestrebt, die Strecken $\overline{OE}$ und $\overline{OF}$ einander so gleich als möglich zu machen. Das wird umso mehr erreicht, mit je kleinerem Spielraum der Anker hin- und herschwingt.

Je schneller sich nun die Stromstärke und damit der magnetische Zustand des Empfängers in der Nähe der beiden kritischen Punkte ändert, umso sauberer arbeitet der Anker. Je steiler also die Stromkurve ansteigt und abfällt, umso besser die Schrift. Könnte es einen Stromkreis ohne jede Capacität und Selbstinduktion geben, so würde die Stromstärke unendlich schnell, in no time, im Bilde ganz senkrecht ansteigen. Die Dauer der veränderlichen Stromstärke wäre eben Null. Aber Sie sahen in der letzten Vorlesung die lästigen Eigenschaften der Stromkreise, im wesentlichen dargestellt durch ihr CW, die Dauer der veränderlichen Stromstärke verlängern, also die Stromkurve abflachen und die erwünschte Steilheit und Geradlinigkeit verderben. Hier bei unserer schematischen Kurve ist nun der Anstieg in der Nähe des Punktes G ziemlich steil. Angezogen wird der Anker deshalb schnell und scharf. Aber auf dem abfallenden Aste der Welle bei H ändert sich die Stromstärke etwas weniger schnell. Losgelassen wird der Anker verhältnismässig matt. Von den Befehlen der Taste an den Empfangsapparat wird Marsch! bereitwilliger ausgeführt als Halt!. Das Produkt CW, das die Dauer der veränderlichen Stromstärke verlängert, das heisst eben die Stromkurve abflacht, lässt leicht die Zeichen länger werden, als beim Geben beabsichtigt ist. Diese Verlängerung birgt dann die Gefahr des Zusammenlaufens der Zeichen in sich.

Denken Sie sich nun eine Reihe von Morsepunkten über eine Leitung gegeben. Das Produkt CW sei so gross, dass — bei der gewählten Geschwindigkeit des Gebens — der Telegraphierstrom im Empfangsapparate in einer derartigen Kurve (Fig. 257) verläuft. Er hat weder Zeit, bis zum Ohmschen Dauerwerte anzusteigen, noch zu Null herabzusinken, und schwankt als Welle um einen Mittelwert herum, der gerade die Hälfte des Dauerwertes ausmacht. Es ist klar, dass die Amplituden dieser Schwingungen umso kleiner sein werden, je schneller — unter sonst gleichen Umständen — gegeben wird. Sie erreichen übrigens nicht sofort die ihnen zukommende Höhe,

weil die Leitung noch nicht vollständig geladen ist. Wellenberg und Wellenthal liegen zu Anfang bei niedrigerer Stromstärke, als nachher. Das Paar gestrichelter Horizontalen, J_1 und J_2, bezeichnen die beiden kritischen Stromstärken. Im vorliegenden Falle erreicht der erste Wellenberg noch nicht den Wert von J_1, und der erste Punkt der Reihe bleibt aus. Je nach dem

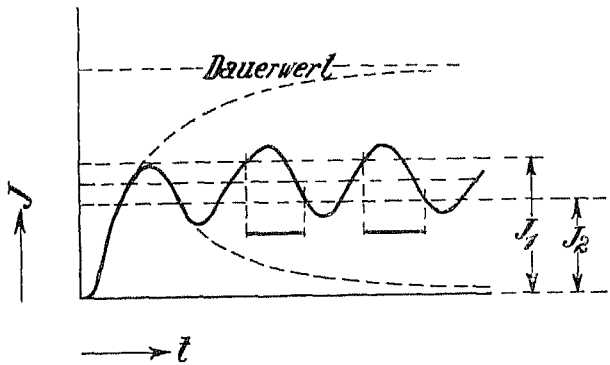


Fig. 257. Empfang einer Reihe von Morsepunkten.
Schematisch. Nach Thomas.

Werte, den bei der betreffenden Leitung das Produkt CW besitzt, muss so langsam gegeben werden, dass — bei richtig eingestelltem Empfangsapparat — alle Wellenberge bis über die grössere kritische Stromstärke J_1 ansteigen und alle Thäler bis unter die kleinere J_2 hinabsinken. Wird der Morse zu empfindlich eingestellt, so sind beide kritischen Stromstärken nach unten verschoben. Liegt dann J_1 unter den Wellenbergen und J_2 unter den Thälern, so erscheint auf dem Papierband ein ununterbrochener Strich. Umgekehrt verschiebt die unempfindliche Einstellung J_1 und J_2 nach oben. Das Papier bleibt unbeschrieben, sobald J_1 über den Wellenbergen, J_2 über den Thälern liegt. Sollen Zeichen und Zwischenräume in der von der Taste befohlenen gegenseitigen Länge auf dem Streifen erscheinen, so hat J_1 ebenso viel über der Mittellinie der Welle zu liegen, wie J_2 unter ihr.

Jetzt werde unter den gleichen Bedingungen, wie eben, eine Reihe von Morsestrichen gegeben und dabei die bekannte

Vorschrift befolgt, bei Strichen die Taste dreimal, bei Unterbrechungen ebenso lange zu drücken, wie bei Punkten. Der Empfangsstrom (Fig. 258) verläuft wesentlich anders, als bei der Punktreihe. Denn jetzt dauert der Stromschluss jedes Mal die dreifache Zeit, als die Unterbrechung, und die Leitung ist im stande, sich höher aufzuladen und dann aus ihrem Ende einen stärkeren Strom abzugeben, als vorher. Man sieht, die (in der Figur nicht gezeichnete) Mittellinie, um die die Stromwelle herumschwingt, ist wesentlich höher, als die Hälfte des Dauerwertes. Wollte man mit der alten Einstellung (von Fig. 257) jetzt die Strichreihe empfangen, so wären, wie Sie sehen (Fig. 258) beide kritische Stromstärken zu niedrig. Es

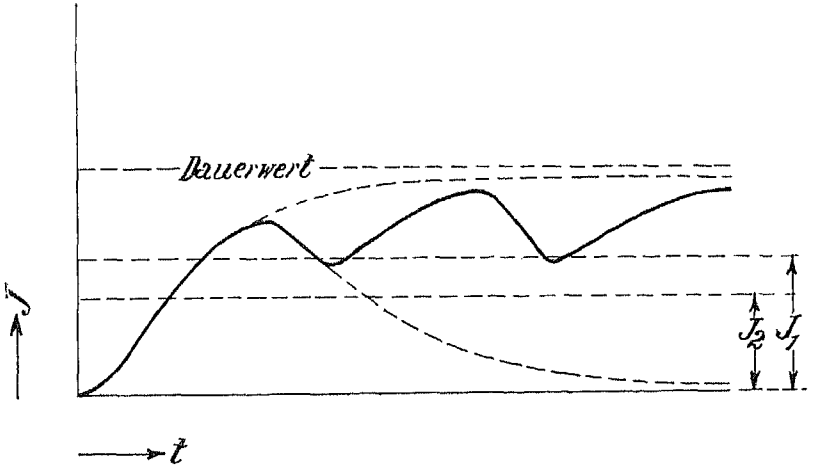


Fig. 258. Empfang einer Reihe von Morsestrichen.
Schematisch. Nach Thomas.

würde ein ununterbrochener Strich geschrieben. Aus den beiden Stromkurven folgt deshalb, dass verschieden lange Morsezeichen nur dann glatt aufgenommen werden können, wenn jedem Zeichen ein ebenso langer Zwischenraum folgt. Es sollten sich Ladung beim Zeichen und Entladung beim Zwischenraum gleichen. Diese Forderung ist im Betriebe nicht zu erfüllen. Noch weniger wird man darauf verfallen, den Morse für die Aufnahme von Punkten und Strichen und

kurzen und langen Zwischenräumen fortwährend verschieden einstellen zu wollen. Man wählt eine mittlere Einstellung und sucht nach Kunstgriffen, die Störungen zu vermeiden, welchen die Telegraphie über Leitungen von grossem *CW* ausgesetzt ist.

Das erste Mittel, das hier hilft, ist die Zerlegung der ganzen Telegraphierstrecke in mehrere Teile, zwischen denen durch ein Relais übertragen wird. Wie Sie wissen, nötigen bei Oberleitungen schon die Leitungsverluste zur Unterteilung der Strecke, sobald sie über ein gewisses Maass hinaus anwachsen. Auf jedem Teil ist dabei gleichzeitig wegen des kleineren *CW* die Dauer der veränderlichen Stromstärke kleiner und es kann dem zufolge schneller gearbeitet werden, als auf der ungeteilten Leitung. Die Einlegung einer einzigen Übertragung in der Mitte der langen Leitung erhöht die erlaubte Telegraphiergeschwindigkeit schon auf das Vierfache. Man sieht auch hier wieder, ein wie unschätzbarer Apparat das Relais ist. Zur Übertragung zwischen kurzen Oberleitungen dienen Weicheisen-Relais oder sogar Farbschreiber, also Apparate, die auf Ströme beider Richtung ansprechen. Sobald aber zwischen Leitungen übertragen werden soll, deren Teile noch eine nennenswerte Capacität besitzen, sind polarisierte Relais unentbehrlich. Sie werden gleich sehen, warum.

Vorher ist noch auf Folgendes aufmerksam zu machen. Für den Arbeitsstrombetrieb schreibt die Reichpsost vor, dass bei oberirdischen Morseleitungen unter 500 km Länge die negative Klemme der Batterie an die Leitung, die positive an Erde gelegt wird. Der positive Telegraphierstrom läuft dem Telegramm entgegen. Anders lautet die Vorschrift für Leitungen über 500 km Länge, eben für solche, bei denen die Capacität nicht mehr vernachlässigt werden kann. Nach dieser Vorschrift erden die beiden mit einander arbeitenden Ämter die entgegengesetzten Klemmen — ein Amt die positive, das andere die negative (Fig. 259). Welches Amt auch giebt, der Telegraphierstrom fliesst immer in derselben Richtung[1]). Des Weiteren

[1]) Das Gleiche ist natürlich auch in der Hughestelegraphie der Fall, weil auf jedem Amt sowohl der das abgehende Telegramm, wie der das ankommende tragende Strom den Anker abwerfen soll. Etwaige falsche Schaltung wird durch den Stromwender berichtigt (S. 350).

liegen den Morseapparaten polarisierte Relais vor, von denen Sie (von S. 286 her) wissen, dass sie nur auf Ströme einer bestimmten Richtung ansprechen. Bei der hier gezeichneten Schaltung dürfen auf beiden Ämtern die Hebel der polarisierten Relais (P.R.) nur von Strömen bewegt werden, die mit ihrer positiven Richtung von links nach rechts durch die Leitung fliessen. Giebt Amt I nach II, so ladet sich die Leitung als die eine Belegung eines Condensators mit positiver Elektricität. Nun hat die auf I gebende Taste einen Strich oder Punkt beendigt, und ihr auf den Ruhestift klappender Hebel legt die

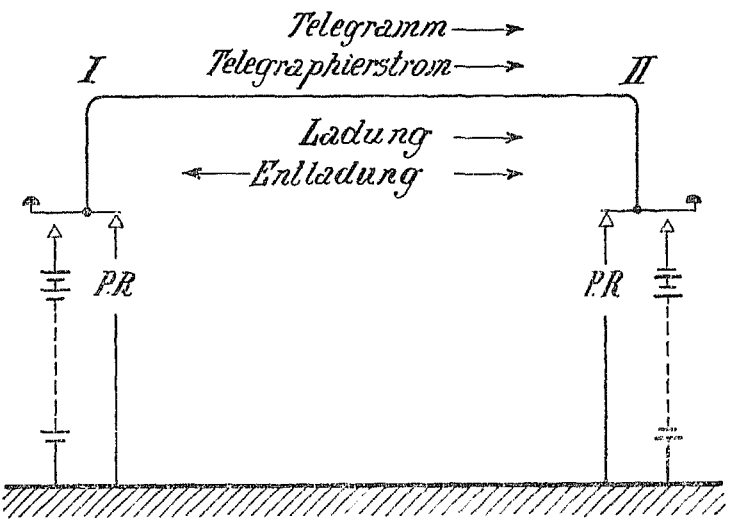


Fig. 259. Entgegengesetzte Klemmenschaltung.

Leitung über das polarisierte Relais I an Erde. Dann entladet sich die Leitung in einem Stromstoss, der mit seiner positiven Richtung zwischen Leitungsmitte und Amt I von rechts nach links, auf Amt I zu, fliesst. Das polarisierte Relais I spricht aber nur auf Ströme der entgegengesetzten Richtung an und wird von den Entladungsstössen nicht beeinflusst. Ein Weicheisen-Relais an derselben Stelle würde fortwährend, nach jedem Tastendruck, durch die aus der Leitung fliessenden Rückströme belästigt werden. Gleiches geschähe einem polarisierten-, wenn Amt II der Schaltregel entgegen die positive Klemme

seiner Batterie an der Leitung hätte. Auch sind ebenfalls die Rückströme Schuld, sobald für die Übertragung, wie vorhin erwähnt, polarisierte Relais notwendig werden. Natürlich sind auch hier entgegengesetzt geschaltete Batterieklemmen vorgeschrieben. Zum Beispiel legt (wie in Fig. 189 auf S. 295) die Übertragungsbatterie ihre negative, und jede Endbatterie die positive Klemme an die Leitung.

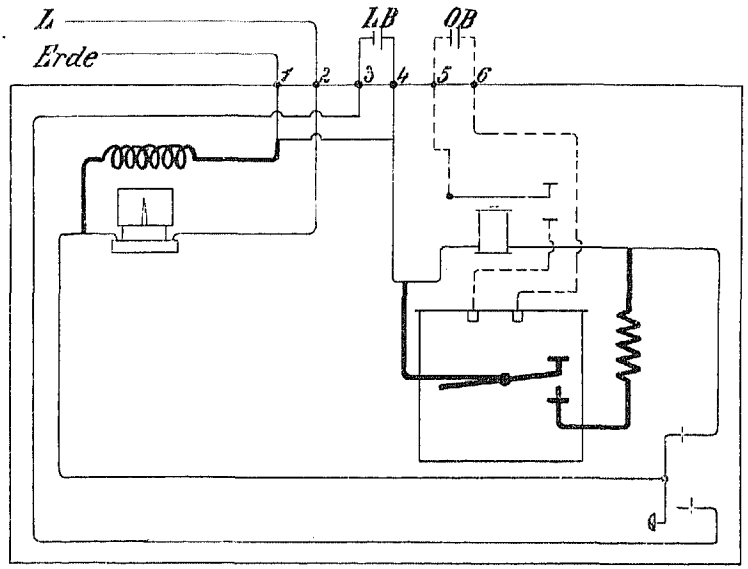


Fig. 260. Endstelle mit Induktanzrolle und unmittelbarer Erdung.

Neulich war von dem Vorzug die Rede, den Batterien von kleinem Widerstande verdienen, weil sie die notwendige Ladung des gespeisten Kabels beschleunigen. Ebenso berechtigt ist ausserdem das Bestreben, die Entladung zu beschleunigen. Je schneller der Entladungsstrom zu beiden Leitungsenden herausstösst, umso steiler der abfallende Teil der Telegraphierwelle, über dessen zu schräge Lage geklagt werden musste, umso schärfer also der Durchgang durch die kleinere kritische Stromstärke J_2. Je schneller die Entladung, umso eher aber auch dieser Durchgang, umso eher wird das alte Zeichen beendigt, und umso eher kann das neue begonnen werden.

Eine Anordnung, die Entladung am Empfangsende zu beschleunigen, zeichne ich in unsere alte Schaltungsskizze (Fig. 213 auf Tafel I) mit starkem Strich ein (Fig. 260.) Das Relais ist, wenn es auch die Zeichnung nicht besonders angiebt, polarisiert. Der Farbschreiber besitzt Übertragungscontakte. Die das Telegramm bringende Leitung liegt, wie früher, über Galvanoskop und ruhende Taste an der Relaiswicklung. Vor dieser führt eine Abzweigung zu dem unteren Übertragungscontakt des Farbschreibers, während dessen Schreibhebel an Erde liegt. Der Sinn der Einrichtung ist folgender: Sobald der Telegraphierstrom die kritische Stärke J_1 erreicht hat, schliesst der Relaishebel den Ortsstromkreis, und der Farbschreiber schreibt. So war es früher auch. Bei seiner Drehung schreibt der Morsehebel aber nicht nur, sondern legt über seinen Übertragungscontakt die Leitung vor der Relaiswicklung an Erde. Sobald das Relais seine Schuldigkeit gethan hat und den Farbschreiber schreiben lässt, wird es ausgeschaltet und an ihm vorbei ein Weg zur Erde so gut wie ohne Widerstand und Selbstinduktion hergestellt. Das Kabelende ist jetzt unmittelbar geerdet, und die Entladung kann ungehemmt und flott vor sich gehen. Alsbald ist die Stromstärke auf ihren kritischen Wert J_2 herabgesunken. Der Relaishebel klappt zurück, und der elektrisch von ihm geführte Farbschreiberhebel unterbricht die bequeme Verbindung von Leitung zu Erde wieder. Das schadet natürlich nicht. Denn die eiligere Entladung sollte nur die kritische Stromstärke J_2 schneller herbeiführen. Ist diese einmal da, so beschleunigt es nur die neue Ladung, wenn sie noch einen Teil der früheren auf der Leitung antrifft. Wie gesagt, darf man aber die Entladung nicht früher unterbrechen, als bis die Stromstärke im Empfangsapparat unter ihrem kritischen Wert J_2 gesunken ist. Sonst laufen beide Zeichen zusammen.

Aus der Schaltungsskizze (Fig. 260) geht noch eine zweite Veränderung gegen früher hervor. Zwar zeigt, wie sonst, das Galvanoskop den über Tischklemme 2 eintretenden Leitungsstrom an. Aber gleich hinter ihm wird dem Strom ein doppelter Weg zur Erde geboten (Fig. 261). Parallel zur Wickelung des polarisierten Relais liegt zwischen Leitung und Erde eine Spule mit grosser Selbstinduktion, wie die Post sie Induktanzrolle nennt. Dabei ist es im Prinzip gleichgiltig, was für ein Apparat

mit dem Kabel betrieben wird, und wo man die Spulen anlegt, ob an den äusseren- oder den Übertragsenden oder auch noch unterwegs.

Um die Wirkung dieser Selbstinduktion im Nebenschluss zu verstehen, erinnern Sie sich bitte, dass das Kabel leider während der Striche eine höhere Ladung aufnimmt, als während der Punkte, und dass es in den kurzen Zwischenräumen nicht eben so gründlich entladen wird, als in den langen. Helfen könnte hier eine künstliche Undichtigkeit am Kabelanfang, ein Nebenschluss zur Erde, der im ersten Augenblick schlecht und mit fortschreitender Ladung des Kabels immer besser leitet. Der Strich würde dann das Kabel kaum höher aufladen, als

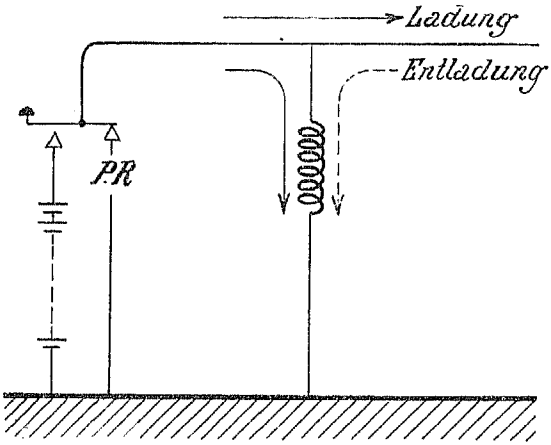


Fig. 261. Wirkung einer Induktanzrolle.

der Punkt. Ein solcher Nebenschluss von wenigstens scheinbar veränderlichem Widerstand ist die Induktanzrolle. Denn dem stark ansteigenden Strome des Zeichenbeginnes setzt sie einen hohen Widerstand durch Selbstinduktion, eine grosse Induktanz (S. 82) entgegen. Je mehr dann der Telegraphierstrom seinem Dauerwerte zustrebt, umso kleiner wird die Induktanz, umso mehr beschränkt sich der scheinbare Widerstand der Spule auf ihren Ohmschen. Die Induktanzrolle leistet demnach den verlangten Dienst. Sie stört die anfängliche und notwendige

Ladung des Kabels nicht, bietet aber, wie ein Ventil, dem schädlichen Übermaass einen seitlichen Abfluss.

Wird nun der Tastenhebel losgelassen, so induziert die Spule in sich selbst einen dem verschwindenden Strome gleich gerichteten. Die ausgezogenen Pfeile (Fig. 261) zeigen die Stromrichtung am Ende der Ladung, der gestrichelte die während der Entladung an. Der Selbstinduktionsstoss spannt sich gleichsam der Entladung vor. Die Induktanz ist jetzt dem Ohmschen Widerstande gewissermassen nicht zuzuzählen, sondern von ihm abzuziehen. Die Spule erhält hier scheinbar einen negativen Widerstand. Sie zapft dem Kabel die sonst langsam herausfliessenden Coulomb mit eins und in schnellem Stosse ab.[1]) Dazu und damit das Relais unbehelligt bleibt, muss für jeden einzelnen Fall die Selbstinduktion einen bestimmten Wert haben. Die Selbstinduktion der Spule wird gewissermassen auf die Capacität des Kabels abgeglichen, abgestimmt. Zu diesem Zwecke muss natürlich die Spule so eingerichtet sein, dass man ihre Selbstinduktion verändern kann, und zwar wird sie gerade auf eine solche Grösse eingestellt, dass trotz der Entladung die Erdleitung des Relais stromlos bleibt.

Um demnach jeweilig auf die Capacität des Kabels abgleichen zu können, muss der Betrieb über eine Auswahl an Spulen mit wesentlich verschiedener Selbstinduktion verfügen, und auch bei diesen muss die Selbstinduktion noch in gehörigen Grenzen veränderlich sein. Wie alle Induktionen, ist auch die Selbstinduktion der Grösse der Kraftlinienänderung proportional. Sie ist also umso grösser, eine je grössere Anzahl magnetischer Kraftlinien erzeugt oder zum Verschwinden gebracht werden müssen, wenn das Erzeugen oder Verschwinden unter alien Umständen gleich lange dauert. Es liegt folglich die Aufgabe vor, mit Hilfe eines gegebenen Stromes eine möglichst grosse Zahl magnetischer Kraftlinien zu erzeugen. Deshalb ist eine

---

[1]) Beim Hughes wird zwar bei den verschiedenen Zeichen der Strom gleich lange geschlossen, also die Leitung jedes Mal gleich lange aufgeladen. Dafür sind aber die durch den Wortlaut des Telegramms bestimmten Zwischenräume verschieden lang, und die Induktanzrolle besorgt auch bei den kleinsten von ihnen gründliche Entladung.

Induktanzrolle im Grunde nicht viel anderes, als ein Elektromagnet. Sie enthält viele Windungen isolierten Drahtes aufgewickelt, um die die Kraftlinien erzeugenden Amperewindungen zu bilden, und für diese Kraftlinien als Leitung einen geschlossenen Eisenweg, um den magnetischen Widerstand möglichst herabzudrücken.

Die französischen Induktanzrollen (Bobines Godfroy) die die ersten waren, sehen auch wie gewöhnliche Elektromagnete aus: zwei Spulen, gemeinsam auf einem im Rechteck verlaufenden Eisenkern, fast wie beim Farbschreibermagneten. Dabei lässt eine Schraube ein Schlussstück von dem Eisenkreise abdrängen. Dieser wird dann von zwei mehr oder weniger langen Luftbrücken unterbrochen und die von demselben Strome hervorgerufene Kraftlinienzahl und damit die Selbstinduktion erheblich verkleinert.

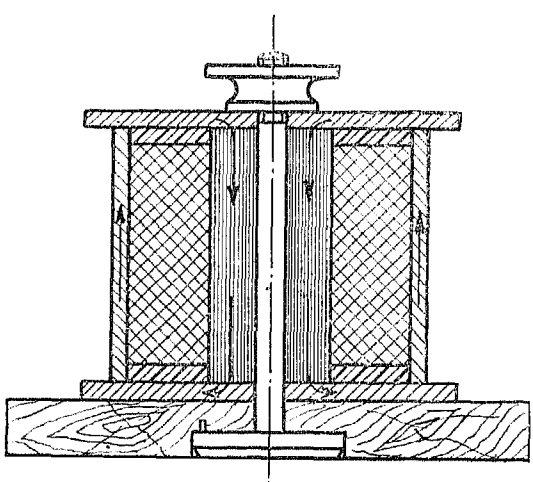


Fig. 262. Ältere Induktanzrolle.

Die Reichspost verwendet verschiedene Formen einer einschenkligen Induktanzrolle. Ihr eiserner Kern und Mantel werden durch Boden und Deckel zum magnetischen Kreise vereinigt. Das Ganze ist, wie man sagt, in Eisen gekapselt. Zur Verringerung der Hysteresisarbeit ist das Eisen magnetisch

weich, zu der der Wirbelströme unterteilt. Bei der älteren Form der Rolle (Fig. 262) werden Mantel, Kern, Boden und Deckel, von einem durch die Mitte gehenden Bolzen mit Schraubenmutter, zusammengehalten. Die (durch Pfeile bezeichneten) Kraftlinien durchlaufen den Kern als paralleles Bündel,[1]) verzweigen sich radial durch den Boden, fliessen durch den Mantel herauf und vereinigen sich im Deckel wieder zum Bündel oder umgekehrt. Wird die Schraubenmutter angezogen, so schliessen sich die Teile der Eisenkapsel fester zusammen und etwaige kleine Luftbrücken, die von den Kraftlinien zu durchsetzen waren, verschwinden. Die Selbstinduktion wird vergrössert. Andererseits wird sie durch Lockerung der Schraube verkleinert.

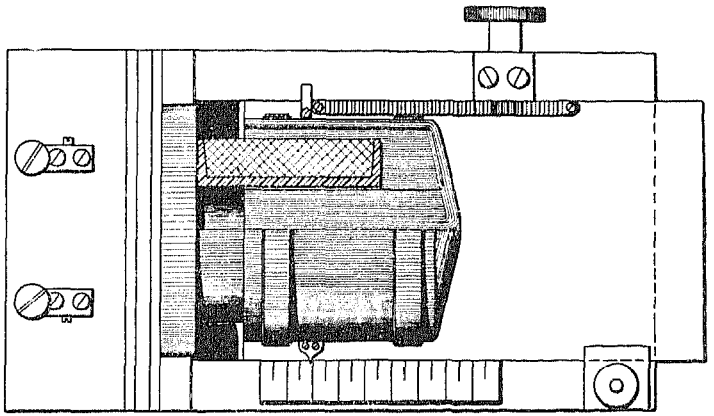


Fig. 263. Induktanzrolle mit verschiebbarem Eisenpilz.

Soll sie beträchtlicher verkleinert werden, als es so möglich ist, etwa auf einen Teil ihres ursprünglichen Wertes, muss man Eisenboden, -deckel und -kern ganz entfernen.

Eine neuere Form der Induktanzrolle (Fig. 263) ist liegend und auf einem beweglichen Schlitten angeordnet. Kern, Deckel

[1]) In der Schnittzeichnung mag Ihnen auffallen, dass der Eisenquerschnitt des Mantels so viel kleiner ist, als der des Kernes. Das erscheint aber nur so. Denn thatsächlich werden, wie sich leicht nachrechnen lässt, durch den verschieden grossen Radius von Mantel und Kern, beide Eisenquerschnitte einander gleich.

und Mantel werden von Eisendrähten gebildet, die zu einer Art Pilz gebogen sind; wie man aus der in ihrer oberen Hälfte als Schnitt gedachten Zeichnung erkennt. Durch einfache Drehung einer Schraube wird der Eisenpilz von der eisernen Schlussplatte links abgezogen und Luft in den Weg der Kraftlinien eingeschaltet. Hat man den Eisenpilz so weit als möglich herausgedreht, so ist die Selbstinduktion auf den ausserordentlich kleinen Betrag von etwa 4% des Wertes gesunken, den die Spule bei vollständig geschlossenem Eisenweg besitzt. Beachten Sie bitte den Zeiger, der durch seine Stellung angiebt, wie weit der Eisenpilz herausgedreht und damit die Selbstinduktion verkleinert ist.

Damit Sie sich von dem tatsächlichen Nutzen der Induktanzrollen überzeugen, ist hier (Fig. 264) der Verlauf eines Morse-*f*

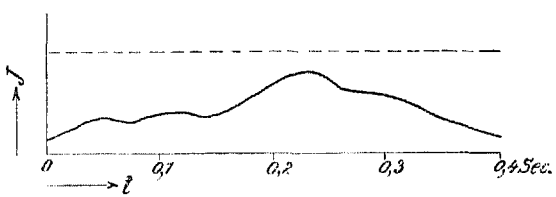


Fig. 264. Morse-*f* über 112 *MF* und 3800 Ohm, wie in Fig. 254 auf S. 384, aber mit Induktanzrollen. Nach Franke.

abgebildet, wie es am Ende des früher betrachteten und wie damals mit 150 *f* pro Minute beschickten Kabels erscheint. Jetzt sind durch die Induktanzrollen an den Kabelenden Berge und Thäler der Stromwelle ein wenig deutlicher hervorgehoben. Auch diese kleine Versteilerung der Kurve bedeutet einen Erfolg, umsomehr, als mir nicht bekannt ist, ob bei der schon aus dem Jahre 1891 stammenden Aufnahme auf genaue Abgleichung von Selbstinduktion und Capacität Wert gelegt worden ist.

Darf ich Ihnen auch, wenigstens kurz, über den Verlauf des Hughesstromes berichten. Der abgehende Strom beginnt beim Morse mit einer hohen Ladespitze. Beim Hughes (Fig. 265) geht ihr eine kurze Zeit langsamen Ansteigens vorher, weil hier der Strom zunächst auch die Magnetwickelung des gebenden Apparates durchfliessen muss, und weil deren Widerstand und

Selbstinduktion das plötzliche Einstürzen eines Ladestromes verhindert. Ist dann nach weniger, als $^1/_{100}$ Sekunde, die kritische Stromstärke — hier nur 7 Milliampere — erreicht, bei der der Anker abfliegt, so tritt der früher erwähnte (Fig. 246 auf S. 364) Schluss über Auslösehebel und Anker ein. Sofort stürzt unter Umgehung der jetzt seitwärts liegenden Hindernisse: Widerstand und Selbstinduktion ein mächtiger Stromstoss in das nach Ladung dürstende Kabel hinein. Der Ladestrom nimmt dann alsbald wieder ab. Sobald er unter 30 Milliampere gesunken ist, klappt der Contakthebel des gebenden Hughes vom Batterieauf den Erdcontakt hinüber und unterbricht während der Schwebelage jeden Stromfluss. Ist der Hebel auf dem Erdcontakt angelangt, so entladet sich das Kabel in einer hohen, natürlich negativen Spitze. Ihr heftiger Abfall wird, wie üblich, gegen Ende matter und ganz zum Schluss bremst ihn noch die Selbstinduktion der wieder eingeschalteten Magnetspulen. Nach etwa 0,09 Sekunden ist der ganze Vorgang — Ladung und Entladung — beendigt.

Nur wenig kommt von diesen heftigen elektrischen Stössen des Kabelanfanges ans Ende; ist doch die Capacität auf der ganzen Länge bestrebt, die Coulomb gleichsam festzukleben. Der ankommende Strom (Fig. 265b) steigt zuerst langsam an, bis mit einer kritischen Stromstärke von nur ungefähr 3 Milliampere der

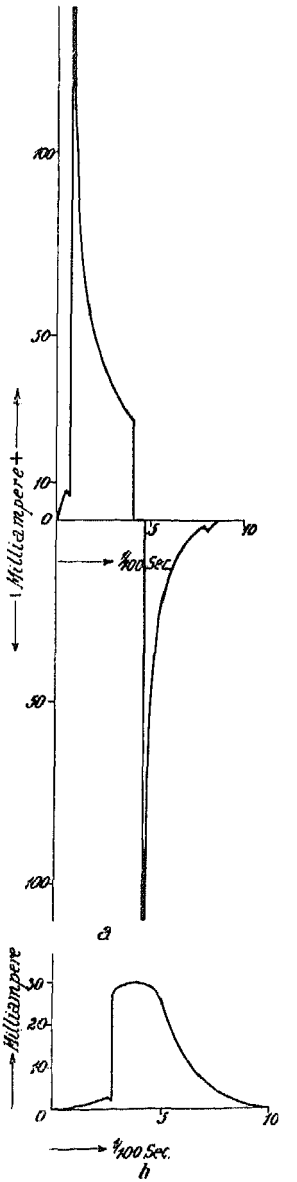


Fig. 265.
Verlauf des Hughes-Stromes.
a am Anfang,
b am Ende der Leitung.
Schematisiert nach Breisig.

Anker abgeworfen wird.[1]) Jetzt kann über Anker und Auslösehebel des empfangenden Hughes dem Kabelende, ungehindert durch Widerstand und Selbstinduktion, Elektrizität enströmen. Aber nur ein Tempo von etwa 30 Milliampere wird erreicht, und längst hat am Kabelanfang der Kontakthebel die Klemme der speisenden Batterie verlassen. Deshalb nimmt der Empfangsstrom alsbald wieder ab, ohne übrigens beim Eintritt eines neuen Zeichens den Nullwert vollständig erreicht zu haben.

Vorhin war davon die Rede, dass es für den Morse zwei kritische Stromstärken giebt, die man einander möglichst gleich machen soll. Hier bietet sich nun Gelegenheit, die eigenartige Anordnung des Hughes-Apparates zu verstehen, die den Anker beim Abfliegen, nicht während der Anziehung arbeiten lässt. Bekanntlich kommt beim Hughes besonders viel auf die schnelle und saubere Arbeit des Ankers an. Sie würde durch die Notwendigkeit erschwert werden, noch eine zweite kritische Stromstärke abzuwarten. Es ist deshalb dieselbe Stellung, in der der

[1]) Auch beim Hughes ist es notwendig, eine fest eingeprägte Anschauung abzuändern. Früher (S. 342) war mitgeteilt worden, dass beide Typenräder zu gleicher Zeit ihre Drehung beginnen. Beide Räder laufen synchron, wie die Zeiger zweier gleichgehender Uhren, so sagten wir. Damals wussten Sie aber noch nicht, wie Telegraphierströme wirklich verlaufen, dass die Capacität der Leitung den Strom an ihrem Ende hinter den am Anfang verzögert. Bei beiden Apparaten beginnen die Typenräder ihren Lauf gleich schnell nach dem Abfliegen der Anker. Beide Anker flögen aber nur in dem genau gleichen Augenblick ab, wenn die Leitung ohne Capacität wäre. In Wahrheit werden die Anker bei der kritischen Stromstärke abgeworfen, auf deren magnetische Wirkung sie eingestellt sind, und die kritische Stromstärke des Empfängers ist gegen die des Gebers verzögert. Unsere Kurvenaufnahme (Fig. 265) lehrt, dass im vorliegenden Falle — bei WC = rd. 0,1 — zwischen beiden ein Zeitunterschied von etwa 0,015 Sekunden vergeht. Diese Abweichung von der früheren einfachen Anschauung scheint klein, und die telegraphierenden Beamten bemerken nichts von ihr. Trotzdem ist sie bedeutend, sobald man sie an den Zeiten misst, mit denen der Hughes sonst arbeitet. So dauert der Batteriecontakt, wie Sie (von S. 364) wissen, nur $^1/_{28}$ = rd. 0,036 Sekunde. Um die Hälfte dieser ganzen Zeit bleibt in unserem Falle das Typenrad des empfangenden Apparates hinter dem des gebenden in der Phase zurück. Zwischen beiden Rädern ist für jede Leitung ein bestimmter Phasenunterschied vorhanden. Hier macht der etwa $^1/_2 \cdot {}^1/_{28} \cdot 360$ = rd. $6{,}5^0$ aus. Streng genommen, laufen also die beiden Hughesapparate nicht synchron, sondern asynchron, das heisst mit gleicher Geschwindigkeit, aber mit einem — für jede Leitung constanten — Unterschied in der Phase. Für gewöhnlich wird man aber gut thun, ruhig von Synchronismus zu reden.

Hughesanker angezogen und losgelassen wird. Man kommt *mit einer und noch dazu einer niedrigen, kritischen* Stromstärke aus. Oberhalb dieser ist der Dauermagnet so geschwächt, dass er den Anker abfedern lässt, und unterhalb ist er noch stark genug, den mechanisch herangeführten Anker festzuhalten. Denn die Druckachse dreht mit ihrem Excenter (Fig. 235 auf S. 349) den Auslösehebel gegen den Sinn des Uhrzeigers, damit dieser den Anker auf die Papier-beklebten Polschuhe heraufklappt. Nur hierdurch[1]) wird die Beschränkung auf eine kritische Stromstärke möglich. Sie ist es nicht bei dem zuerst natürlicher scheinenden Falle, den Anker elektrisch anziehen und mechanisch abreissen zu lassen. Selbst dann nicht, wenn man die schwere Arbeit des Abreissens der Druckachse übertragen könnte, von der sonst so viel abhängt. Die Anordnung des mit dem Strome abfliegenden Ankers, ist besonders fein erdacht und kann unsere Achtung vor dem Hughes-Apparate nur noch vermehren.

Sie haben heute eine ganze Reihe von Hilfsmitteln kennen gelernt, den lähmenden Einfluss der Capacität auf den Telegraphierstrom zu verkleinern: Batterien von kleinem Widerstande — Streckenteilung durch polarisierte Relais bei entgegengesetzter Batterieschaltung — unmittelbares Erden der Leitung, sobald J_1 erreicht ist — Nebenschlüsse von grosser Selbstinduktion.

Alle diese Hilfsmittel reichen aber nicht mehr aus, sobald auf Tausende von Kilometern durch die Meere gekabelt werden soll und das Produkt CW (Farad. Ohm) erst einmal nach ganzen Zahlen rechnet. Als Beispiel gebe ich Ihnen die mir zufällig gegenwärtigen Werte für eins der direkten transatlantischen Kabel aus englischem Besitz. Es verbindet Waterville in Irland und Canso auf Neu-Schottland und besitzt eine Capacität von 900 MF und einen Widerstand von 5000 Ohm. Demnach ist sein $CW = 900 \cdot 10^{-6} \cdot 5000 = 4{,}5$.

Zu den Störungen, die der Betrieb langer Seekabel durch die Länge des leitenden und des sich ladenden Materiales erfährt, gesellt sich eine weitere, gleichsam fremde hinzu. Sobald nämlich die Kabelenden gehörig weit von einander entfernt sind, etwa

[1]) Natürlich arbeitet das Hughesrelais mit zwei kritischen Stromstärken.

von einem $CW = 2$ ab, wird der zwischen ihnen im Erdboden herrschende Spannungsunterschied störend gross. Die Ursachen dieses Unterschiedes, verwickelt und wenig aufgeklärt, kümmern uns hier nicht. Genug, zwischen den beiden Erdungsstellen des Kabels besteht ein Spannungsunterschied, der sich noch dazu, wenn auch wohl erst im Laufe von Minuten merklich, in Grösse und sogar in Richtung ändert. An seinem Ende liegt das Kabel immer, am Anfang zwischen je zwei Zeichen an Erde. Für diese Zeit ergiesst sich demnach, getrieben von dem schwankenden Spannungsunterschied, ein Strom in den Kabelanfang, der wohl gegen den Telegraphierstrom aufkommen und ihn verwirren kann. Vor dem störenden Einfluss dieser Erdströme wird das Kabel dadurch geschützt, dass man seine Enden durch Condensatoren abschliesst, blockiert. Die Kabelseele führt auf jeder Seite zu der einen Belegung eines Condensators, dessen andere Belegung auf dem gebenden Amt zum Sender, auf dem empfangenden- zum Empfänger führt. Dass das Dielektrikum eines Condensators sich gegen schnell wechselnde Ströme so gut wie ein widerstandsloser Leiter benimmt (S. 372), ist Ihnen ja bekannt. Freilich würden die Abschlusscondensatoren den Ohmschen Dauerstrom nicht durch sich hindurchlassen. Aber diese Besorgnis ist müssig. Denn wenn der Dauerzustand schon in kurzen Kabeln nicht erreicht wird, wird er es in langen schon garnicht. Es kommt deshalb nur in Frage, wie sich die Abschlusscondensatoren gegen den schnell veränderlichen Telegraphierstrom und gegen den verhältnismässig langsam schwankenden Erdstrom benehmen. Nun, im Ergebnis ähnlich, wie eine Batterie von Polarisationszellen Wechsel- und Gleichstrom unterscheidet (S. 176). Wie durch ein Filter, lässt das Dielektrikum den erwünschten Telegraphierstrom hindurch und hält den lästigen Erdstrom auf sich zurück. Es muss noch hinzugefügt werden, dass die Kurve des Telegraphierstromes durch die Abschlusscondensatoren versteilert wird. Diese, ihre gewissermassen zufällige, aber sehr erwünschte Wirkung mag man sich als eine Folge der Heftigkeit vorstellen, mit der sie die Elektricität auf ihre Belegungen ziehen.

Aber alle unsre Hilfsmittel, die Abschlusscondensatoren eingerechnet, können eben nicht verhindern, dass von dem ganzen Telegraphierstrom nur eine Welle von sehr kleiner Amplitude

bis an das Ende eines langen Seekabels vordringt. Dass eine Vermehrung der speisenden Zellenzahl die Ladung und damit das Telegraphieren nicht beschleunigt, ist Ihnen ja bekannt. Im Gegenteil zieht man im Kabelbetriebe, um die Isolation weniger zu beanspruchen, kleine Spannungen vor und verhindert damit Kabeldurchschläge, das heisst gewaltsame Durchbrüche der Elektricität aus der Kabelseele durch Stellen mangelhafter Isolation. In früher Zeit war nun schon die Kleinheit der Amplituden Grund genug, um die Verwendung der bisher besprochenen Empfangsapparate auszuschliessen. Kein Relais war auf so kleine und so wenig verschiedene kritische Stromstärken einzustellen, dass es am Ende langer Seekabel angesprochen hätte. Was da vom Telegraphierstrom noch übrig ist, kann auch die kleine Arbeit nicht mehr leisten, den Hebel des empfindlichsten der Ihnen bekannten polarisierten Relais umzulegen. Aber wenn auch die Kleinheit der Amplitude den Empfang in einem Relais nicht gehindert hätte, so wäre das durch eine andere Eigenschaft der Stromkurve geschehen.

Um diese zu begreifen, erinnern Sie sich bitte, dass schon bei einiger Grösse des Produktes CW die verschiedene Länge von Punkt und Strich und der verschiedenen Zwischenräume Unzuträglichkeiten ergiebt. Schon lange Oberleitungen und kurze Kabel werden durch Striche merklich höher aufgeladen, als durch Punkte. Aber man kann sich noch zur Zufriedenheit helfen, wenn man den Empfangsapparat auf mittlere kritische Stromstärken einstellt. Das findet mit weiterem Anwachsen des CW alsbald seine Grenze. Dann wurde über die lange Dauer der Entladung geklagt und — damit verknüpft — den zu schräge abfallenden Ast der Stromkurve. Beiden Schwierigkeiten, dem Einfluss der verschiedenen Zeichenlängen sowohl, wie dem zu langsamen Abfall, versucht man durch ein Mittel abzuhelfen, das zwar in unseren Vorlesungen nur kurz beim Morseschnellbetrieb, der eben dadurch erst möglich wird, erwähnt, aber in der Telegraphie schon von jeher angewandt worden ist. Die Punkte und Striche der Morsezeichen werden nämlich nicht mehr mit Stromstössen verschiedener Länge und gleicher Richtung gegeben, sondern mit solchen von gleicher Länge und verschiedener Richtung.

Diese Zeichen wechselnder Richtung werden mit Hilfe zweier Tasten erzeugt, die zu einer Doppeltaste vereinigt sind. Aus dem Schema hier (Fig. 266) erkennen Sie, wie einfach die Doppeltaste arbeitet. Während der Ruhe liegt die negative Batterieklemme über die Ruheschienen beider Tasten an der Leitung und an Erde, die positive Klemme an den beiden

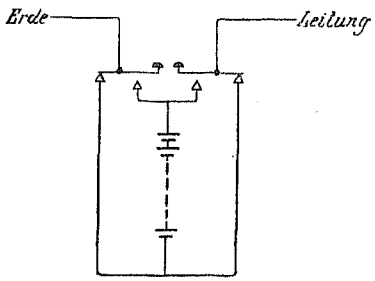


Fig. 266. Prinzip der Doppeltaste.

Arbeitsschienen. Ein Druck auf die rechte Taste legt nun die positive Klemme an die Leitung und lässt die negative an Erde. Ein Druck auf die linke Taste legt die positive Klemme an Erde und lässt die negative an der Leitung. Mit der einen Taste werden also alle Morsestriche, mit der anderen alle Morsepunkte gegeben. Wohlverstanden, beide Arten Zeichen sind gleich lang und unterscheiden sich dafür durch ihre Stromrichtung. Natürlich hindert nichts, wenn sonst die Eigenschaften des Kabels und des Empfangsapparates so schnelles Telegraphieren erlauben, die Zeichen passend in Lochstreifen zu stanzen und automatisch zu geben, wie Sie es ebenfalls vom Schnellbetrieb, von den Apparaten von Wheatstone und Pollak-Viràg her kennen. Die Zeichen werden dadurch zugleich regelmässiger.

Aber auch mit der verschiedenen Stromrichtung der Zeichen ist, besonders wenn die Kabelenden durch Condensatoren abgeschlossen sind, ein ernstlicher Nachteil verbunden, der in seinem Wesen mit dem durch verschiedene Stromdauer verwandt ist. Die Stromkurve am Kabelende pendelt nämlich nicht um einen fest bestimmten Nullwert herum: sondern ihr Nullwert wechselt, schwankt. Lassen Sie uns die Ursache

dieser Erscheinung erst später besprechen und ihre Folgen vorwegnehmen. Sie sind wichtig genug: Wenn die Stromstärke am Kabelende nicht mehr zwischen bestimmten, kritischen Werten hin- und herschwankt, sondern willkürlich bald nach oben und bald nach unten rutscht, dann ist eben keine Aufnahme mit Apparaten, wie den bisher besprochenen, möglich. Solche Apparate sind hier nicht zu brauchen, deren wirksamer Teil in Ruhe bleibt, bis der Strom seinen kritischen Wert erreicht hat, und dann erst ausgelöst wird und ebenso bei bestimmtem Stromwerte zur Ruhe kommt. Keiner der besprochenen Telegraphenapparate kann hier nützen, wo der Strom keine kritischen Werte einhält, wo die Mittellinie seiner Schwankungen vom Wortlaute des Telegramms nach oben oder nach unten verschoben wird.

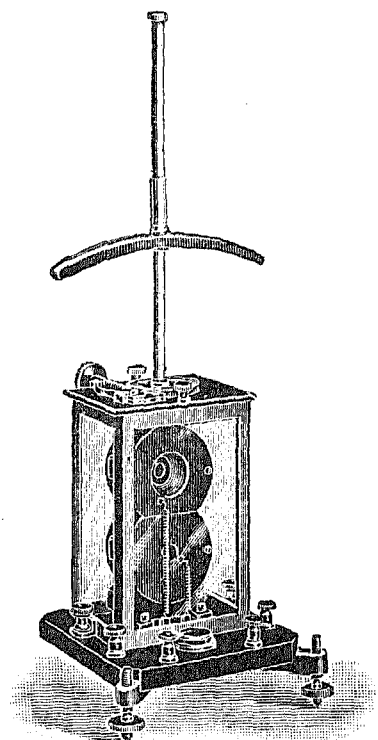


Fig. 267. Kabelgalvanometer. Ansicht.

Ein solcher Stromverlauf ist direkt nicht weiter zu verwerten, als ihn galvanometrisch anzeigen zu lassen. Aus den angezeigten Stromschwankungen kann dann das Auge die Ausbiegungen nach links und nach rechts, auch bei schwankender Nulllage herauslesen. Aus dem Ende langer Seekabel schickt man den ankommenden Strom also über Galvanometer zur Erde. Ohne erst auf den Eintritt kritischer Werte zu warten, folgen diese fortwährend dem Laufe des Stromes. Sie geben den Stromverlauf entweder vorübergehend durch die Bewegungen eines Lichtzeigers, oder bleibend, schriftlich durch die, einer feinen, mit dünnflüssiger Farbe gefüllten Glasröhre wieder, die auf einem, an ihrer Mündung vorbeiziehenden Papierstreifen, eine wellenförmige Spur hinterlässt.

Zu dem — besonders früher üblichen — vorübergehenden Aufzeigen der Stromkurve, dienen Spiegelgalvanometer, von denen schon mehrmals die Rede war (S. 68). Eigens als Kabelempfänger, wurde von Lord Kelvin das jetzt altberühmte Instrument gebaut, von dem Sie hier (Fig. 267) einen Vertreter vor sich sehen. Es enthält, drehbar aufgehängt, statt eines Magneten, deren zwei (Fig. 268). Beide sind gleich und sind

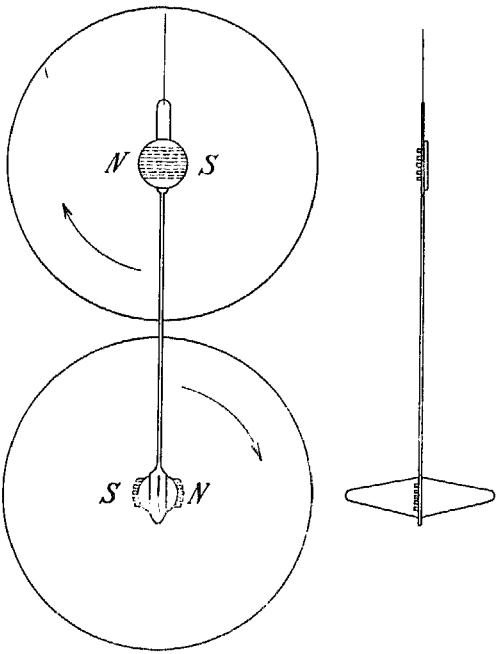


Fig. 268. Kabelgalvanometer.
Astatisches Magnetpaar, Spulenumriss, Spiegel und Dämpfungsruder.

zwangläufig miteinander durch eine Aluminiumstange verbunden, aber so, dass jeder mit seinen Polen nach der anderen Seite zeigt. Auf beide wirkt demnach der Erdmagnetismus entgegengesetzt und annähernd gleich stark ein. Seine richtende Kraft auf das Magnetpaar ist deshalb zum grössten Teile aufgehoben. Das Paar ist so gut wie ohne magnetische Ruhelage: astatisch. Der in vielen Windungen um ein solches Magnetpaar kreisende

Strom hat es leicht, das Paar abzulenken. Denn es ist von der sich sonst gegen die Ablenkung eines Magneten sperrenden Richtkraft der Erde fast ganz losgelöst. Sie werden dieses letztere zwar zugestehen, aber, wie ich fürchte, bezweifeln, dass überhaupt noch eine Ablenkung stattfindet. Wenn sich beide Magnete entgegenstehen, werden Sie sagen, müssen sie auch vom Strome einander entgegengesetzt abgelenkt werden. Ganz gewiss, wenn man so töricht wäre, beide in derselben Richtung umfliessen zu lassen. Thatsächlich sind die Magnete etwa um die Länge der Aluminium-Kupplungsstange von 58 mm von einander entfernt. Der astatisierende Magnet hängt in einem zweiten, besonderen Spulenpaar, welches zwar von demselben Strome, wie das erste, aber in entgegengesetzter Richtung (vgl. die Pfeile in Fig. 268), durchflossen wird. Jeder Magnet befindet sich in entgegengesetzter Lage und wird entgegengesetzt vom Strome umflossen. Beide werden folglich nach derselben Seite abgelenkt. Ihre Zweifel sind beseitigt. Wenn Sie dann bedenken, dass jedes Spulenpaar den ablenkenden Strom in zweimal sechstausend Windungen kreisen lässt, so werden Sie sich über die grosse Empfindlichkeit dieses Spiegelgalvanometers nicht wundern dürfen. Zu dieser trägt auch bei, dass jeder von beiden Magneten aus einer Gruppe kleiner — natürlich gleichgerichteter — Einzelmagnete besteht. Denn dünne Magnete können höher magnetisiert werden, als dicke (vgl. das magnetische Magazin von S. 34).

Um Ihnen von der Empfindlichkeit dieses Galvanometers einen Begriff zu geben, will ich Ihnen eine Zahl anführen, die ich früher einmal bei einem gleichen Instrument bestimmt habe. Der Richtmagnet, von dem gleich die Rede sein wird, war dabei in einer mittleren Stellung. Dann wurde auf der 2,4 m vom Spiegel entfernten Skala der Lichtzeiger um 460 mm, also fast einen halben Meter von seiner Ruhelage abgelenkt, wenn $2 \cdot 10^{-6}$ Ampere durch das Galvanometer flossen. Zu der noch recht ansehnlichen Ablenkung von 23 mm würde demnach nur $1 \cdot 10^{-7}$ Ampere $= {}^1/_{10000}$ Milliampere erforderlich sein, eine Empfindlichkeit, mit der Sie wohl zufrieden sein werden.

Nun ist noch von dem leicht gebogenen Richtmagneten zu sprechen, den Sie (in Fig. 267) über dem Ganzen sehen. Er verschafft dem Magnetpaar eine bestimmte magnetische Ruhe-

lage wieder, wie sie ihm die Astasierung fast ganz genommen hat. Denn bei seiner Entfernung von beiden Magneten, die im Vergleich zu der der Magnetpole der Erde von ihnen so ausserordentlich klein ist, wirkt er bei der verhältnismässigen Kleinheit seiner Entfernung auf den benachbarten oberen Magneten wesentlich mehr, als auf den entfernten, unteren. Aber die neue, durch den Richtmagneten gewonnene Ruhelage wird mit wesentlich geringerer Kraft festgehalten, als die durch die Astasierung genommene. Nun wird mit der Entfernung des Richtmagneten von den beiden kleinen Magneten auch der Unterschied in den Kräften verändert, die jener auf sie ausübt. Mit anderen Worten: durch Verschieben des Richtmagneten herauf oder herunter wird das Galvanometer mehr oder weniger empfindlich. Man kann dadurch also auch, wenn die Schwankungen des Telegraphierstromes eine andere Grösse haben, als bei einem früheren, die Ausschläge des Spiegels auf demselben Werte halten. Natürlich wird bei dieser Verschiebung des Richtmagneten das Magnetpaar gedreht.

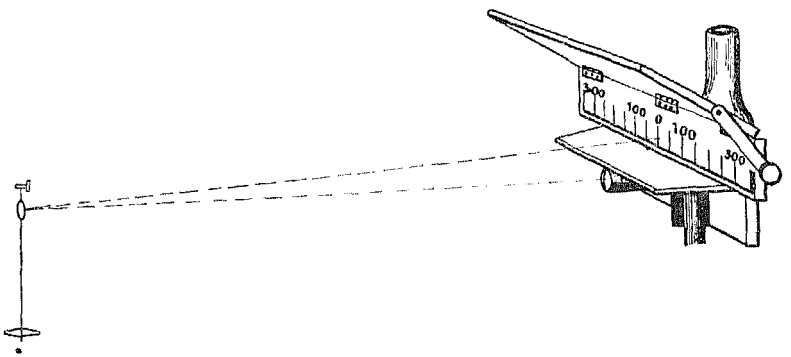


Fig. 269. Kabelgalvanometer. Spiegel, Skala, Beleuchtung.

Aber durch Drehung des Richtmagneten kann man auch dem Magnetpaar wieder die Ruhelage erteilen, die für die Ablesung bequem ist. Das Ganze ist hier betriebsmässig aufgestellt (Spiegel, Skala und Beleuchtung[1]) in Fig. 269), und Sie können daran besonders bei etwas verdunkeltem Saal die Art der

[1]) Die Petroleumlampe an einem technischen Instrument erinnert Sie an vergangene Zeiten.

Ablesung erkennen. Zur Dämpfung ist übrigens die untere Magnetgruppe mit einem zu ihr senkrechten Glimmer- oder Aluminiumflügel verbunden, der etwa wie ein doppeltes Steuerruder aussieht. An ihm puffert der Luftwiderstand in der Mitte des unteren Spulenpaares die Heftigkeit der Schwingungen von Magneten und Spiegel.

Galvanometer, wie das besprochene, haben besonders einen sehr grossen Nachteil, der die Industrie ganz hat auf sie verzichten lassen. Das ist die überaus lästige Empfindlichkeit gegen äussere magnetische Störungen. Die Instrumente antworten auf jede magnetische Verschiebung in ihrer Umgebung, mag sie auch nur von Strömen herrühren, die in der weiteren Nachbarschaft veränderlich fliessen, oder auch nur von dem Schlüsselbund in der Tasche eines am Hause Vorbeigehenden. Jeder, der mit einem derartigen Instrumente etwa in der Nähe einer elektrischen Strassenbahn hat arbeiten müssen, kann ein Lied davon singen. Man ist deshalb im Galvanometerbau allgemein dazu übergegangen, das Galvanometerprinzip umzukehren. Wie Sie sich erinnern, werden nicht nur Magnetnadeln von Strom durchflossenen Leitern abgelenkt, sondern auch leicht drehbare Strom-durchflossene Leiter von feststehenden Magneten (vgl. den Versuch auf S. 47). Der Sinn der Ablenkung ergiebt sich mittelbar aus der Schwimmregel. Ihre Grösse hängt unter anderem von der Stärke des feststehenden Magnetfeldes und von der Anzahl der abgelenkten Amperewindungen ab, gerade so wie sonst von den ablenkenden. Die Stromführende Spule hängt drehbar (Fig. 270) zwischen den Polen eines starken Dauermagneten und ist dadurch der lästigen Einwirkung äusserer Magnetfelder entzogen. Nach diesem Prinzip der Drehspule (Fig. 270) werden jetzt die meisten

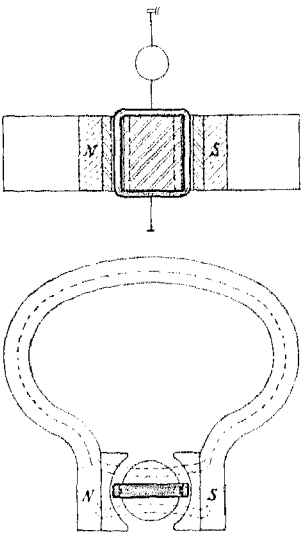


Fig. 270.
Drehspulinstrument.

galvanometrischen Instrumente, wie Galvanoskope,[1]) Spiegelgalvanometer, Strom- und Spannungszeiger, gebaut.

Nach dem gleichen Prinzip arbeitet auch der geistvolle und in seinen Leistungen vorzügliche Apparat, der jetzt allgemein als Empfänger am Ende langer Seekabel dient. Wie gesagt, zeigt er den Stromverlauf nicht vorübergehend an, sondern schreibt ihn auf einen Papierstreifen nieder. Sein Name **Heberschreiber** ist eine wörtliche Übersetzung des englischen Siphon recorder. Ganz ähnlich wie bei dem eben beschriebenen Galvanometer ist im Felde eines starken Magneten leicht drehbar eine zarte Spule (Fig. 271b) aufgehängt. Sie besteht aus etwa 20 Windungen eines Kupferdrahtes von 0,08 mm Dicke, natürlich mit Seide umsponnen, und hat etwa 500 Ohm Widerstand. Die Drahtwindungen sind nicht auf einen stützenden Rahmen gewickelt, sondern einfach mit einander verleimt. Dadurch bleibt das Gewicht der Spule auf 3 g beschränkt. Wie üblich, ist im Innern der drehbaren Spule ein fester Eisenkern angebracht, um den magnetischen Widerstand zu verkleinern. Die grosse Permeabilität des Eisens vermehrt die Anzahl beider Arten von Kraftlinien, sowohl die vom Magneten, wie die von der Spule erzeugten. Die ersteren treten von Pol zu Kern und von Kern zu Pol durch den Luftring über. In diesem Luftring schwingt nun die wohl centrierte Spule. In der Ruhelage liegt ihre Windungsebene in der Richtung der mittleren Kraftlinien des Magneten. Sie wird durch leicht bewegliche Spiraldrähte, die ihre Drehung nicht hindern, zwischen Kabelende und Erde geschaltet (vgl. auch Fig. 273 auf S. 418) und von der leichten Welle des Empfangsstromes durchflossen. Die von ihm in geringer Anzahl erzeugten, magnetischen Kraftlinien stehen natürlich (Fig. 36 auf S. 52) senkrecht auf der Windungsebene der Spule, also zunächst senkrecht auf den Kraftlinien des Magneten. Sie suchen sich diesen parallel zu stellen und nehmen dabei die Drehspule soweit mit herum, als es die Feder gestattet, die die Spule in der Ruhelage zurückzuhalten bestrebt ist. Da nun die Doppeltaste Morsepunkte und -striche als Stromstösse verschiedener

[1]) Auch bei dem Demonstrationsgalvanoskop von S. 115 und 135 und dem als Stromfeinzeiger (vgl. Fig. 169 auf S. 268) erwähnten neueren telegraphischen Galvanoskop ist das der Fall.

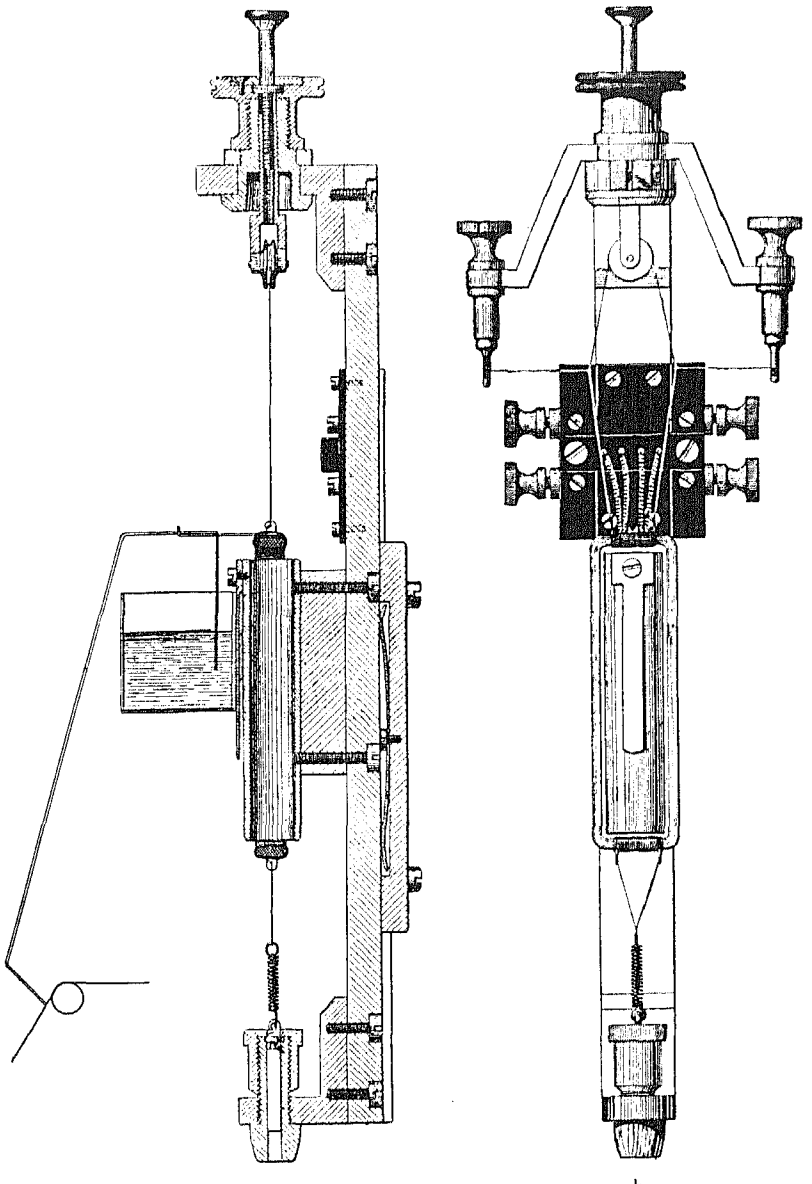


Fig. 271. Heberschreiber.
Nach Montillot.

Richtung in den Kabelanfang hineinschickt, wird die Spule je nach dem Wortlaut des Telegramms bald nach rechts, bald nach links abgelenkt. Sie gerät also ganz, wie vorher die Magnetnadel des Spiegelgalvanometers, in feine Drehbewegungen. Nur liest man diese nicht aus den vergänglichen Bewegungen eines gespiegelten Lichtstrahles ab, sondern bringt, wie erwähnt, die Spule dazu, ihre Schwingungen aufzuschreiben. Zu dem Zweck ist ihr ein ganz feines Glasrohr (Fig. 271a) angeklebt, etwa 10 cm lang und durch die Erwärmung in der Nähe eines Streichholzes in die gezeichnete Form gebogen. Das Glasrohr ist mit der Spule beweglich, hebert aber, ohne in seinen Bewegungen gehindert zu werden, aus einem feststehenden, nämlich vorn, dem Eisenkern aufgeschraubten Farbkasten, einen feinen Strahl von dünnflüssiger, blauer Farbe ab und läßt ihn, in feine Tröpfchen aufgelöst, auf einen an der Rohrmündung vorbeiziehenden Papierstreifen fallen. Bei ruhender Spule entsteht so aus den kleinen blauen Farbklexchen ein gerader Strich. Die seitlichen Hin- und Hergänge werden in einer Art Wellenlinie aufgezeichnet, die schematisch der Schrift des Pollak-Viràgschen Apparates (Fig. 217 auf S. 333) ähnelt. Hier (Fig. 272) ist ein solcher Originalstreifen, den mir ein freundlicher Schüler von der Chicagoer Ausstellung mitgebracht hat. Sie können aus der punktierten Wellenlinie[1]) den Inhalt herausbuchstabieren, wenn Sie jede Ausbauchung nach rechts als Punkt und jede nach links als Strich rechnen.

Nun darf aber nicht verhehlt werden, dass so ohne Weiteres auch die dünnflüssige Farbe nicht aus dem engen Heberrohre herauströpfelt. Die Capillarität hält sie einfach darin fest. Was geschieht, diesen Übelstand zu beseitigen, der den ganzen Apparat in Frage stellt? Mit demselben Gleichstrommotor, der den Papierstreifen bewegt, wird eine kleine Influenzmaschine angetrieben. Deren eine Endkugel ladet durch Influenz den Inhalt des Farbgefässes, das von dem mit Erde verbundenen

[1]) Je senkrechter die Wellenschrift zur Längsrichtung des Papierbandes verläuft, umso mehr entfernen sich an den betreffenden Stellen die einzelnen Farbtröpfchen von einander. Der Heber spritzt nämlich die Farbtröpfchen immer gleich schnell auf das von ihm nicht ganz berührte Papier. Je senkrechter die Schrift, auf eine umso längere Strecke verteilt sich dieselbe Anzahl von Tröpfchen, und umso weiter müssen sie demnach von einander entfernt sein.

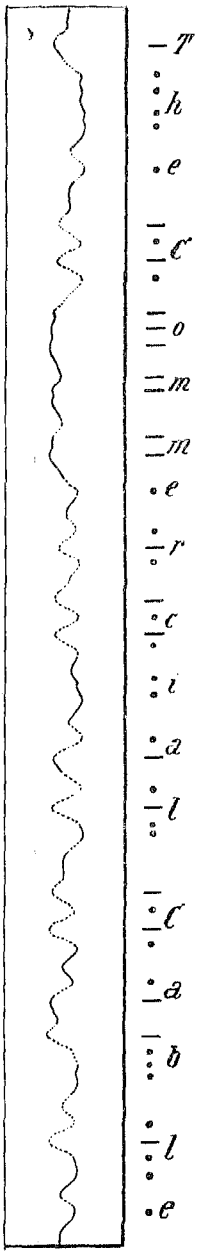


Fig. 272.
Heberschrift.

Papierstreifen isoliert ist. Nun zieht dieser elektrostatisch die Farbe an. Sie tröpfelt aus dem Heber heraus, und alles ist in Ordnung.

Eine Elektrisiermaschine ist für Dauerbetrieb kein besonders angenehmer Apparat. Sie ist deshalb später durch eine andere Einrichtung ersetzt worden, die nicht erst elektro-, sondern rein mechanisch die Farbe aus dem Glasheber herausschüttelt. Zu dem Ende ist diesem neben der Öffnung ein winziges Stückchen Eisen angeklebt. Unter dem Papierband sitzt ein kleiner Elektromagnet, der mit Hilfe eines Unterbrechers (vgl. S. 78) mit unterbrochenem Gleichstrom gespeist wird. Das Eisenstückchen wird durch den Papierstreifen hindurch abwechselnd angezogen und losgelassen. Die Unterbrechungen folgen sich aber so schnell, dass die elektromagnetische Wirkung sich nur in einer leisen Erschütterung des Eisenstückchens und damit des Hebers äussert. Sie genügt, die Farbtropfen herauszuschütteln.

Wollen Sie sich nun bitte den Originalstreifen etwas genauer ansehen. Sie können dann an ihm die Erscheinung beobachten, die, wie Sie erkannten, die Verwendung der sonst üblichen Empfangsapparate am Ende langer Seekabel verbietet und die von Galvanometern vorschreibt: den schwankenden Nullwert, das variable zero der Engländer. Die Betrachtung des Streifens ergiebt, dass bei verschiedenen Buchstaben die Nulllage der Kurve, also der Hebermündung, also der Spule, also des Stromes nicht die gleiche geblieben ist. Zu Anfang, vor dem ersten *t*, ist die Nulllage etwa 7,3 mm von der linken Papierkante entfernt, zwischen den Punkten des darauffolgenden *h* etwa 9 mm, im c wieder etwa 8 mm, zwischen den Strichen des *o* etwa 6 mm.

Die Erklärung dieser merkwürdigen und bedeutsamen Thatsache bin ich Ihnen immer noch schuldig: Da das Kabel zwischen den Zeichen nicht so lange an Erde gelegt werden kann, bis die Ladung entwichen ist — das ist ja der Hauptgrund des Zeichenwechsels — bleibt zunächst nach jedem Zeichen Ladung auf dem Kabel sowohl, wie den Abschlußcondensatoren übrig. Tritt nun ein Wechsel des Zeichens ein, das heisst, folgt einem Strich ein Punkt, oder einem Punkt ein Strich, so wird die von dem ersten Zeichen übrig gebliebene Ladung durch das zweite, entgegengesetzt gerichtete, vernichtet, gewissermassen ausgetrieben. Nehmen Sie an, beim Geben von Strichen läge die positive Batterieklemme an der Leitung, bei Punkten die negative. Dann würde der von einem Strich herrührende, positive Ladungsrest durch die negative Elektricität eines darauf folgenden Punktes zu Nichte gemacht. Nun habe aber das zweite Zeichen die gleiche Stromrichtung, wie das erste. Es folge dem Strich abermals ein Strich. Dann fehlt die wirksame Entladung durch die negative Elektricität des Punktes. Das Kabel bleibt erstens positiv geladen. Zweitens fügt der neue Strich der noch übrigen positiven Ladung eine neue hinzu, und gar ein etwa gleich folgender dritter Strich, vergrössert die Ladung noch mehr. Genau so, nur mit umgekehrtem Vorzeichen, ist es bei einer Reihe sich unmittelbar folgender Punkte. Trotzdem hier beide Zeichen gleich lange dauern, beeinflusst ihre durch den Wortlaut des Telegramms vorgeschriebene unregelmässige Reihenfolge, den Ladezustand des Kabels und damit den Strom, der aus dem Kabelende über dem Empfangsapparat zur Erde fließt. So äußert sich die durch eine Folge von Strichen vermehrte positive Ladung dadurch in der Stromkurve, dass sie diese immer weiter nach der positiven-, der Strichseite hin abdrängt. Genauer gesagt, eine Folge von Strichen verschiebt die Nulllage für die Strichausbauchungen immer weiter auf die Strichseite, eine Folge von Punkten immer weiter auf die Punktseite, wie es auch unser Streifen zeigte. Jedes neue Zeichen wird zwar selbständig gegeben. Aber je nach seinen Vorgängern baut es sich auf ein verschiedenes, elektrisches Niveau auf. Durch die schwankende Ladung des Kabels und des Condensatorpaares sind die einzelnen Zeichen nicht selbständig, sondern miteinander gekuppelt, an-

einander gefesselt, gleichsam erblich belastet. Darin liegt der Grund der wechselnden Nulllage und der Notwendigkeit, zum Empfang Galvanometer zu verwenden.

Wenn Sie nun eine Erdkarte betrachten, in der die Unterseekabel eingetragen sind, sei es auch nur das Reklameblatt einer Kabelgesellschaft, so fällt Ihnen sofort auf, dass die Meere sehr häufig nicht auf dem nächsten Wege durchquert werden. Vielmehr suchen die Kabel, soweit nur irgend möglich, Inseln anzulaufen, selbst wenn die vom nächsten Wege recht weit ablegen. Das vorhin erwähnte englische Kabel Waterville—Canso durchquert den atlantischen Ozean direkt. Hingegen ist von dem deutschen Kabel Emden—New York bekannt, dass es den Umweg über die Inselgruppe der Azoren macht. Natürlich wird dadurch das Kabel länger und teurer. Auch für den Bau und Betrieb des Azorenamtes Horta entstehen noch Kosten. Aber der Grund, der die Kabel so mit häufig erheblichen Mehrkosten über Inseln schickt, ist nicht schwer zu erraten. Es ist der alte Kunstgriff der Streckenteilung. Der ganze Kabelweg, über den gegeben werden muss, wird durch die Inseln in Teile mit entsprechend kleinerem CW und entsprechend grösserer Telegraphiergeschwindigkeit[1]) zerschnitten.

Aus jedem Kabelabschnitt muss natürlich auf den nächsten übertragen werden. Früher besorgten das Beamte. Aus der Wellenschrift, die der Heberschreiber am Ende des ersten Kabelabschnittes aufzeichnete, las ein Beamter die Zeichen ab und übergab sie zur Beförderung über den zweiten Abschnitt der Taste oder bei automatischem Betriebe dem Lochstreifen. Aber Sie kennen ja die erheblichen Nachteile dieser »human translation« (vgl. S. 295). Eine vorgeschrittene Telegraphie bedarf eines besseren Relais, als des zu Irrtümern geneigten menschlichen Gehirns und der schwerfälligen Hand. Sie benutzt das Trommelrelais[2]), das ich Ihnen jetzt zum Schluss unserer Besprechung des Kabelbetriebes schildern muss.

---

[1]) Es wird angegeben, dass beim Betrieb mit Heberschreibern auf einem Kabel, dessen CW in den Grenzen 3,5 und 8 liegt, durchschnittlich ungefähr $\frac{10}{CW}$ Buchstaben pro Sekunde, bei dem gewählten englischen Beispiel demnach etwa deren 2 gegeben werden können.

[2]) Siehe S. G. Brown. The Electrician. Bd. 49, S. 137. 1902.

Von den beiden Haupterfordernissen eines Kabelrelais ist die eine die ausserordentlich grosse Empfindlichkeit. Wie die überreizten Sinne eines sehr nervösen Menschen, muss es auf die kleinsten Reize antworten. Denn die Stromschwankungen am Ende eines langen Seekabels, deren Kleinheit Sie kennen,

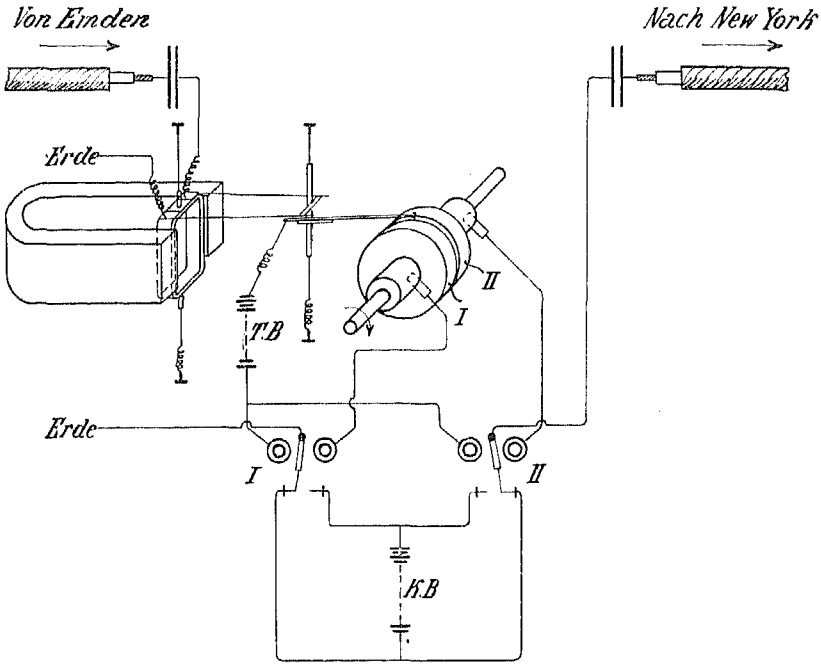


Fig. 273. Kabelübertragung mit Trommelrelais.
Mit Benutzung einer Zeichnung von S. G. Brown.

sind nur zu Leistungen befähigt, die man geistvoll als von der Grössenordnung einer zehntel Fliegenstärke bezeichnet hat. Dazu wird von dem Relais schnelles und jedes Mal ganz sicheres Herstellen und Lösen der Contakte verlangt. Sehen wir, wie diese harten Anforderungen erfüllt werden.

Hier (Fig. 273) ist zwischen den Polen eines Dauermagneten die Drehspule eines Heberschreibers gezeichnet, wie sie zum Beispiel auf dem Azorenamt Horta zwischen Erde und dem

Condensator-verschlossenen Ende des von Emden kommenden Kabels liegt. Mit dieser Drehspule ist über zwei Seiden- oder Quarzfäden ein dünnes Glasrohr verbunden, von der Art, wie es sonst zum Farbheber gebogen wird. In das Rohr ist ein dünner Draht aus der festen und elastischen Phosphorbronze gesteckt, dessem Ende — wie bei den Goldfedern der Füllhalter — eine Spitze aus dem harten Metall Iridium aufgelötet ist. Diese Iridiumspitze ruht auf der metallischen Oberfläche einer Drehtrommel, die etwa 150 Mal pro Minute, etwas schneller als der Hughesschlitten, umläuft. Die Drehtrommel ist durch einen schmalen Ring aus Isolationsmaterial elektrisch in zwei Hälften I und II geteilt. Jede Trommelhälfte ist über eine auch bei der Drehung Contakt machende Schleifbürste mit der einen primären Klemme eines der, sagen wir, Siemensschen polarisierten Relais I oder II verbunden. Die zweiten primären Klemmen beider Relais liegen gemeinsam an der positiven Klemme der Trommelbatterie *TB*. Mit deren negativer Klemme steht über den Draht im Heberrohr die Iridiumspitze in Verbindung.

Nun kommt es darauf an, dass — gemäss den Befehlen des Stromes aus Emden — die Drehspule die Iridiumspitze auf den beiden Trommelhälften I und II hin- und herschiebt. Reicht denn dazu die winzige Kraft der leichten Stromschwankungen aus? Kann sie die Reibung der Spitze auf der Trommeloberfläche überwinden? Bei ruhender Trommel allerdings nicht. Da bleibt die Spitze dort haften, wo sie sich zufällig befindet. Aber die Drehung — und das ist der erste Kunstgriff — vermindert die Reibung so sehr, dass die Spitze sich leicht und sicher von einer Hälfte auf die andere schiebt und dabei natürlich den Contakt sicher mit der einen löst und mit der anderen herstellt. Es wird hier die alte Erfahrung benutzt, dass zwei sich gegenseitig bewegende Körper eine geringere Reibung gegen einander haben, als ruhende. Bei zwei ruhenden Oberflächen haben die kleinen Unebenheiten Zeit, sich in einander gleichsam einzufressen, einzuhaken, und sind dann entsprechend schwerer zu trennen, als wenn beim schnellen Gleiten keine Zeit dazu vorhanden war.

Die Iridiumspitze gleitet also zwischen den beiden von einander getrennten Trommelhälften in demselben Rythmus hin und her, wie die Drehspule sich nach rechts und nach links aus ihrer Ruhelage herausdreht. Bei dieser Ruhelage selbst schleift

die Iridiumspitze auf dem isolierenden Ring der Trommelmitte. Dieser Ring bewegt sich nun natürlich nicht nach der Seite, während die Nulllage des Kabelstromes fortwährend schwankt. Es ist das zweite Haupterfordernis des Relais, dass immer bei der Nulllage des Telegraphierstromes, mag sie noch so weit in das Positive oder Negative verschoben sein, dass dann immer die Iridiumspitze auf dem Isolierring schleift. Die Drehspule soll zwar durch Ablenkung nach rechts und links die Ausbauchungen der Stromkurve wiedergeben. Sie muss aber verhindert werden, deren Nullpunktsschwankungen mitzumachen. Auch dieses Kunststück bekommt das Relais fertig: Der Spulenablenkung durch den Kabelstrom tritt eine neue korrigierend entgegen. Zu dem Ende enthält die Drehspule ausser ihren vom Kabelstrome durchflossenen Windungen und isoliert von ihnen noch andere. Durch diese wird der Correktionsstrom geschickt, und die Spule bewegt sich so hin und her, als ob sie nur von einem schematischen Kabelstrome mit unverändert feststehender Nulllage abgelenkt würde. Will ein Übermass von Kabelladung die Nulllage der Drehspule nach der einen Seite treiben, so drückt sie dafür der entsprechend grössere Correctionsstrom nach der anderen. Die Nulllage bleibt in der Mitte. Wo der Correktionsstrom herkommt, sei uns hier gleich. Es genüge die Thatsache, dass bei jeder Nulllage des Kabelstromes die Iridiumspitze auf dem Isolierring schleift und bei jeder Ausbauchung auf der entsprechenden Trommelhälfte.

Durch die erwähnte Anordnung der polarisierten Relais wird nun bewirkt, dass beide ihre Hebel auf den (in Fig. 273 nach aussen gezeichneten) Ruhecontakten haben, wenn die Iridiumspitze auf dem Isolierring liegt. Sobald aber die Spitze auf Trommelhälfte I oder II hinübergleitet, wird der Hebel des Relais I oder II umgelegt. Die secundären Relaisklammern brauchen nun bios richtig geschaltet zu sein, und die beiden Hebel versehen den Dienst der Doppeltaste. Aus der Skizze geht hervor, dass, solange die Spitze auf Trommelhälfte II schleift, über Relaishebel II ein positiver Stromstoss aus der Kabelbatterie *KB* auf die äussere Belegung des das Kabel nach New York verschliessenden Condensators stürzt. Der Telegraphierstrom wird trotz seiner geringen Stärke und trotz der Schwankungen seines Nullpunktes aus einem Kabelabschnitt in den anderen übertragen.

19. Vorlesung.

Der Vielfachbetrieb.

Baudotprinzip: Umschichtige Benutzung eines Drahtes durch mehrere Apparate. Verteilerhebel. — Differential-Gegensprechen: Differentialprinzip bei Galvanoskop und Relais. — Differentialschaltung (Stöpselwiderstände. Anordnung. Manganin. Bifilare Wicklung). Ausgleichswiderstand. Abgehendes und ankommendes Telegramm. Taste des Empfangsamtes. — Ausgleichscapacität. Künstliche Leitung. — Brücken-Gegensprechen: Brückengesetz. — Zweites Schema. — Wirkliche Schaltung. Abgehendes und ankommendes Telegramm. Keine gegenseitige Störung.

Unsere heutige Vorlesung gilt dem Vielfachbetriebe, den Methoden, gleichzeitig mehrere von einander unabhängige Depeschen über einen und denselben Draht zu schicken. Dem Unkundigen scheint dieses Beginnen geradezu unmöglich, und doch stammen die Vielfachmethoden zum Teil schon aus den Kindertagen der Telegraphie. Heute sind sie dem gesteigerten Verkehr dringendes Bedürfnis. Oberleitungen und besonders Kabel erfordern die Anlage allzu grosser Kapitalien, als dass jedes einzelne von mehreren gleichzeitig zwischen denselben Ämtern beförderten Telegrammen eine besondere Leitung für sich in Anspruch nehmen dürfte. Wenn es der Verkehr zwischen zwei Ämtern verlangt, werden die Leitungen mehrfach, vielfach ausgenutzt.

Von den Methoden dieses Vielfachbetriebes wird wegen ihrer Einfachheit zweckmässig zuerst die Gruppe kurz besprochen, welche man zu Recht oder Unrecht als Baudotprinzip zusammenzufassen pflegt. In der That dürfen Sie sich an der Erklärung des blossen Prinzipes umso mehr genügen lassen, als es hauptsächlich in Frankreich und zwar zum Vielfachbetriebe des Baudot-Typendruckers angewendet wird. Da aber nichts hindert, auch jeden anderen Apparat nach der Baudotmethode zu betreiben, sei für ihre Erklärung der Einfachheit halber der Klopfer gewählt.

Die Apparate eines Amtes I kennen Sie nur als mit denen des Amtes II durch je einen Draht, vier Apparatpaare mit einander durch vier Drähte verbunden. Bei der Baudotschen Anordnung ist nur ein Draht vorhanden und die vier Apparatpaare teilen sich in diesen einen Draht und benutzen ihn umschichtig. Zu dem Ende mündet der Draht auf beiden Ämtern in einen Verteilerhebel, der fortwährend und mit gleichförmiger Geschwindigkeit umläuft (Fig. 274). Dieser Hebel

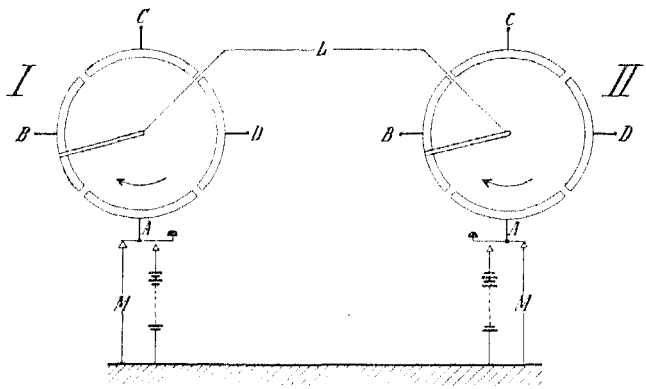


Fig. 274. Baudotprinzip.

teilt die Leitung den vier Apparatpaaren abwechselnd zu, indem er mit seiner Kupferdrahtbürste auf einem in vier Teile getrennten Contaktring schleift. Er macht in der Sekunde n Umdrehungen. Jede von diesen dauert dann $^1/_n$ Sekunde und der Contakt mit jedem Sektor des Ringes dabei etwas weniger als $^1/_{4\,n}$ Sekunde. Auf beiden Ämtern liegt an jedem Sektor ein Apparatesatz (Fig. 274 bei A), und beide Contakthebel laufen synchron.[1]) Dann besteht für das erste $^1/_{4\,n}$ Sekunde zum Beispiel folgende Verbindung: Apparatsatz A_I, Sektor A_I, Contakthebel I, Leitung, Contakthebel II, Sektor A_{II}, Apparatsatz A_{II}. Für die nächsten drei $^1/_{4\,n}$ Sekunde ist das Gleiche mit den Sektoren und Apparatsätzen B, C und D der Fall. Dann kommt wieder A für das fünfte $^1/_{4\,n}$ an die Reihe und ebenso

[1]) Das heisst natürlich mit der von der Fussnote der S. 401 her bekannten Einschränkung.

für das neunte, dreizehnte u. s. f. Jedes Apparatpaar bekommt umschichtig für seinen Bruchteil der Sekunde die Leitung zugewiesen, und während dieser Zeit leistet es seine telegraphische Arbeit, wobei sich von selbst versteht, dass das *CW* der Leitung eine so hohe Telegraphiergeschwindigkeit zulassen muss. Eine Gesellschaft von Apparaten besitzt gemeinsam, kommunistisch nur eine Leitung, und die Erlaubnis, sie zu benutzen, geht herum, und zwar muss so schnell abgelöst werden, als die Klarheit der Verständigung verlangt. Drei Apparate pausieren immer einen Augenblick, damit schnell der vierte telegraphieren kann. Dabei ist gleichgiltig, ob alle vier in derselben Richtung arbeiten oder nicht. Die Telegramme *A* und *B* mögen zum Beispiel von I nach II, die *C* und *D* von II nach I gehen oder umgekehrt, wie es gerade der Verkehr verlangt. Sie werden mir trotzdem bestätigen, dass beim Baudotbetrieb genau genommen in einem bestimmten kleinen Zeitteilchen immer nur ein Telegramm über die Leitung geht.

Anders bei dem wahren Vielfachbetrieb, bei dem tatsächlich auch in kleinsten Zeitteilen gleichzeitig telegraphiert wird. Meistens handelt es sich hier auch nur um zwei gleichzeitige Telegramme. Es macht auch einen grossen Unterschied, ob diese beiden Telegramme gleiche Richtung haben oder in entgegengesetzter- an einander vorbeilaufen. Andere Methoden ermöglichen das Doppelsprechen, den Diplexbetrieb und andere das Gegensprechen, den Duplexbetrieb. Wohl gemerkt, handelt es sich in beiden Fällen um Telegraphier- und nicht etwa um Fernsprechweisen, wie der Name vermuten lassen könnte. Praktisch unwichtig ist das Doppelsprechen, wichtig das Gegensprechen, dessen Betrachtung den ganzen Rest unserer heutigen Vorlesung ausfüllen soll. Es wird durch zwei verschiedene Schaltungen ermöglicht: durch Differential- oder durch Brückenschaltung.

Zur Erklärung des Differential-Gegensprechens dienen zwei einfache Versuche. Ähnlich der Anordnung (Fig. 37 auf S. 53) aus der vierten Vorlesung, seien rechts und links von einer Magnetnadel zwei kleine Spulen aufgestellt, sodass deren Achse zum magnetischen Meridian und zur Nadel senkrecht steht (Fig. 275). Schickt man nun durch beide in gleichem Sinne gewickelte Spulen denselben Strom, aber in entgegen-

gesetzter Richtung, so wird die Nadel nicht mehr wie damals abgelenkt. Vielmehr bleibt sie ruhig in der Meridianebene stehen. Das ist am Ende nicht sehr merkwürdig. Denn dadurch, dass beide Spulen gleiche Windungszahl haben und von demselben Strome durchflossen werden, erzeugen sie gleichviel Kraftlinien. Da sie ausserdem von der Nadel beide gleich weit entfernt sind, heben sich die durch die horizontalen Pfeile bezeichneten Kraftlinienbündel in ihrer Wirkung auf die Nadel auf. Zu ihren beiden Seiten entstehen gleich weit entfernt zum Beispiel zwei gleich starke Nordpole. Mit diesem Versuche haben Sie das Differentialgalvanoskop kennen gelernt. Dessen Nadel bleibt in Ruhe, wenn die beiden (gleich weit entfernten) Spulen von gleichen und entgegengesetzt gerichteten Strömen durchflossen werden.

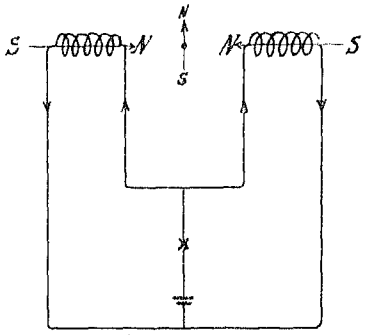


Fig. 275.
Prinzip des Differentialgalvanoskops.

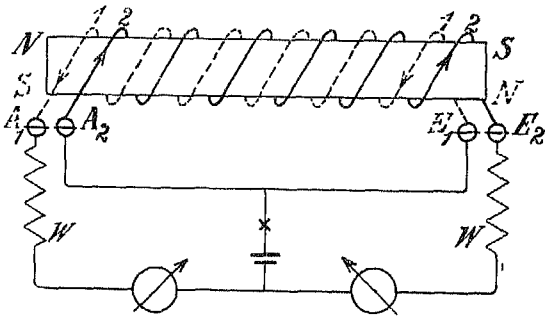


Fig. 276. Prinzip des Differentialrelais.

Nach ähnlichem Prinzipe arbeitet der wichtigste Teil der Differentialschaltung: das Differentialrelais. Hier ist unser Elektromagnetstab von früher (Fig. 28 auf S. 48). Jetzt wird er aber nicht mit einem einfachen Draht, wie damals, umwickelt, sondern mit zwei getrennten, neben einander herlaufenden

Drähten (Fig. 276). Beide Drähte, 1 und 2, führen getrennt zu zwei Paar Klemmen. Anfang und Ende von 1 und 2 sind mit A_1, E_1 und A_2, E_2 bezeichnet. Nun führt der Anfang von 2 und das Ende von 1, also A_2 und E_1, gemeinsam zur positiven Klemme der Stromquelle. Andererseits liegt A_1 und E_2 jedes über den gleichen Widerstand W an der negativen Klemme. Es ist klar, dass die mit dem Einschalten der Ströme in den beiden Spulen erzeugten Magnetfelder sich gegenseitig aufheben und der Stab auf eine Magnetnadel ebenso ohne Einfluss bleibt, als wenn er gar nicht von Strom umkreist würde. Aus zwei solchen von einander unabhängigen Drähten besteht nun die Wicklung eines Differentialrelais. Hier steht uns kein solches zur Verfügung. Wir können uns aber einen Ersatz schaffen, indem wir an einem beliebigen Relais die Wicklungen beider Schenkel trennen und die Enden der getrennten Wicklungen so schalten, wie eben die der beiden Drähte des Stabes. Nach dem Einschalten werden beide Schenkel so umflossen, dass die in ihnen erzeugten Kraftlinien sich zum grossen Teil und ähnlich wie bei der reinen Differentialschaltung, aufheben. Auch trotzdem Strom fliesst, wird der Relaishebel nicht umgelegt, und ein über ein Trockenelement an die secundären Relaisklemmen gelegter Wecker bleibt in Ruhe. Er ertönt aber natürlich, sobald der Strom in einer Wicklung unterbrochen wird oder in beiden in der gleichen Richtung fliesst. Nach diesen Vorbemerkungen werden Sie die Differentialschaltung für den Gegensprechbetrieb leicht verstehen.

In der Skizze (Fig. 277 auf Tafel II) erkennen Sie an den beigefügten Buchstaben A_1, E_1 und A_2, E_2 Anfang und Ende der beiden getrennten Wicklungen des Differentialrelais. A_1 ist mit der Leitung, E_2 über den Widerstand W mit der Erde und E_1 und A_2 durch eine gemeinsame Klemme mit der Mittelschiene der Taste verbunden. Deren Arbeitscontakt liegt an der positiven Klemme der mit ihrer negativen über einen Schutzwiderstand geerdeten Batterie. Der Ruhecontakt der Taste führt über einen Widerstand W', der dem der Batterie plus Schutzwiderstand gleich ist, zur Erde.

Was geschieht nun, wenn Amt I die Taste drückt? Die Batterie I schickt ihren Strom zu der gemeinsamen Klemme der beiden Wicklungen und spaltet sich hier in der Richtung

der beiden Pfeile in zwei Teile, die sich umgekehrt wie die Widerstände der beiden Leitungszweige verhalten. Wenn das Relais auf I in Ruhe bleiben soll, müssen beide Ströme, dazu also auch die beiden Zweigwiderstände gleich sein. Der Widerstand der Wicklungen $E_1 A_1$ und $A_2 E_2$ ist gleich. Es muss demnach auch der übrige Widerstand der Leitungszweige gleich sein und der zwischen E_2 und Erde eingeschaltete Widerstand W ebenso gross gemacht werden,[1]) wie der Widerstand der Leitung L plus dem auf dem fernen Amt (II) eingeschalteten Relaisweg. Dann kann die Taste über die Leitung von Amt I nach II einen Telegraphierstrom schicken, ohne dass die Zunge des eigenen Relais umgelegt wird und der über eine Ortsbatterie mit den secundären Relaisklemmen verbundene Klopfer ertönt.

---

[1]) Dazu werden ebenso, wie zu Messungen, Widerstände von einer anderen Art benutzt, als Sie sie von früher (S. 46 Fussnote) her kennen, nämlich Stöpselwiderstände, welche jene an Genauigkeit und Leichtigkeit grosser Veränderungen um vieles übertreffen. Die einzelnen Widerstandselemente eines solchen Stöpselkastens sind Drahtspulen, die nach Art eines Gewichtssatzes in ihrer Grösse nach dem Einmaleins mit Zehn abgestuft sind. Der aus Isolationsmaterial bestehende Deckel des Kastens ist mit mehreren parallelen Reihen von kleinen Messingklötzen besetzt (Fig. 278). Der Luftzwischenraum zwischen je zwei solchen Klötzen wird elektrisch durch eine im Innern des Kastens untergebrachte Widerstandsspule überbrückt. Schaltet man die beiden äussersten Klötze durch die mit ihnen verbundenen Klemmen in einen Stromkreis ein, so wird, wie die Sache bis jetzt geschildert ist, die Gesamtheit der Widerstandsspulen von Strom durchflossen, der Widerstand des Stromkreises

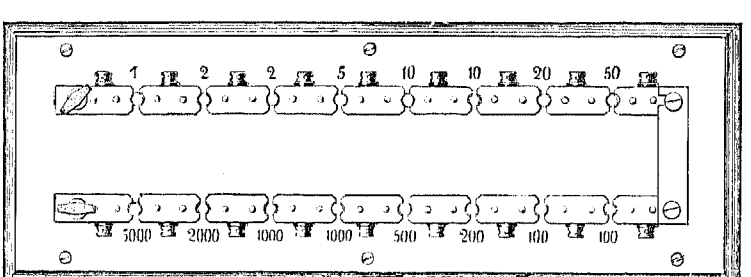


Fig. 278. Widerstandskasten von oben. Alle Stöpsel gezogen.

um den dieser Gesamtheit vermehrt. Die Klötze sind nun rechts und links kreisbogenförmig so ausgebohrt und ausgerieben, dass zwischen je zweien von ihnen ein Messingstöpsel (Fig. 279) eingesetzt werden kann. Der Widerstand des Stöpsels

So viel ist klar, Amt I kann nach II geben, ohne dass sein eigener Empfänger auf den für II bestimmten Strom anspricht. Zum Gegensprechen gehört aber auch, dass es nun den von II kommenden Strom aufnehmen kann. Amt II hat dieselbe Schaltung wie I. Nur liegt die positive Klemme der Batterie an Erde und die negative am Arbeitscontakt der Taste. Von der Capacitätsschaltung (S. 392) her wissen Sie aber, dass nichts im Wege steht, Ströme, welche entgegengesetzt gerichtete Telegramme tragen, in gleicher Richtung fliessen zu lassen. Würden also beide Ämter gleichlautende Telegramme genau gleichzeitig geben, so würde — auf einer Leitung ohne Capacität — von I nach II ein Strom von der doppelten Stärke des einzelnen fliessen.

Welchen Weg muss nun der von II nach I gegebene negative Strom nehmen? Von der Leitung kommend, durchfliesst er die eine Relaisrichtung $A_1 E_1$ in der Richtung $A_1 \rightarrowtail E_1$, geht von da in seinem Hauptteile zur Mittelschiene der Taste und nimmt nun, je nachdem die Taste niedergedrückt ist oder nicht, seinen Weg zur Erde über den Arbeitscontakt durch die Batterie oder über den Ruhecontakt durch den Widerstand W, welcher dem der Batterie gleich ist. Der Strom geht nur in seinem Hauptteile zur Taste, und ein kleiner Zweigstrom

selbst ist zu vernachlässigen und bei festem Einsetzen auch der des Überganges zwischen Stöpsel und Klotz. Durch Einsetzen oder Ziehen der Stöpsel hat man es deshalb in der Hand, mehr oder weniger Widerstand in den Stromkreis einzuschalten.

Natürlich kommt es namentlich bei Messungen sehr darauf an, dass der für die einzelnen Drahtspulen auf dem Kasten verzeichnete Widerstand unter allen Bedingungen richtig ist. Deshalb ist als Drahtmaterial Manganin gewählt, von dem Sie wissen, dass es seinen Widerstand mit der Temperatur nicht ändert. Deshalb sind ferner die Spulen bifilar gewickelt (Fig. 279) und ihr Widerstand ist gegen veränderliche Ströme derselbe wie gegen Gleichstrom.

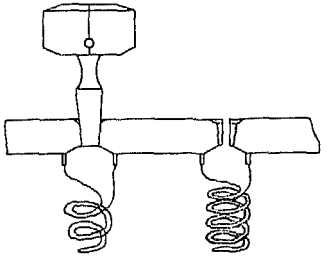


Fig. 279.

Bifilare Spulen, Messingklötze, Stöpsel eines Widerstandskastens. Nach Silvanus Thompson.

Neuerdings haben sich auch vielfach Widerstandskästen eingebürgert, bei denen die Widerstandsänderung nicht durch Stöpsel, sondern durch kleine Kurbeln oder durch Schiebercontakte bewirkt wird.

durchfliesst die Relaiswicklung 2 in der Richtung $A_2 \longrightarrow E_2$. Sie beachten diese Richtung, vermöge deren der Zweigstrom in der Wicklung 2 seine magnetische Wirkung der in 1 hinzufügt. Wirkung 1 wird jetzt nicht von einer gleich grossen Wirkung 2 aufgehoben, sondern von einer, wenn auch kleinen Wirkung 2 unterstützt. Es wird in den Relaiskernen ein wirksames Kraftlinienbündel erzeugt, der Relaishebel umgelegt und der in den Ortskreis geschaltete Klopfer in Thätigkeit versetzt. Nun kann aber der vom fremden Amte kommende Strom die Taste nicht nur auf dem Ruhecontakt oder auf dem Arbeitscontakt, sondern wenigstens für kurze Zeit noch in einer dritten Stellung antreffen, in der Schwebelage. Wie soll der Strom fliessen und seine magnetische Relaisarbeit verrichten, wenn der Tastenhebel sich gerade auf dem Wege von einem zum anderen Contakt befindet, wenn an beiden der Leitungsweg zur Erde an Arbeits- und Ruhecontakt durch Luft unterbrochen ist? Die Antwort darauf liegt nahe. Der Strom benutzt dann den dritten Weg, der sich ihm zur Erde bietet. Er fliesst ganz und ungeteilt durch die Relaiswicklung 2 in der Richtung $A_2 \longrightarrow E_2$. Die Kraftlinien beider Wicklungen unterstützen sich demnach. Ja, Sie fragen, ob jetzt nicht die magnetische Wirkung zu heftig geworden ist, wo der Hauptstrom die doppelte Windungszahl durchfliesst, als vorher. Allerdings ist der Faktor n des Produktes Amperewindungen Jn zu $2n$ geworden. Aber dafür muss jetzt der Strom auch noch den Widerstand W überwinden, den wir ja ebenso gross gemacht haben, wie den übrigen Widerstand des Kreises. Im Ganzen sind es also $2W$. Deshalb sinkt J auf $\frac{J}{2}$, und es bleibt die Grösse des Produktes Jn, folglich die erzeugte Anzahl Kraftlinien unverändert. Die Besorgnis, die Schwebelage der Taste, welche man übrigens durch eine besondere Einrichtung vermeiden kann, möchte zu Verwicklungen Anlass geben, ist unbegründet. Auch während ihrer — ohnehin kurzen — Dauer wird der Relaishebel mit der gleichen Kraft wie sonst umgelegt.

Mit anderen Worten: Mag die auf I gebende Taste eine Stellung einnehmen, welche sie will, sie ändert am ungestörten Empfang des von II einlaufenden Telegramms ebenso wenig, als vorher der von ihr, der Taste I, gegebene Strom den

Empfangsapparat I selbst beeinflusste. Also weder Störung des fremden Stromes, noch störende Einwirkung des eigenen. Genau so liegen die Dinge natürlich auf dem Amte II, wie Sie sich selbst leicht und zu nützlicher Wiederholung überlegen können.

Unsere Untersuchung der Differentialschaltung hat mithin folgendes Ergebnis: Die Telegraphierströme beider Ämter laufen in gleicher Richtung über die Leitung. Sie addieren sich in jedem einzelnen Augenblick und denken nicht daran, sich zu stören. Vermittelst einer kunstvollen Anordnung zerlegt jedes Amt die Summe der Telegraphierströme in ihre beiden Bestandteile. Gleichsam mit derselben Sicherheit, als ob die Coulomb beider Batterien verschieden gefärbt wären, analysiert es die Stromsumme, benutzt den ihm zugedachten Teil und lässt den anderen unbeachtet.

Unserer Besprechung sind noch einige Dinge hinzuzufügen. So ist es nur selbstverständlich, dass jedes Amt ein Galvanoskop beansprucht und zwar eins mit Differentialprinzip. Der Versuch von vorhin (Fig. 275) zeigte ja ein solches Galvanoskop mit seinen zwei Spulen, die auf die Nadel ebenso wirken, wie die Wicklungen des Differentialrelais auf seinen Hebel. Gerade wie dieses, nimmt auch die Galvanoskopnadel nur von Strom aus der fernen Batterie Notiz. Der einfacheren Zeichnung wegen, sind in der Skizze die beiden Wicklungen G_1 und G_2 des Galvanoskops ebenso, wie elektrisch, auch räumlich in zwei Hälften getrennt. Thatsächlich gehören sie natürlich räumlich zusammen.

Für einen sauberen Betrieb ist die richtige Grösse des Widerstandes W Bedingung. Die beiden Wege, welche von der gemeinsamen Relaisklemme über die beiden Wicklungen zur Erde führen, müssen eben, damit das Relais vom Strome des eigenen Amtes unbeeinflusst bleibt, denselben Widerstand haben. Bezeichnet W_L den wahren Widerstand der Leitung, W_R den einer Relaiswicklung und W_G den einer Galvanoskopspule, so muß, wie Sie sich leicht überlegen können, mit einer kleinen Ungenauigkeit

$$W = W_L + W_R + W_G + W'$$

gemacht werden. Dabei ist der Widerstand der Erdleitung W_E auf beiden Ämtern als gleich angenommen[1]).

Bei diesem W ist nun noch ein Aber. Denn, wie die Erinnerung an die beiden letzten Vorlesungen vermuten lässt, entstehen Schwierigkeiten, sobald die Leitung eine nennenswerte Capacität besitzt. Relais I bleibt vom Strom I nur unbelästigt, wenn an der gemeinsamen Klemme der Wicklungen eine Verzweigung in gleiche Ströme stattfindet. Während des Dauerzustandes, bei längerem Tastendruck, zwar sind für diese Verzweigung die Ohmschen Widerstände allein massgebend. Ist das W genau auf die eben angeschriebene Summe abgeglichen, dann bewirkt der eigene, aus dem Ohmschen Gesetz folgende Dauerstrom keine Ablenkung der Galvanoskopnadel, keinen Ausschlag des Relaishebels. Aber mit Anwachsen des Produktes CW wird bei der Arbeit der Taste der Dauerwert des Stromes nicht mehr erreicht und es herrscht allein der veränderliche Zustand. Bei der Arbeit der Taste findet deshalb ohne Weiteres an der gemeinsamen Relaisklemme keine Gabelung in gleiche Ströme mehr statt. In den Leitungszweig saugt die Capacität einen heftigen Ladestrom hinein, von dem Sie aus unseren Kurven (z. B. Fig. 252 auf S. 381) wissen, dass er den Ohmschen Strom um Vielfaches übertreffen kann. In den Ausgleichszweig fliesst nur dieser verhältnismässig unbedeutende Ohmsche Strom. Keine Spur mehr von gegenseitigem Ausgleich, von Differentialwirkung. Der Relaishebel wird heftig umgelegt, der Klopfer spricht an. Aus dieser Verlegenheit hilft ein einfacher Kunstgriff. Wenn das Gleichgewicht durch die Capacität der Leitung gestört wird, fügt man dem Ausgleichs-W ein Ausgleichs-C hinzu. Ist die Leitung mit Capacität begabt, so muss es auch ihr elektrisches Gegengewicht sein. Weil aber

[1]) Der für die Batteriebemessung in Frage kommende Gesamtwiderstand ergiebt sich annähernd zu

$$W_E + W' + \frac{W_R + W_G + W_L + W_G + W_R + W' + W_E}{2}$$

$$= (W_R + W_G) + {}^1/_2 W_L + {}^3/_2 (W_E + W')$$

wobei aber zu berücksichtigen ist, dass immer nur die Hälfte des von den Batterien gelieferten Stromes in die Leitung gelangt.

auf der Leitung — sei es eine Oberleitung oder eine Kabelseele — jedes kleinste Stückchen Draht zugleich Träger des Widerstandes und der Capacität ist, kann man zum gründlichen Ausgleich nicht einfach neben den Widerstand einen einzigen Condensator schalten, dessen Capacität gleich der gesamten der Leitung ist. Vielmehr ist die Capacität zu unterteilen und wenigstens in zwei bis drei Condensatoren zu legen, so dass das entsteht, was man eine künstliche Leitung nennt (Fig. 280 auf Tafel II). Wenn man dann diese künstliche Leitung richtig abgeglichen und sie in ihren elektrischen Eigenschaften der wirklichen Leitung gleichwertig gemacht hat, dann erst sind die sich an der gemeinsamen Relaisklemme teilenden Zweigströme in jedem Augenblick einander so gleich, dass ein ungestörter Differentialbetrieb möglich ist.

Auch nach der zweiten Methode des Gegensprechens kann im Prinzip jeder Telegraphenapparat, auch der als einfaches Beispiel zu wählende Klopfer, betrieben werden. Diese Methode benutzt die Brückenschaltung, die Ihnen aus drei einander folgenden Skizzen (Fig. 281, 282, 283 auf Tafel II) verständlich werden wird. Zuerst das einfache Schema (Fig. 281). Die positive Klemme einer Stromquelle E führt über einen Ausschalter zu der Ecke A eines Schaltungsvierecks $A\,B\,C\,D$. Die mit 1, 2, 3, 4 bezeichneten Seiten dieses Vierecks sind nicht einfache Leitungsdrähte, sondern enthalten Stöpselwiderstände. Nun ist von der Ecke B zur Ecke D ein Draht als Brücke gelegt und in ihn ein gewöhnliches Galvanoskop eingeschaltet. Im Allgemeinen schlägt, wie der Versuch zeigt, mit dem Einschalten der Stromquelle das Galvanoskop aus. Die Stärke dieses Ausschlages und sogar seine Richtung verändert sich, wie Sie sehen, mit der Grösse der in die Viereckseiten eingeschalteten Widerstände. Es interessiert zu wissen, was für Widerstände gezogen werden müssen, damit auch nach dem Einschalten der Brückendraht stromlos und das Galvanoskop in Ruhe bleibt.

Der Widerstand des Zweiges 1 werde mit w_1 und der in ihm fliessende Strom mit i_1 bezeichnet und dementsprechend Widerstand und Strom in den drei anderen Viereckseiten mit w_2, w_3, w_4 uud i_2, i_3, i_4. Soll in den Brückendraht weder in der einen, noch in der anderen Richtung Strom abzweigen, so ist natürlich $i_1 = i_2$ und $i_4 = i_3$. Nun wissen Sie, dass bei Strom-

verzweigungen sich die Zweigströme umgekehrt verhalten, wie die Zweigwiderstände. Der von E kommende Strom verzweigt sich im Punkte A in die beiden Teile i_1 und i_4, die sich in C wieder vereinigen. Der Widerstand des Weges AC über B ist $w_1 + w_2$, über D $w_4 + w_3$. Demnach

$$1) \qquad \frac{i_1}{i_4} = \frac{w_3 + w_4}{w_1 + w_2}$$

Der Brückendraht BD kann nun nur dann stromlos bleiben, wenn seine Enden B und D die gleiche elektrische Spannung haben. Denn ein Spannungsunterschied zwischen ihnen würde in der einen Richtung oder der anderen Strom durch den Draht drücken. Unter der Annahme, dass die kupfernen Leitungsdrähte EA und EC widerstandslos durchflossen werden, hat — so wollen wir es ausdrücken — A die Spannung E der positiven Batterieklemme und C die Spannung Null der negativen. Der Strom erleidet also auf dem Wege von A nach C den Spannungsabfall E, sei es, dass dieser Weg über B oder über D führt. Wenn B und D gleiche Spannung haben sollen, muss der Spannungsverlust auf dem Wege AB ebenso gross sein, wie auf dem AD, und es ist nach Ohm

$$2) \qquad i_1 w_1 = i_4 w_4.$$

Diese Gleichung wird auf beiden Seiten durch $i_4 w_1$ dividiert:

$$3) \qquad \frac{i_1}{i_4} = \frac{w_4}{w_1}.$$

1) und 3) giebt

$$\frac{w_4}{w_1} = \frac{w_3 + w_4}{w_1 + w_2}$$

oder ausmultipliziert

$$w_1 w_4 + w_2 w_4 = w_1 w_3 + w_1 w_4.$$

$$4) \qquad \boldsymbol{w_1 w_3 = w_2 w_4}.$$

Tafel II.

Gegensprechschaltungen.

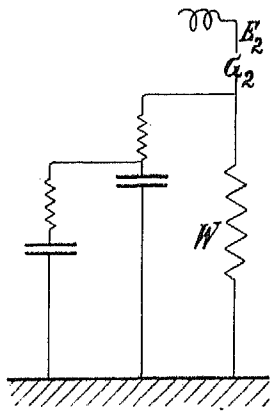


Fig. 280.
Künstliche Leitung zur Schaltung der Fig. 277.

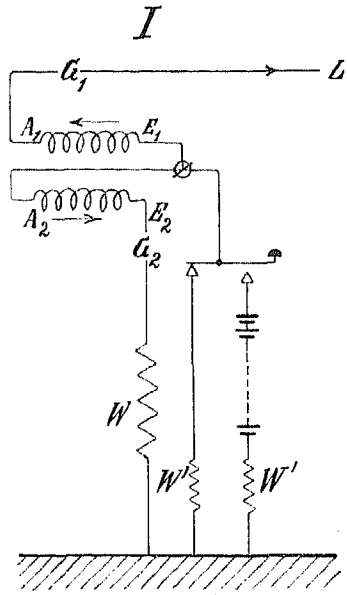


Fig. 277.
Schaltung für das Differential-Gegensprechen.

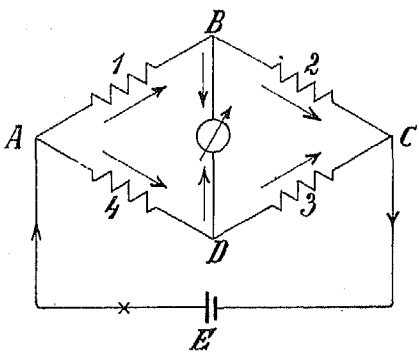


Fig. 281. Brückenschema.

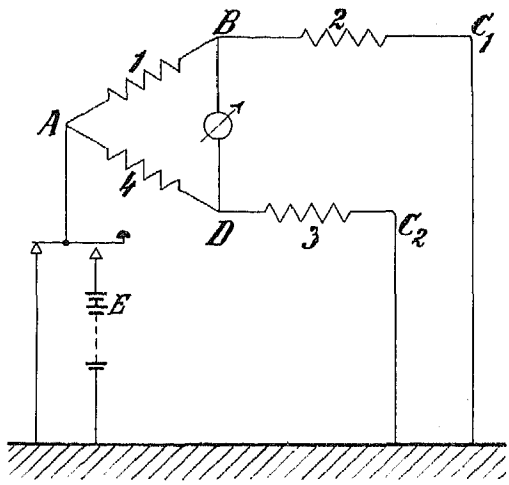


Fig. 282. Zweites Brückenschema.

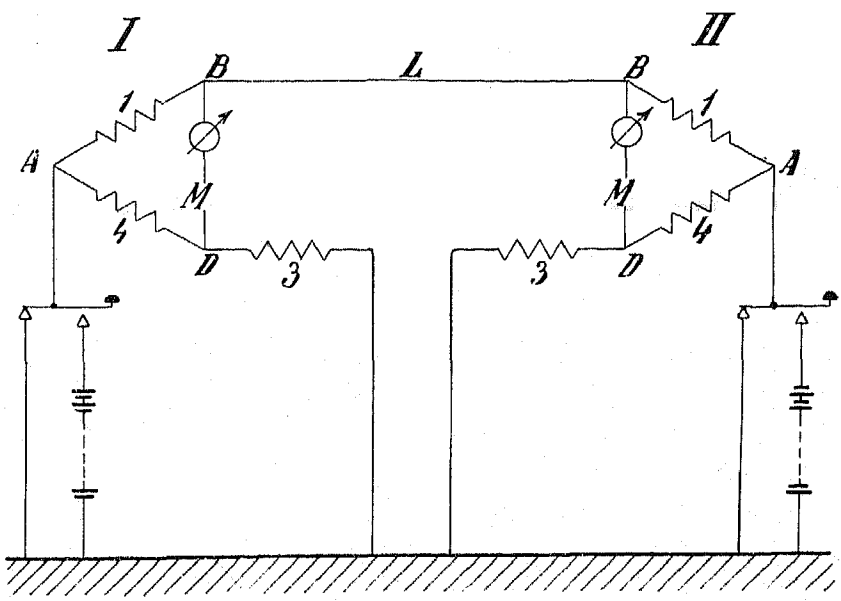


Fig. 283. Brückenschaltung zum Gegensprechen.

Die Rechnung ergiebt das Gesetz der Brückenschaltung: Wenn die Produkte der über Kreuz liegenden Widerstände gleich sind, fliesst durch den Brückendraht kein Strom.

Auf dieser im elektrischen Messbetriebe täglich, und das tausendfältig, benutzten Thatsache beruht auch die Brückenmethode des Gegensprechens. Doch ehe wir zu ihr übergehen, sollen Sie noch gesehen haben, wie aus dem ersten Brückenschema (Fig. 281) das zweite (Fig. 282) hervorgeht. Punkt C zerfällt in zwei neue: C_1 und C_2. Sie werden jeder für sich geerdet und erhalten so, wie vorher der gemeinsame Punkt C, die Spannung Null. Die von C abgelöste negative Klemme der Stromquelle E liegt an Erde, die positive an der Arbeitsschiene einer Taste, deren Mittelschiene zum Eckpunkte A des Schaltungsvierecks führt. Ihre Ruheschiene ist geerdet. Trotzdem ist elektrisch nichts gegen vorher verändert, und bei Tastendruck bleibt der Brückendraht stromlos, sobald die Bedingung $w_1 w_3 = w_2 w_4$ erfüllt ist. Für den Fall, dass $w_1 = w_4$ gemacht ist, muss bei Stromlosigkeit der Brücke auch $w_2 = w_3$ sein.

Betrachten Sie nun das dritte Schema (Fig. 283), welches fast die endgiltige Schaltung für das Brücken-Gegensprechen wiedergiebt. Lassen Sie dabei zunächst nur Amt I die Brückenzweige 1, 3, 4 enthalten und die Leitung L plus allem, was auf Amt II liegt, den zugehörigen Zweig 2 vorstellen. Wird dann die Taste I gedrückt, so fliesst durch den Brückendraht I und damit durch Galvanoskop I und durch Klopfer M_I, die in ihn eingeschaltet sind, kein Strom, wenn $w_1 = w_4$ und $w_2 = w_3$ gemacht worden sind. Das heisst, w_3 muss so gross wie der gesamte Widerstand sein, den der aus der Batterie I fliessende Strom vom Punkte B_I aus auf seinem Wege durch die Leitung L und das Amt II zur Erde erfährt.

Dieser Strom hat also Amt I verlassen, ohne dessen Klopfer in Thätigkeit versetzt zu haben, und ist über die Leitung nach Amt II gelangt. Für ihn kann nun Amt II nicht auch als Brückenanordnung wirken. Denn er tritt einseitig zum Punkte B ein. Er verzweigt sich dort, geht zum Teil unmittelbar nach A, Taste und Erde, zum Teil über Galvanoskop und Klopfer M dorthin. Ein kleiner Teil fliesst auch von D über 3 zur Erde ab. Demnach wird gemäss den Weisungen der

Taste I der Klopfer M_{II} von Strom durchflossen. Mit gleichem Erfolge giebt Amt II nach I, ohne dass sein eigener Klopfer darauf anspricht, wenn nur auch auf II $w_1 = w_4$ und w_3 gleich der Summe der Widerstände von L und des Weges gemacht worden ist, der auf Amt I von B zur Erde führt.

Also getrennt kann jedes Amt geben, so dass der fremde Klopfer anspricht, der eigene nicht. Können nun auch beide Ämter gleichzeitig geben und die Telegramme ungefährdet an einander vorbei gelangen? Gewiss, denn bei der gezeichneten Batterieschaltung[1]) addieren sich die in alien Zweigen der beiden mit einander vereinigten Schaltungsvierecke — einschliesslich der Leitung — die Telegraphierströme. Sie denken nicht daran sich zu stören, wie man sich bei etwaigem Zweifel durch Nachrechnung eines Beispieles leicht klar machen kann.

Nach dem, was vorhin (S. 430) bei der Differentialschaltung gesagt wurde, ist es klar, dass die Zweige 3 auf beiden Ämtern die von ihnen ausbalancierte Leitung in ihren elektrischen Eigenschaften vollständig wiedergeben müssen. Nötigen Falles ist in sie auch Capacität einzuschalten und zwar so, dass die künstlichen Leitungen die wirklichen so weit, als möglich, nachbilden. Besonders gründlich hat das bei langen Seekabeln zu geschehen. Die sogenannte Haarwoodschaltung, nach der auf diesen der Gegensprechbetrieb geführt wird, ist nichts, als eine etwas abgeänderte Brückenschaltung.

Hiermit schliessen wir die Besprechung der Telegraphie ab, soweit sie ihre Nachrichten mit dem alten Hilfsmittel des elektrischen Stromes überträgt. Ich schlage vor, in unserer nächsten Zusammenkunft mit der Besprechung des Fernsprechwesens zu beginnen, und die mit neuen und Ihnen noch fremden Erscheinungen arbeitende Funkentelegraphie für den Schluss unserer Vorlesungen aufzusparen.

---

[1]) Bei umgekehrter Schaltung addieren sie sich mit umgekehrtem Vorzeichen.

20. Vorlesung.

Telephon und Mikrophon.

Telephon. Ban. Umsetzung von elektrischer- in Schallarbeit. Gleiche Periodenzahl von Strom und Ton. Die Amplitude der Stromwelle entspricht der der Schallwelle. Schwächung durch Selbstinduktion. Empfindlichkeit.
Mikrophon. Bleistiftmodell. Widerstandsänderungen. Ihre Erklärung aus dem Ausbreitungswiderstande, dessen Grösse sich mit der Breite der Stromübergangsstellen ändert. Wellenstrom. Umwandlung von Arbeit im Telephon, Auslösung im Mikrophon. — Walzenmikrophon. Die Vermehrung der wirksamen Contakte bewirkt eine bessere Ausnutzung der zugeführten Schallenergie, eine etwas geringere Strombelastung, vermehrte Betriebssicherheit und vermeidet Contaktverbrennung durch Öffnungsfunken. — Kohlenstoff als mikrophonisches Material. — Fabrikation der Mikrophonkohle.

Alle Telephone, so verschieden sie aussehen mögen, enthalten einen polarisierten Elektromagneten, dem als Anker eine Platte aus weichem Eisen, die Schallplatte, vorliegt. Die älteste Form des Telephons wird von diesem Unterrichtsmodell vorgestellt, das, zum Aufklappen eingerichtet, die einzelnen Teile (Fig. 284) zeigt: den Magnetstab — dessen Verlängerung aus weichem Eisen als Spulenkern — diesem aufgeschoben, die Spule — dem freien Kernende im Abstande einiger Zehntel Millimeter gegenüber die Schallplatte, weniger, als 0,5 Millimeter dick und mit ihrem Rande in einen zum Schallbecher ausgebildeten Holzring eingespannt. Die magnetischen Kraftlinien gehen zum Beispiel vom unteren Pole nach oben durch den Stabmagneten, den Polschuh aus weichem Eisen, die Luftbrücke von einigen Zehntel Millimetern, die Schallplatte und dann im Bogen durch die Luft zum Ausgangspol zurück. Wie Ihnen bekannt, sind Magnetpole nur in der Nähe der Stellen wirksam,

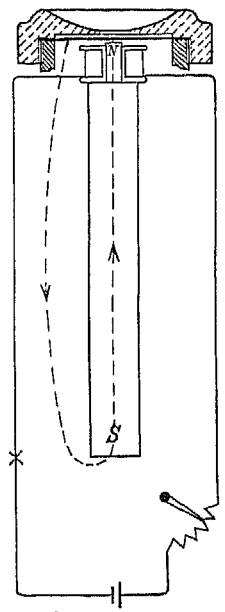


Fig. 284. Telephon mit Stabmagnet.

an denen Kraftlinien aus dem magnetischen Materiale in die Luft übertreten. Der obere Pol des Stabmagneten wird somit durch den eisernen Polschuh um dessen Länge nach oben verschoben. Polschuhende und Schallplattenmitte tragen entgegengesetzte Magnetpole.

Nun lege ich die Spule des Modelltelephons mit ihren beiden Drahtenden an die Klemmen eines Trockenelementes und schalte Widerstand und Taste dazwischen (Fig. 284). Wird die Taste gedrückt und dadurch der Spulenstrom geschlossen, so hören Sie ein lautes Knacken im Telephon, verursacht durch eine plötzliche Durchbiegung der Plattenmitte auf den Polschuh zu oder von ihm fort. Die Kraftlinien des Spulenstromes haben sich eben jetzt denen des Dauermagneten zugesellt und, je nach ihrer Richtung, die Anzahl jener um die ihre vermehrt oder vermindert. Die Schallplatte wird plötzlich stärker oder weniger stark angezogen, als vorher. Sie bekommt magnetisch einen Stoss und gerät in Schwingungen, erreicht aber schon nach einem Augenblick ihre neue Ruhelage, in der ihre Mitte zum Polschuh hin oder von ihm fort gebogen ist. Auf diese Weise kommt das Knacken zu Stande.

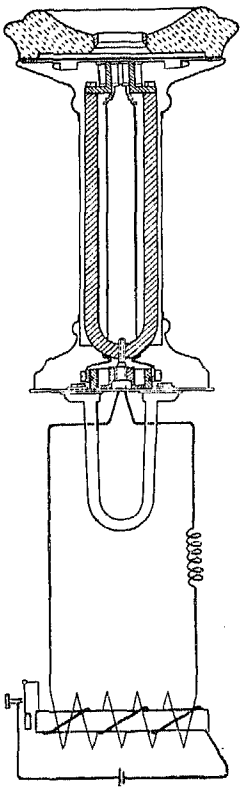


Fig. 285. Telephon mit Hufeisenmagnet, vom Induktorium gespeist.

Soll das Telephon einen fortgesetzten Ton geben, so muss man es mit Wechselstrom speisen. Dazu wird in unserer Anordnung das Trockenelement durch die secundäre Spule eines kleinen Induktionsapparates und das Modelltelephon durch ein kräftigeres mit Hufeisenmagnet ersetzt (Fig. 285). Ein Schalltrichter (wie in Fig. 134 auf S. 223) vermehrt die Lautwirkung. Sobald nun das Induktorium arbeitet und Wechselstrom die Telephonspulen durchfliesst, vollführt die Schallplatte dieses ganz melodische Gebrumm, dessen Tonhöhe natürlich der Periodenzahl des Wechselstromes entspricht. Durch

Andrehen der Contaktschraube gegen die Unterbrecherfeder wird der jedesmalige Weg des Unterbrechers verkleinert, also die Unterbrechungsgeschwindigkeit und damit die Periodenzahl des secundären Wechselstromes und damit die Schwingungszahl der Schallplatte vergrössert. Der Ton wird höher, und Sie hören, dass bei passendem Drehen der Unterbrecherschraube das Telephon einen Dreiklang bläst.

Was sodann die Stärke des von der erzitternden Schallplatte gelieferten Tones anbetrifft, so hängt sie natürlich von der Stärke des die Spulen durchfliessenden Wechselstromes ab. Die Amplitude der Stromwelle bedingt in ihrer Grösse die der Schallwelle. Man brauchte in den Telephonkreis nur Widerstand einzuschalten, und der Brummton würde leiser werden. Doch kennen Sie ein wirksameres Mittel, Wechselstrom zu schwächen, als Ohmschen Widerstand, nämlich Selbstinduktion. In den Telephonkreis wird deshalb eine Kupferdrahtspule eingeschaltet (in Fig. 285 schematisch angedeutet). Noch hören Sie gegen vorhin keinen grossen Unterschied in der Tonstärke. Sobald man aber in das Innere der Spule einen Eisenkern einführt, wird der Ton merklich leiser und das umso mehr, je weiter der Kern in die Spule hineinreicht. Die Selbstinduktion stellt sich mit ihrer Gegenspannung der an den Klemmen der secundären Induktorwicklung wirksamen Wechselspannung entgegen, und nur, was von dieser dann noch übrig bleibt, schickt als Betriebsspannung Strom durch die Telephonspulen. Es ist für Sie nur selbstverständlich, dass die Selbstinduktion unter sonst gleichen Verhältnissen mit steigender Kraftlinienzahl, also mit abnehmendem magnetischen Widerstande wächst. Daher die Wirkung des Eisenkernes. An dieser Stelle sei gleich auf die ganz ausserordentlich grosse Empfindlichkeit der Telephone hingewiesen. Zur deutlichen Wiedergabe der Sprache wird im Betriebe ein Wechselstrom verlangt, dessen Amplitude nicht grösser zu sein braucht, als 0,1 Milliampere, etwa nur $^1/_{100}$ des Morsestromes. Aber es wird angegeben, dass zum Ansprechen eines Telephones der erstaunlich geringe Wert von 10^{-11} Ampere $= \frac{1 \text{ Milliampere}}{100 \text{ Millionen}}$ ausreichen kann. Allerdings ist zu bemerken, dass man von verschiedenen Seiten recht verschiedene Zahlen dafür angeführt findet.

Unser Versuch hat Ihnen als wichtigste Ausbeute die Erkenntnis gebracht, dass ein mit passendem Wechselstrom gespeistes Telephon Töne erzeugt, die in ihrer Höhe von der Periodenzahl und in ihrer Stärke von der Amplitude des Wechselstromes abhängen. Das Telephon ist eine Maschine, die elektrische Arbeit in Schallarbeit umsetzt. Es ist der Empfangsapparat der Telephonie.

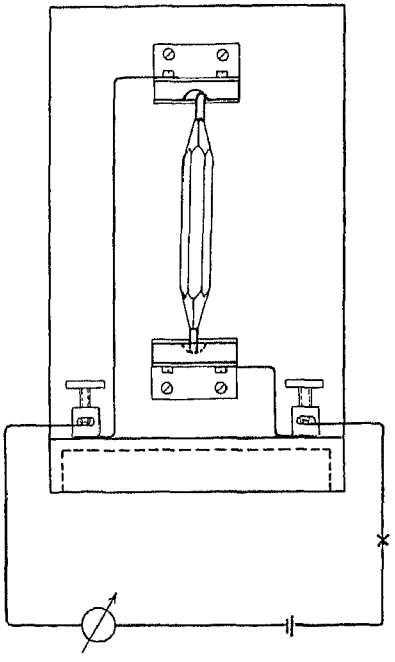


Fig. 286. Mikrophonmodell.

Als Geber dient jetzt allgemein das Mikrophon,[1]) dessen Wirkungsweise Ihnen aus diesem Modell (Fig. 286) klar werden soli. An einem hölzernen Ständer, der zugleich als Resonanzboden dient, sind mit Hilfe kleiner Messingfassungen zwei Klötzchen aus Kohle befestigt. Diese halten in zwei kleinen Aushöhlungen einen beiderseits wenig angespitzten Bleistift zwischen sich. Da die Seele eines Bleistiftes bekanntlich aus Graphit besteht, sind hier drei

---

[1]) Die Reichspost bezeichnet den Geber, das Mikrophon als Fernsprecher (im engeren Sinne) und den Empfänger, das Telephon, als Fernhörer. Streng genommen hört mm allerdings das Mikrophon das Gesprochene. Es bildet für das Apparatganze das Ohr, nimmt die Schaliwellen aus der Luft auf und leitet sie elektrisch weiter. Der erste Geber hatte auch geradezu die Form eines Ohres. Der Empfänger hingegen, das Telephon, wandelt Stromstösse in Schall um. Es erzeugt die Sprache, es spricht. Die Namen Fernsprecher und Fernhörer müssten demnach gerade vertauscht werden. Da mn aber der Namengeber an das praktisch wichtige gedacht haben mag, daran, dass mit dem Fernhörer gehört, in den Fernsprecher gesprochen wird, so mögen Sie zwar das kurze Wort Hörer nicht ganz verschmähen, im übrigen aber ruhig die über den Erdkreis verbreiteten, wenn auch nichtssagenden Namen: Telephon und Mikrophon weiter gebrauchen. Gerade da wir hier im Allgemeinen überflüssige Fremdwörter vermeiden, brauchen wir die unleidliche, auch in die Elektrotechnik eingedrungene Fremdwörterhetze nicht mitzumachen.

Stückchen Kohlenstoff mit einander in lockerer Berührung. Die Messingfassungen führen über Leitungsdrähte zu Klemmen. Dadurch ist es leicht, die drei Stückchen Kohlenstoff zusammen mit einem (gedämpften) Galvanoskop in den Stromkreis eines Trockenelementes einzuschalten. Nun beobachten Sie bitte den Zeiger des Galvanoskops. Er steht nur so lange ruhig, als jede Erschütterung des Modelles vermieden wird. Sobald man eine tickende Taschenuhr auf den horizontalen Fuss des Ständers legt oder neben ihm leicht mit den Fingern auf den Tisch trommelt, gerät der Zeiger, der davon natürlich nicht direkt beeinflusst werden darf, in lebhafte Bewegung. Ähnliches zeigt der in dieser Jahreszeit nicht ausführbare Trick, durch etwas Honig eine Fliege auf das Modell zu locken. Deren Bewegungen bewirken dann die notwendigen Erschütterungen. Gleiches thut auch bei dem Modell schon lauter Schall. Es genügt, in der Nähe laut zu husten oder zu sprechen, und der Galvanoskopzeiger bewegt sich.

Die Bewegungen der Galvanoskopnadel zeigen Schwankungen der Stromstärke in dem Kreise an, in den das Galvanoskop eingeschaltet ist. Das speisende Trockenelement ändert seine Elektromotorische Kraft nicht. Somit können die Schwankungen der Stromstärke nur durch solche des Widerstandes hervorgerufen sein. Der Widerstand der Galvanoskopwicklung, der Klemmen und Verbindungsdrähte ist natürlich während des Versuches constant. Die Widerstandsschwankungen müssen deshalb ihren Grund in der lockeren Berührung zwischen den Bleistiftenden und den ausgebohrten Kohlenklötzen haben. Dort liegen Contakte von der Art, wie sie sonst als Klappercontakte dem Praktiker oft verdriesslich sind.

Hier freilich leisten diese Contacte nützliche technische Arbeit. Aber es scheint mir, dass die landläufigen Mikrophonerklärungen den wirklichen Vorgang dabei nicht richtig oder nicht erschöpfend beschreiben. Sie sprechen davon, dass die Kohlencontakte durch die Erschütterung sich mehr oder weniger innig berühren und dadurch einen kleineren oder grösseren Widerstand erhalten. Man wird aber mit Recht einwenden, dass die Leiter in zwei punktförmigen Stellen ihrer reinen Oberfläche sich entweder elektrisch berühren oder es bleiben lassen. Ein drittes giebt es nicht, und der gegenseitig auf ein-

ander ausgeübte Druck ist gleichgiltig. Nun handelt es sich aber bei den Contakten nicht um punktförmige, sondern um ausgedehnte Stellen der Leiter, und hier hat die Erklärung einzusetzen.

Betrachten Sie dieses Bild (Fig. 287). Es stellt ein dünnes rechteckiges Kupferblech dar, wie es der Länge nach von Strom druchflossen wird. Dieser, in der Stärke von dreissig

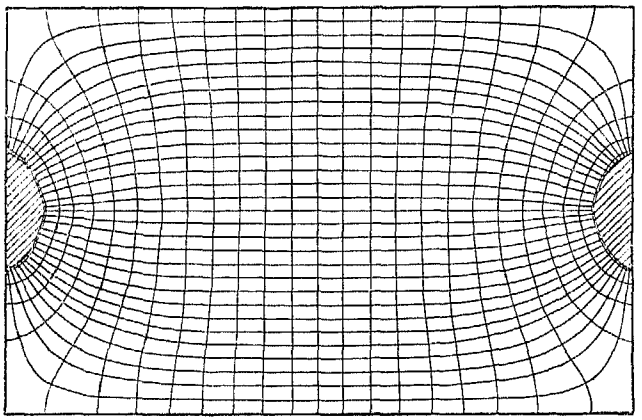


Fig. 287. Strom- und Spannungslinien eines durchflossenen Bleches.

Ampere, tritt über die den Mitten der Schmalseiten aufgedrückten halbkreisförmigen und verhältnismässig schmalen Klemmen ein und aus. Nun zeigt das Bild als Ergebnis einer ganzen Reihe von Beobachtungen[1]), wie der Strom in dem Kupferblech verläuft. Die Linien, welche es der Länge nach durchziehen, die s. g. Stromfäden, geben mit ihrem Laufe den des Stromes an. Dabei sind sie hier so gezeichnet, dass in dem schmalen Blechstreifen zwischen zwei von ihnen immer gerade ein Ampere fliesst. Wollen Sie jetzt beachten, wie die schmale Eintrittsstelle den Strom veranlasst, das Material des Bleches ganz ungleichmässig auszunutzen. Bei ihrem Eintritt in das Blech stürzen die Coulomb in ihrer Hauptmenge zunächst geradeaus vorwärts und erfüllen erst später gleichmässig die ganze

[1]) Siehe meinen Aufsatz über Widerstand und Stromverlauf. Elektrotechnische Zeitschrift 25. S. 1091. 1904.

Blechbreite. Dadurch erleidet auch in der Nähe der Klemmen die Strommitte einen stärkeren Spannungsabfall, als die Flanken. Die Querlinien, die Linien gleicher Spannung, sind zunächst an den Flanken sehr viel weiter von einander entfernt, als in der Strommitte. Erst allmählich werden sie zu Senkrechten von gleichem Abstande. Anfänglich verlaufen auch die Stromfäden in der Mitte der Blechbreite sehr viel enger neben einander, als am Rande. Diese unvollkommene Materialausnutzung erhöht den Widerstand des Bleches und zwar in unserem Falle um etwa 4% seines Wertes. Diese 4% sind für die vorliegende Anordnung der Ausbreitungswiderstand, der natürlich umso mehr zunimmt, je schmaler die Stromeintrittsstelle im Verhältnis zur Strombahn wird. Denn ein umso grösserer Teil der Coulomb fliesst dicht gedrängt gerade aus und ein umso kleinerer über den langen Weg der seitlich jetzt noch weiter ausschweifenden Bogen. Das Material wird eben umso unvollkommener ausgenutzt. Würde der Strom bei seinem Eintritt in einen Leiter zunächst dessen ganze Breite erfüllen und dann gewissermassen seine ganze Front gleichzeitig antreten lassen, so wäre der Widerstand des Leiters unabhängig von der Breite des Stromeintritts. Dann wäre es gleichgiltig, ob dieser in einer schmalen punktförmigen Stelle oder in einer breiteren oder in mehreren neben einander stattfindet. Immer wäre der Widerstand einfach der nach Ohm für das gesamte Material des Leiters berechnete. Tatsächlich hängt aber, wie das Bild des Kupferbleches lehrt, der Widerstand des Leiters sehr wohl von der Breite des Stromeintrittes ab.

Hiermit scheint vollkommen aufgeklärt, warum bei dem Mikrophonmodell die Erschütterung der Kohlenstoffstückchen ihren Widerstand ändert. Bei der Erschütterung berühren sich ihre Oberflächen bald in mehr, bald in weniger Stellen von grösserer oder geringerer Breite. Dadurch wird überall in der Nähe der Übergangsstellen der Kohlenstoff zur Stromleitung verschieden ausgenutzt, und das bringt eine Veränderung des Widerstandes mit sich. Die mehr oder weniger innige Berührung, von der die Mitrophonerklärungen zu sprechen pflegen, beruht also nicht etwa darauf, dass an sich der Strom umso leichter von einem Leiter auf den anderen übertritt, je mehr ihre Oberflächen auf einander gedrückt werden. Sie besteht

vielmehr in der Vergrösserung der sich berührenden Oberflächenstellen, in der Verbreiterung der Contakte, nicht in der Verkleinerung eines Überganges —, sondern eines Ausbreitungswiderstandes.

Der träge Zeiger des Galvanoskops folgt natürlich den Änderungen der Stromstärke, wie sie von denen des Mikrophonwiderstandes bewirkt werden, nur sehr unvollkommen. Viel besser zeigt sie ein Telephon, dann natürlich dem Ohre statt dem Auge. Dazu wird zweckmässig unser Modellmikrophon durch ein technisches ersetzt, etwa durch dieses Walzenmikrophon, von dessen Bau gleich die Rede sein soll.

Es werden also Trockenelement, Mikrophon und Telephon in einem Stromkreis hinter einander geschaltet. Das Mikrophon ist drüben in dem Zimmer jenseits des Flures aufgestellt, und die isolierte Hin- und Rückleitung führt unter den beiden Türen hindurch. Das Lied, das jetzt das Telephon widergiebt, wird drüben von dem Diener in das Mikrophon hineingepfiffen. Bei dem Versuche geht folgendes vor sich: Drüben erzeugt der von dem Diener durch den gespitzten Mund geblasene Luftstrom, Luftschwingungen von der Art, dass sie ein benachbartes Ohr als gepfiffenes Lied empfindet. Hier hören wir es aber nicht direkt. Ähnlich wie das Trommelfell eines benachbarten Ohres, erschüttern die Luftschwingungen die Kohlencontakte des Mikrophons. Dabei ändern sie rythmisch, wellenförmig die Ausbreitungswiderstände an den Contakten und hiermit die Stromstärke im ganzen Kreise. So werden auch die Telephonspulen von einem wellenförmig auf- und abschwankenden Strome durchflossen. Ein solcher Wellenstrom, der zwar seine Richtung beibehält, aber seine Stärke in Wellen zu- und abnehmen lässt, bringt ähnlich, wie in vollkommenerer Weise ein Wechselstrom, das Telephon durch die magnetisch bewirkten Bewegungen seiner Schallplatte zum Sprechen. Das Mikrophon wird als Geber den Schallwellen ausgesetzt und erzeugt Stromwellen. Diese gelangen über die Leitung zum entfernten Telephon, das sie in Schallwellen verwandelt.

Aber die Tätigkeiten von Geber und Empfänger sind nicht im Wesen gleich und nur in der Richtung entgegengesetzt. Sondern zwischen beiden besteht ein grundsätzlicher Unterschied, auf den freilich bis-

her niemand Wert gelegt zu haben scheint. Im Telephon wird die als elektrische zugeführte Arbeit in Schallarbeit umgewandelt, wie beim Laden eines Akkumulators elektrische Energie in chemische. Beide sind, wenn man die mit der Umwandlung verknüpften Verluste berücksichtigt, gleich viel wert. Fragen Sie hingegen, woher die vom Mikrophon über die Leitung geschickte elektrische Arbeit stammt, so muss ich Ihnen — vielleicht zu Ihrer Ueberraschuug — antworten: Sie stammt nicht aus der dem Mikrophon zugeführten Schallarbeit. Halten Sie das Mikrophon nicht für eine Maschine, die Schallarbeit in eine gleichwertige Menge elektrische Arbeit umsetzt. Vergleichen Sie es eher mit einem vom Telegraphierstrom bewegten Relais. Denn es wird von den Schaliwellen nur veranlasst, die Stromwellen in der richtigen, verwickelten Weise auszulösen. Um einen, wenn auch schlechten Vergleich zu brauchen, macht es das Mikrophon wie ein Steuermann, der durch seinen Befehl die Arbeit der Schiffsmaschinen auslöst oder unterbricht, ihre Richtung angiebt und Stärke regelt. Geleistet aber wird die Arbeit von der unter den Kesseln verbrannten Kohle. Ebenso entstammt die dem Telephon über die Leitung gelieferte elektrische Arbeit der chemischen, der speisenden Trockenelemente oder Akkumulatoren.

Nun könnten Sie einwenden, dass anscheinend während des Fernsprechens den Zellen insgesamt die gleiche elektrische Arbeit *E. J.* entnommen würde, als während der Ruhe. Denn was in der einen Hälfte der Welle (vgl. die spätere Fig. 291 b auf S. 453) mehr an Strom fliesse, das fliesse in der anderen weniger. Es würden anscheinend gleich viel Coulomb befördert und gleich viel Volt-Coulomb geleistet, ob gesprochen wird oder nicht.

Dass dieser Einwurf nicht richtig sein kann, folgt aus dem Gesetz von der Erhaltung der Energie oder schon aus dem von Lenz. Ungefähr den wahren Sachverhalt liefert dann folgender Gedankengang, für den ich Ihre besondere Aufmerksamkeit erbitte (und der dem entsprechenden beim Gleichstrommotor nachgebildet ist): Stellen Sie sich vor, die Bewegungen der Telephonschallplatte würden nicht elektrisch, sondern etwa ganz roh durch den schnell wechselnden Druck eines Fingers

erzeugt. Dann müsste die Schallplatte bei der Annäherung an den Polschuh in den (von Strom frei gedachten) Telephonspulen einen Strom von solcher Richtung induzieren, dass er die Platte elektromagnetisch abstiesse. Umgekehrt müsste der induzierte Strom die sich entfernende Platte anziehen. Die Richtung des jeweilig induzierten Stromes ist immer der des Stromes entgegengesetzt, der elektromagnetisch die betreffende Plattenbewegung bewirken würde. Diese Induktionen treten natürlich bei allen Bewegungen der Platte ein, unabhängig von dem Mittel, das die Bewegungen erzeugt, also auch im Fernsprechbetriebe. Nur kommt es hier nicht zur Ausbildung eines Induktionsstromes i[1]), sondern bleibt bei einer induzierten Spannung e[1]), von der Richtung einer Gegenspannung. Der die Telephonplatte bewegende Strom J_n erzeugt sich durch eben diese Bewegung eine Gegenspannung e. Soll er die Schallarbeit leisten, so muss er über die Gegenspannung fortfliessen, und dazu ist pro Sekunde die Arbeit $e \cdot J_n$ aufzuwenden. Diese $e J_n$ Watt entstammen natürlich den speisenden Zellen. Die von ihnen gelieferte Leistung $E J_n$ wird nicht mehr vollständig in Stromwärme umgesetzt, sondern nur der Teil $(E-e) J_n$. Der andere Teil $e J_n$ wird telephonisch nützlich verwertet. Er ist Null, wenn nicht gesprochen wird.

$$\underbrace{E J_n}_{\text{Arbeit der Zellen}} = \underbrace{e J_n}_{\text{Telephonische Arbeit}} + \underbrace{(E-e) J_n}_{\text{Stromwärme}}$$

Nach dieser Auseinandersetzung wenden wir uns wieder einfacheren Dingen zu, zunächst dem vorhin benutzten Walzenmikrophon. Es enthält drei solcher Kohlenwalzen (Fig. 288) über einander und horizontal, wie Reckstangen, in den Ausbohrungen zweier vertikaler Kohlepfeiler steckend, so dass dieses in sich lockere Gerüst aus Kohle entsteht (Fig. 289). Seine beiden Pfeiler sind mit vier Schrauben an einem dünnen Holzbrett, der Schallplatte des Mikrophons, befestigt. Zum Fernsprechen wird das Kohlegerüst mit Trockenelement und Telephon

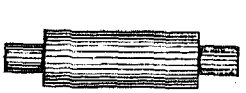
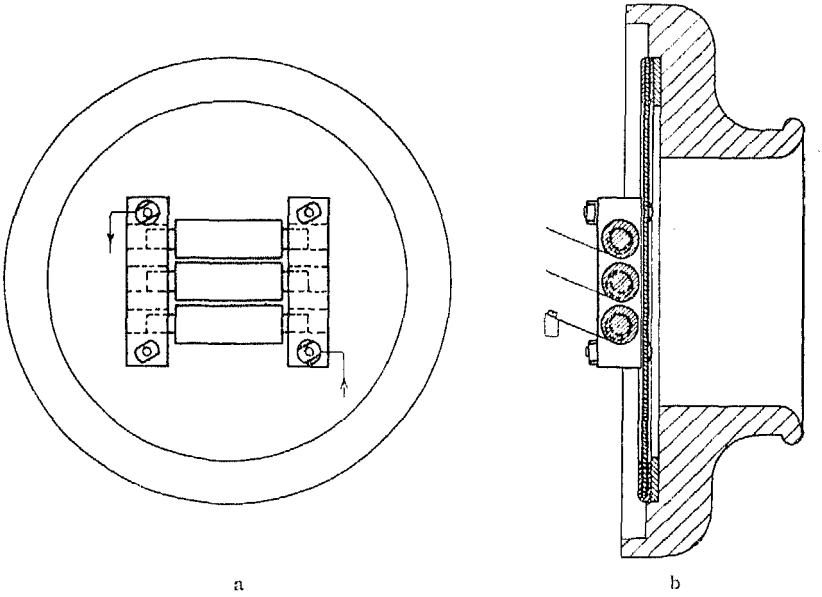


Fig. 288. Kohlenwalze.

[1]) Der Kundige möge darunter die Effektivwerte verstehen.

hinter einander in einen Stromkreis geschaltet. Von den vier Schrauben dienen dabei die beiden, an denen Sie die Unterlegscheiben sehen, als Klemmen. Der Strom tritt also etwa durch den Fuss des rechten Pfeilers ein, geht durch die drei Walzen — auf drei einander räumlich und elektrisch parallelen Wegen — zum linken Pfeiler und verlässt an dessen oberem Ende das Mikrophon.



a b

Fig. 289. Walzenmikrophon.

So weit bis jetzt beschrieben (und in Fig. 289a gezeichnet), liegen bei senkrechter Schallplatte die Walzen mit ihrem ganzen Gewicht über die Unterkante ihrer Zapfen auf der Unterkante der Pfeilerbohrungen auf. Damit mikrophonisch wirksamer Contakt eintritt, müssen die Walzen aber gehoben und die Zapfen leicht gegen die Pfeilerbohrungen angedrückt werden (Fig. 289b). Das kann eine Feder besorgen, die über eine Filzzwischenlage auf alle drei Walzen gemeinsam wirkt. Bei unserem Mikrophon, wie es früher bei der Reichspost eingeführt war, drückt von unten gegen jede Walze eine besondere Feder.

Durch Veränderung des Federdruckes können die Contakte auf eine möglichst grosse mikrophonische Wirkung eingestellt werden.

Gegen unser Anfangsmodell zeigt sich beim Walzenmikrophon das Bestreben, die Anzahl der wirksamen Contakte zu vermehren. Nicht genug, dass durch sie der Strom, in drei parallele Zweige geteilt, hindurch geführt wird. Auch jeder Zweig durchfliesst noch hinter einander — an beiden Walzenenden — zwei Contakte oder wohl Contaktgruppen. Hierdurch wird zunächst die dem Mikrophon zugeführte Schallenergie besser ausgenutzt. Die von ihr bewirkten Widerstands-, also Stromschwankungen werden grösser. Zwar wirkt natürlich bei n Contakten auf jeden nur der $n$te Teil der gesamten Energie. Aber zur Änderung der Teilcontakte braucht nicht für jeden dieselbe Masse bewegt zu werden wie für einen als einzelnen vorhandenen Contakt, sondern eine wesentlich kleinere. Jeder Teilcontakt gerät deshalb in Schwingungen, deren Amplitude wesentlich grösser ist, als der $n$te Teil der Schwingung eines Einzelcontaktes. Die Häufung wirksamer Contakte vergrössert die Amplitude der von derselben Schallmenge erzeugten Stromschwankung und damit die nützliche Wirkung des Mikrophons.

Ausserdem, so wird immer angeführt, diene die vermehrte Anzahl paralleler Contakte dazu, für den einzelnen Contakt die Strombelastung zu verkleinern, wodurch seine andauernde Empfindlichkeit leichter erhalten bliebe. Diese Verkleinerung der einzelnen Contakte durchfliessenden Stromstärke findet sicherlich statt. Man hüte sich aber, dem für den wirklichen Betrieb zu grosse Bedeutung beizulegen. Allerdings spielt die Widerstandsverkleinerung des Mikrophons, die durch Einführung paralleler Contakte erreicht wird, für den Gesamtwiderstand des Stromkreises nur eine kleine Rolle, sobald dessen Widerstand ausserhalb des Mikrophons, der s. g. äussere Widerstand gross ist. Es fliesst dann insgesamt doch ungefähr der gleiche Strom, ob das Mikrophon mit mehr oder weniger Contakten gebaut ist. Bei Verwendung von n Contakten führt dann jeder einzelne nur den $n$ten Teil des nahezu unveränderten Gesamtstromes. Enthält der Kreis neben der Stromquelle von etwa 0,5 Ohm Widerstand ein Telephon von etwa 200, so wird aller-

dings die Strombelastung pro Contakt bei zwei Parallelcontakten von je 7,5 Ohm Widerstand etwa auf die Hälfte, bei dreien auf ein Drittel usw. vermindert. Jede der drei Kurven dieses Diagramms (Fig. 290) zeigt für verschiedene Anzahlen paralleler Contakte die Stromstärke pro Contakt in Prozenten von derjenigen an, die fliessen würde, wenn nur ein Contakt vorhanden wäre. In der Tat geht die unterste Kurve bei zwei

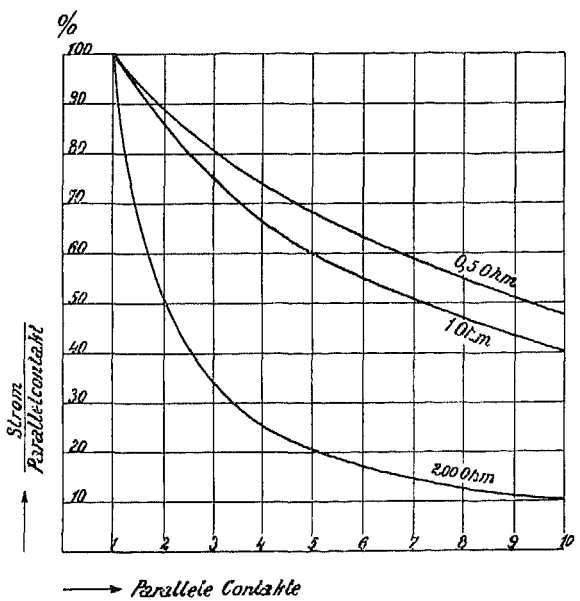


Fig. 290. Die Abhängigkeit der Strombelastung von der Contaktzahl wird durch den äusseren Widerstand bestimmt.

Parallelcontakten annähernd durch 50%, bei fünfen durch 20%, bei zehnen durch 10%. Sie werden aber nachher hören, dass der äussere Widerstand im Betriebe sehr viel kleiner zu sein pflegt, als 200 Ohm. Gewöhnlich ist der Widerstand des Telephons durch einen von 1 Ohm oder einen noch kleineren zum Beipiel von 0,5 Ohm ersetzt. Dann wird, wie die beiden anderen Kurven des Diagramms zeigen, durch Vermehrung der Parallelcontakte die Strombelastung weniger verkleinert, als man gewöhnlich glaubt. Bei zehn Parallelcontakten ist sie erst auf 44,4 bis 48,5 % gesunken, also nur eben unter die Hälfte.

Sehr viel wichtiger, als die Verminderung der Strombelastung, scheint mir ebenso, wie die erwähnte bessere Ausnutzung der Schallenergie, noch die durch die Parallelvermehrung der mikrophonischen Contakte vergrösserte Betriebssicherheit zu sein. Denn wenn vorübergehend oder dauernd einige Contakte den Dienst versagen, so sind andere da, die trotzdem die Stromschwankungen in genügender Heftigkeit erzeugen. Ist nur ein einzelner Parallelcontakt vorhanden, so könnte er auch durch zu eifrige Schwingung nicht nur seinen Widerstand erhöhen, sondern den Stromkreis geradezu unterbrechen. Er würde dabei einen Öffnungsfunken hervorrufen, der ihn bei öfterer Widerholung verbrennen und bald untauglich machen müsste.

Warum wird nun für die Mikrophoncontakte immer gerade Kohlenstoff verwandt? Worin besteht sein Vorzug vor anderen Materialien? Zunächst rostet er nicht. Er bedeckt seine Oberfläche nicht mit nicht leitenden Stellen, nicht mit einer die Stromleitung unterbrechenden Oxydschicht. Dann aber ist Kohlenstoff sehr porös. Er besitzt die Fähigkeit, durch seine Poren Gase in sich aufzusaugen, etwa wie ein Schwamm Wasser. Die gesamte Mikrophonkohle ist in ihrem Innern mit Luft durchsetzt und dadurch elastisch, gleichsam, als bestände sie aus lauter kleinen Luftkissen. Die Contakt-machenden Teile schlagen deshalb, wenn sie erschüttert werden, nicht hart, sondern federn weich und schmiegsam gegen einander. Dadurch vermag die ganze Contaktmasse den Schallwellen so gehorsam und in regelmässigen Schwingungen zu folgen und sie getreu in Widerstandswellen nachzubilden.

Die Praxis hat den Kohlenstoff als vorzügliches Mikrophonmaterial erwiesen. Genauer betrachtet besteht er aus einem Gemisch von wenig Graphit: dem hexagonal krystallisierenden, den Strom leitenden Kohlenstoff und viel Gaskohle: jener ebenfalls leitenden, aber amorphen Form, die sich bei der von hohen Temperaturen hervorgerufenen Zersetzung gasförmiger Kohlenstoffverbindungen abscheidet.

Die Fabrikation der Mikrophonkohle, die sich zu einer eigenen Industrie ausgebildet hat, ähnelt der der Brikets. Ihr Gang ist etwa der folgende: Als Ausgangsmaterial wird Retortenkohle mit einem Zusatz aus dem gut leitenden, aber teuren und wenig festen Graphit zerkleinert, sehr fein gemahlen und

durch Seidengaze gesiebt, die bis zu 2000 Maschen auf den Quadratcentimeter besitzt. Das feine Kohlenstoffmehl wird dann mit durch Erwärmen dünnflüssigem Teer in Maschinen gründlichst gemischt, durchgeknetet und in handliche Cylinder gepresst. Diese werden zerschnitten und die Schnittstücke in die jeweilig gewünschte Form gepresst. So entstehen zum Beispiel für das Walzenmikrophon dünne Cylinder, die man dann in Walzen zerschneidet und deren Enden man auf der Drehbank zu Zapfen abdreht. Notwendige Löcher werden mit der Maschine oder aus freier Hand gestanzt. Meist pflegt man aus den ursprünglichen Cylindern die gewünschte Form durch doppeltes Pressen, erst ungefähr und dann genau herzustellen. Schallplatten aus Kohle werden durch Zerschneiden von Cylindern und erneutes Pressen der einzelnen Platten erhalten. Das Pressgut wird sodann in Kohlepulver verpackt und unter Luftabschluss in feuerfesten Tiegeln bei langsamem Anheizen heftig geglüht. Erst das Glühen erteilt dem Materiale Leitfähigkeit, Festigkeit und Härte. Die Zersetzungsprodukte des Teeres müssen natürlich dabei entweichen können. Auch muss vorher auf das dadurch bewirkte Schwinden der Masse Rücksicht genommen worden sein. Das Glühprodukt wird noch abgeschliffen und poliert, wobei sehr genaue Arbeit, zum Teil noch mit der Hand notwendig ist.

Auf diese Weise sind auch die ausserordentlich mannigfach geformten, prächtigen Stücke der hier ausgelegten Sammlung von Mikrophonkohlen (Fig. 313 in der 22. Vorlesung) entstanden, die ich der Güte der schwedischen Firma Rylander und Rudolphs verdanke.

21. Vorlesung.

Die telephonische Übertragung.

Übertragung von Höhe, Stärke und Klangfarbe eines Tones. (Weibliche Beamte). — Die Kleinheit der nützlichen Stromschwankungen, ohne und mit Berücksichtigung der Selbstinduktion des Telephons, bei grossem Ballaststrom. — Der Transformator. Mikrophonkreis. Telephonkreis. Die drei Vorteile des Transformators: Der kleine Widerstand der Primärwicklung vergrössert die mikrophonischen Stromschwankungen. Auf den Sekundärkreis werden nur die Schwankungen, nicht der constante Ballast übertragen. Die Spannungserhöhung verkleinert die Leitungsverluste. — Prinzipielle Schaltung.

Die Leitung: Eisendraht. Hauteffekt. Leitfähigkeit und Festigkeit. Kupfer-, Bronze-, Doppelbronze-, Compounddraht. — Einfach- und Doppelleitung. Übertrager. — Kabel. — Der schädliche Einfluss der Capacität. Die Schwächung der Stromamplitude steigt mit der Periodenzahl. Bedeutung des CW. Pupinspulen.

Ein Ton wird bekanntlich durch drei Eigenschaften bestimmmt: seine Stärke, beruhend in der Amplitude der Schwingungen, seine Höhe beruhend in der Periodenzahl, und seine Klangfarbe, begründet durch die dem Grundton beigemischten Obertöne.

Soll die Schallplatte des Telephons am Ende der Übertragung die Luft in dem gleichen Tone erzittern lassen, wie er gegen die Schallplatte des Mikrophons am Anfang gesprochen wurde, so müssen selbstverständlich jene drei Eigenschaften des Tones: Stärke, Höhe und Klangfarbe möglichst unverändert übertragen werden, und es ist zu untersuchen, in wie weit das thatsächlich geschieht.

Die Höhe jedes einzelnen Tones wird ohne Zweifel richtig wiedergegeben. Denn die übertragenden Stromschwankungen haben die gleiche Periodenzahl n, wie die sie erzeugenden Schwingungen der Schallplatte des Mikrophons und wie die von ihnen erzeugten der Schallplatte des Telephons. Es vollenden eine Schwingung in derselben Zeit $T = \frac{1}{n}$ Sekunden folgende sieben Grössen: Der Einzelton, der am Leitungsanfang in das Mikrophon hineingesprochen wird, dessen Schallplatte,

dessen Widerstand, die übertragende Stromstärke, die nützliche Kraftlinienzahl und die Schallplatte des Telephons, und damit schliesslich auch der wiedergegebene Ton. Die Tonhöhe bleibt erhalten.

Im Gegensatz dazu wissen wir von der Stärke des übertragenen Tones zunächst garnichts. Denn, wie Ihnen bekannt, geht die übertragene elektrische Arbeit nicht aus der vom Mikrophon aufgenommenen Schallarbeit hervor, sondern wird von ihr nur ausgelöst. Im Prinzip spricht demnach nichts dagegen, dass der Ton auch verstärkt wiedergegeben werden kann. Die tägliche Erfahrung lehrt freilich, dass er geschwächt wird. Die Schwächung an sich schadet auch nichts, sobald sie nicht zu gross wird, und wenn nur die verschiedenen aufeinander folgenden oder miteinander gemischten Töne in gleichem Maasse geschwächt werden. Ihre Amplituden müssen durch die Übertragung sämtlich auf den gleichen Bruchteil verkleinert, mit demselben Faktor kleiner als Eins multipliziert werden. Würden etwa die tiefen Töne merklich mehr geschwächt, als die hohen, so würde die Tonfolge oder das Tongemisch in der Wiedergabe auf das Ohr einen höheren, im umgekehrten Falle einen tieferen Eindruck machen, als ursprünglich. Die Klangfarbe von Tonfolgen oder Tongemischen würde durch die Übertragung erhöht oder vertieft werden. Glücklicher Weise ist das nun bei der üblichen Fernsprecheinrichtung, wie jeder weiss, im allgemeinen nicht der Fall. Bis zu gewissen Entfernungen verkleinert die Übertragung den Tönen verschiedener Schwingungszahlen die Amplitude ungefähr gleichmässig. Die Klangfarbe der Tonfolgen bleibt so gut wie erhalten. Nun besitzen allerdings die Schallplatten am hörenden Mikrophon und am sprechenden Telephon Eigentöne (S. 225), welche den übertragenen Tönen ihre eigenartige blecherne Klangfarbe verschaffen. Diese Eigentöne liegen höher, als die männliche Stimme. Um sie zu vertiefen, müsste man die Platten dünner und grösser machen, was aus anderen Gründen nicht angeht. Wegen dieser hohen Lage der Eigentöne der Schallplatten — einen anderen Grund hörten Sie schon (S. 219) — mag die weibliche Stimme zur telephonischen Übertragung geeigneter sein, als eine gleich deutliche männliche. — Aber bekanntlich braucht deshalb noch niemand seine tele-

phonischen Gespräche von einem weiblichen Dolmetscher führen zu lassen. Auch ist es nicht deshalb, dass der Fernsprechdienst, bei dem es immer noch mehr auf das Verstehen, als auf das Verstanden-werden ankommt, von weiblichen Beamten[1]) versehen wird. Die Eigenschwingungen der Schallplatten können uns nicht hindern zu sagen, dass im Wesentlichen jeder Ton in seiner richtigen Stärke übertragen wird.

Was nun der Erhaltung der Klangfarbe anbetrifft, so haben wir schon vorweggenommen, dass die dem Tone beigemischten Obertöne im Allgemeinen in einer für den Betrieb genügend richtigen Stärke übermittelt werden. Häufig wird allerdings angeführt, dass durch die Vorgänge der Übertragung die Phase der Obertonwellen gegen einander und gegen den Grundton verschoben und dass dadurch die Form der schliesslichen Tonwelle, welche ja durch Addition der jeweiligen Werte der verschiedenen Einzelwellen entsteht, verändert werde. Derartige Betrachtungen können Sie sich in Erinnerung an das ersparen, was Sie seiner Zeit (S. 220) über den telephonischen Wert von Phase und Schwingungsform von Tonwellen erfahren haben. Diese machen auf unser Ohr den gleichen Eindruck, sobald die dem gleichen Grundton beigemischten Obertöne von gleicher Höhe und Stärke sind. Die gegenseitige Lage ihrer Phasen kommt für die Klangfarbe, wie Sie wissen, vermutlich deshalb nicht in Betracht, weil das Ohr die Teiltöne des Gemisches getrennt auffasst und sie erst in der seelischen Wahrnehmung verschmilzt.

Wir müssen nun etwas nachrechnen, ob die bisher beschriebene Einrichtung zur telephonischen Übertragung ausreicht, und uns deshalb zunächst über die Grösse der Schwankungen unterrichten, die dem Ruhestrome von den Schwingungen der Kohlencontakte aufgedrückt werden. Der Widerstand w des Mikrophones schwanke zwischen seinem grössten Werte w_1 und

---

[1]) Sicherlich sind für den Fernsprechdienst neben einer während seiner ganzen Dauer nicht nachlassenden Aufmerksamkeit und freundlichen Geduld gutes Ohr und deutliche Aussprache sehr viel wichtiger als hohe Stimmlage, die, wie später klar werden wird, für das Sprechen auf weite Entfernung sogar eher nachteilig ist. Da aber die Erfahrung gezeigt hat, dass weibliche Beamte den Dienst ebensogut erledigen, wie männliche, ist ihre Anstellung für die Verwaltungen eine kaufmännische Pflicht geworden, und die Elektrotechnik kann sich nur freuen, den Frauen in ihrem so viel schwereren Daseinskampfe eine neue Erwerbsquelle geschaffen zu haben.

seinem kleinsten w_2 hin und her. Der äussere Widerstand sei W und die Batterie habe die elektromotorische Kraft E. Wie gross berechnen sich denn die Schwankungen der Stromstärke J zwischen ihrem kleinsten Werte J_1 und ihrem grössten J_2? Nehmen Sie zunächst der Wirklichkeit entgegen die Dauer der Schwingungen so gross an, dass nach Ohm

$$J_1 = \frac{E}{W + w_1} \qquad \text{und} \qquad J_2 = \frac{E}{W + w_2}$$

gesetzt werden darf. Die Differenz dieser beiden Werte, $J_2 - J_1$ ist dann die gesuchte Stromschwankung, die während ihres wellenartigen Verlaufes im Empfänger die telephonische Arbeit leistet.

Der Wert dieser Differenz wird an einem Zahlenbeispiel klar werden. Die Batterie bestehe aus zwei Trockenelementen, sodass E zu 3 Volt angenommen werden kann. Der Widerstand des Mikrophones betrage im Ruhezustande 5 Ohm, und er schwanke bei der mikrophonischen Arbeit wellenförmig um je 1 Ohm nach oben und nach unten, also zwischen 4 und 6 Ohm hin und her. Eine solche Widerstandswelle ist hier (Fig. 291a) aufgezeichnet. Der ganze Widerstand w bildet natürlich keine Welle mit positiven-, negativen- und Nullwerten, sondern enthält auf dem kleinsten Widerstande w_2 eine solche Welle nur aufgeschichtet, aufgebaut, gleichsam aufgepfropft. So stellt im Diagramm für jeden Augenblick der Schwingung der Abstand der Wellenoberfläche von der horizontalen Achse die jeweilige Grösse des Mikrophonwiderstandes dar. Hier ist gerade eine Wellenlänge gezeichnet, die, wie Sie wissen (S. S. 209), in $T = \frac{1}{n}$ Sekunden zurückgelegt wird.

Ganz ähnlich der Widerstandswelle verläuft die von ihr erzeugte Stromwelle.[1]) Deren Werte für Berg und Thal hängen nun ausser von dem Mikrophonwiderstande w von W, dem äusseren Widerstande, einschliesslich dem der Stromquelle, ab. Um zu sehen, in wie grossem Maasse das der Fall ist, und

[1]) Dass sie tatsächlich keine Sinuskurve bildet, darf hier übersehen werden.

welche Bedeutung für das Fernsprechen dadurch die Grösse von W gewinnt, braucht man dafür nur verschiedene Werte einzusetzen und die Stromschwankung auszurechnen. Der nicht zu verwirklichende Fall von $W = 0$ giebt den Wert des kleinsten Stromes $J_1 = \frac{E}{w_1} = \frac{3}{6.0} = 500$-, den des Ruhestromes $J_0 = \frac{E}{w_0} = \frac{3}{5.0} = 600$- und den des grössten Stromes $J_2 = \frac{E}{w_2} = \frac{3}{4.0} = 750$ Milliampere. Die Stromschwankung macht 250 Milliampere aus. Setzen Sie nun für W der Reihe nach wachsende Werte ein, so sinkt J_0. Es sinken gleichfalls J_1 und J_2 und, was für unseren Zweck das wichtige, die Stromschwankungen $J_2 - J_1$, wie es folgende leicht nachzurechende Zahlen erweisen.

W:	0	1	1.5	2	5	10	50	200	Ohm
J_0:	600	500	461	428	300	200	54.6	14.6	Milliampere
$J_2 - J_1$:	250	172	145	125	60	27	2	0.14	Milliampere

Wie wenig in der That bei grossem W die Widerstandsschwankungen für die Grösse des ganzen Stromes ausmachen, wird deutlich, wenn man, wie die Widerstandswelle, auch die von ihr hervorgerufene Stromwelle aufzeichnet (Fig. 291b). Natürlich ist der Strom dort gross, wo der Widerstand klein ist, und umgekehrt, und die Stromwelle nimmt zu alien den Zeit ab, wo die Widerstandswelle zunimmt, und umgekehrt. Beide Wellen sind um die halbe Dauer einer Schwingung, um eine halbe Periode gegen einander in der Phase verschoben.

Was nun die Grösse der Stromamplitude bei verschiedenem W betrifft, so schwankt für $W = 0$ der Strom gehörig auf und nieder. Auch für $W = 2$ Ohm ist das noch so. Aber schon für 5 und 10 Ohm ist die Welle abgeflacht, und bei 50 und mehr Ohm ist im Maassstab unserer Zeichnung keine Schwankung mehr wahrzunehmen. Aber man bedenke, dass bei der Übertragung des gepfiffenen Liedes das eingeschaltete Telephon schon allein 200 Ohm Widerstand hatte. Nun ist trotzdem diese Übertragung gelungen, weil, wie Sie wissen, die Telephone so

überaus empfindliche Instrumente sind. Wir hätten ja hier ein Telephon von geringem Widerstande benutzen können. Aber auch dann enthält W ausser dem Widerstande des Telephons noch den der Hin- und Rückleitung. Dadurch werden die Stromschwankungen $J_2 - J_1$ weiter herabgedrückt.

Damit ist es aber noch nicht genug. Erinnern Sie sich, dass schon die sich verhältnismässig langsam ändernden Morseströme nicht mehr dem einfachen Ohmschen Gesetz gehorchten. Nun kann zwar J_1, der kleinste Wert des Mikrophonstromes, ohne Zweifel als Dauerwert angesehen und nach Ohm zu $\frac{E}{W + w_1}$ berechnet werden. Aber was ihn zum Mikrophonstrom macht, der kleine Stromzuwachs ist schneller Änderung unterworfen. Schon beim (reinen) Kammerton a durchläuft dieser Zuwachs 435 volle Wellen in der Sekunde. Für einen so schnell sich ändernden Strom, der im Telephon windungsreiche Spulen mit Eisenkernen durchfliesst, kann das einfache Ohmsche Gesetz nicht gelten. Während der unveränderte Teil J_1 des Gesamtstromes auch dort nur den Ohmschen Widerstand erfährt, stellt sich dem veränderlichen, an sich schon kleinen

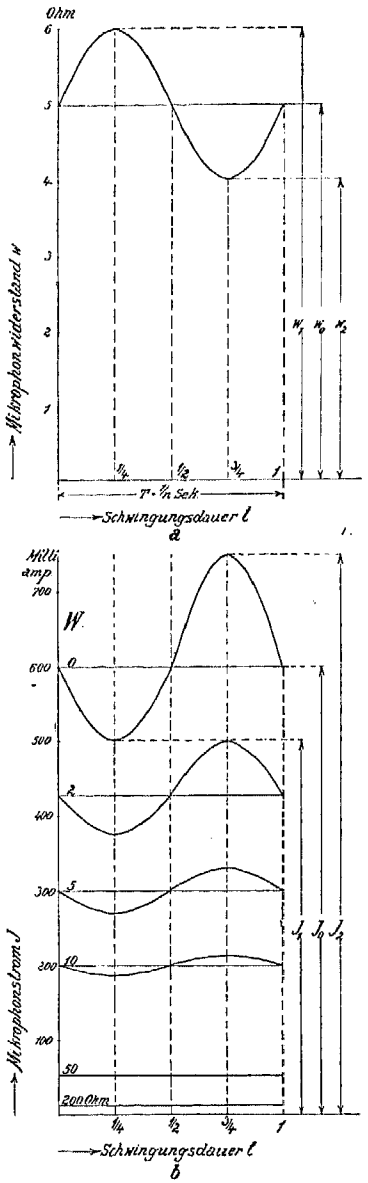


Fig. 291.

a. Widerstandswelle eines Mikrophons, hervorgerufen durch einen Einzelton.

b. Dazu gehörige Stromwellen für verschiedene äussere Widerstände W.

Teile, auf den alles ankommt, nun noch die Selbstinduktion des Telephons entgegen. Für ihn tritt zu dem Ohmschen Widerstand noch eine beträchtliche Induktanz, ein Widerstand durch Selbstinduktion hinzu.

Auch das sehen Sie in einem Diagramm (Fig. 292): Zunächst oben (a) die Widerstandswelle wie früher. Darunter (b) sind zwei Stromwellen gezeichnet. Davon ergibt sich die grössere ohne Berücksichtigung der Selbstinduktion für $W = 200$ Ohm (aus der Tabelle auf S. 454.) Der Maassstab der Stromwellen ist aber jetzt gegen früher etwa vertausendfacht, so dass die Welle trotz ihrer kleinen Amplitude von 0,07 Milliampere noch gross erscheint. Natürlich hat auch hier die Stromstärke ihren kleinsten Wert, wenn der Widerstand am grössten ist.

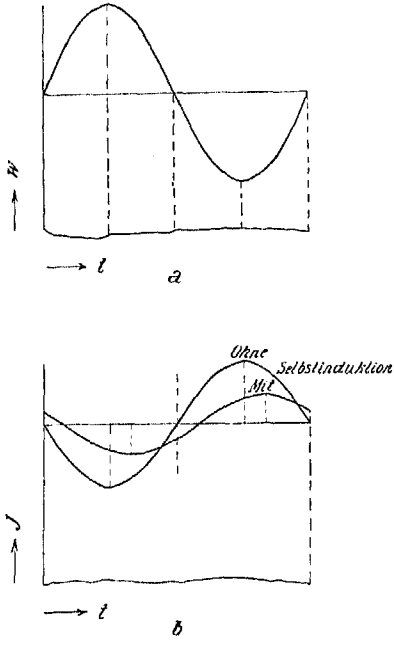


Fig. 292.
Einfluss der Selbstinduktion des Empfangstelephons auf die Stromwelle.

Die kleinere Welle stellt nun in ebenso stark vergrössertem Maasstabe den Lauf der Stromstärke dar, sobald die Selbstinduktion des Telephons berücksichtigt wird. Bei dieser neuen Stromwelle fällt auf, dass die Null- und Maximalwerte bei grösseren Zeiten t, mithin später eintreten, als sonst. Die Selbstinduktion drückt die Stromwelle in der Phase zurück. Das hat aber, wie Sie erfahren haben, telephonisch keine Bedeutung. Wichtig dagegen ist die erneute Verkleinerung der Amplitude. Sie ist auf 0,0338 Milliampere, noch etwa auf die Hälfte ihres früheren Wertes gesunken.

Die Stromschwankung ist sehr klein geworden. Wenn nun noch der Widerstand einer längeren Hin- und Rückleitung überwunden werden soil, dann ist es mit der Leistungsfähigkeit unserer Einrichtung, so wie sie bis jetzt beschrieben ist, schlecht

bestellt. Ein Sprechen über grössere Entfernungen, als etwa die im Hause, verlangt eine wesentlich grössere Stromschwankung. Wie ist diese nun zu erreichen? Sie mögen eine Vermehrung der Zellenzahl vorschlagen. Selbst wenn nicht andere wichtige Gründe dagegen sprächen, so würde dieses Mittel versagen, weil mit der Zellenzahl nicht nur die Stromschwankung, sondern selbstverständlich auch der Strom der Ruhe J_0 wächst. Das darf schon deshalb nicht sein, weil dann die empfindlichen Mikrophoncontakte, die man zu schonen allen Grund hat, schädlich mit Strom belastet würden. Des Weiteren würde der grosse Strom J_0 dauernd eine starke Durchbiegung der Schallplatte bewirken, was natürlich einer sauberen Umsetzung der Strom- in Schaliwellen hinderlich wäre. Schliesslich ist es noch deshalb nachteilig, die Stromschwankungen $J_2 - J_1$ einem zu grossen Strome der Ruhe J_0 aufzudrücken, weil dann die Schwankungen in der Magnetisierung der Telephonschallplatte sich über eine zu grosse Magnetisierung der Ruhe lagern. Denn, wie Sie sich (von Fig. 44 auf S. 63 her) erinnern, bewirkt von einer gewissen Magnetisierung (dort etwa $H = \pm 40$ Kraftlinien pro cm^2 ab die Zunahme von H nur eine verhältnismässige kleine Zunahme von B. Für starke Felder bewirkt die Vermehrung der Kraftlinien in Luft eine verhältnismässige kleine - der Kraftlinien im Eisen. Bei grossem mikrophonischen Ruhestrom erzeugt ein doppelt so starker Ton mit seiner doppelt so grossen Stromschwankung keine doppelt so grosse Kraftlinienschwankung in der Telephonplatte mehr. Der doppelt so stark aufgenommene Ton wird nicht mehr doppelt so stark wiedergegeben. Die Vermehrung der Zellenzahl ist also aus mehreren Gründen, darunter auch wegen des magnetisch schädlichen Stromballastes nicht zu brauchen.

Der Fernsprechbetrieb bedarf deshalb einer neuen Einrichtung, welche dem Mikrophonstrom seine nützlichen Schwankungen vergrössert und womöglich seinen, wie Sie gesehen haben, nicht nur nutzlosen, sondern sogar schädlichen constanten Anteil nimmt. Beides besorgt der Edisonsche Kunstgriff der Einschaltung eines Transformators, der Induktionsrolle (Fig. 293). Mikrophon und Telephon werden jeder in einen Stromkreis für sich gelegt. Die Trockenelemente schicken ihren Strom durch das Mikrophon und die primäre

Transformatorwicklung. Stromquelle, Mikrophon, primäre Transformatorwicklung bilden den Mikrophonkreis. Ihn soli man sich bei Fernsprechschaltungen zuerst aufsuchen, sei es in Wirklichkeit oder in Zeichnung. Den Telephonkreis bilden: secundäre Transformatorwicklung als Stromquelle, ausserdem Hin- und Rückleitung und Telephon. Beide Stromkreise sind elektrisch von einander getrennt und dafür durch die magnetischen Kraftlinien des Transformators mit einander verkettet, die gemeinsam primäre und secundäre Wicklung umschlingen.

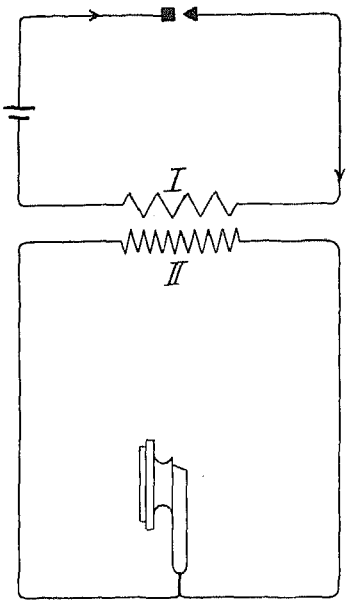


Fig. 293.
Einschaltung eines Transformators.

Die Einführung der Induktionsrolle verschafft uns nun gleichzeitig drei Vorteile: Zunächst sind wir den grossen Widerstand von Telephon und Hin- und Rückleitung aus dem Mikrophonkreis los. Der Widerstand der primären Transformatorwicklung kann sehr klein gemacht werden. Er soli etwa nur ein Zehntel von w_0, dem Ruhewiderstande des Mikrophons betragen. Nehmen Sie ihn aber für unser Beispiel selbst zu dem grossen Wert von 1 Ohm an, so spielen jetzt die Widerstandswellen der schwingenden Mikrophoncontakte für den Stromkreis eine sehr viel grössere Rolle als früher. So geht aus der Tabelle (auf S. 454) hervor, dass die Stromschwankung im Mikrophon durch die gleiche Widerstandsänderung von früher etwa 0,14 auf jetzt 145 Milliampere vergrössert, vertausendfacht wird. Die Wellen, die eben nur leicht die Oberfläche der Stromstärke kräuselten, wühlen sie jetzt heftig, um den dritten Teil ihrer Tiefe auf.

Die Induktionsrolle erhöht also durch den kleinen Widerstand ihrer primären Wicklung den schwingenden Teil des

Wellenstromes. Ferner wird bei der magnetischen Übertragung aus der primären- in die secundäre Wicklung der constante Anteil ganz abgestossen, der Wellenstrom in einen Wechselstrom ohne constanten Ballast verwandelt. Zwar erzeugt der Wellenstrom beim Durchfliessen der primären Wicklung ein Magnetfeld, das, wie er selbst, einen constanten Teil und darüber eine Welle enthält. Aber der constante Teil des Magnetfeldes und damit der des Stromes hat keinerlei secundäre Wirkung. Nur Kraftlinien wechselnder Anzahl rufen Induktion hervor. Nur der veränderliche Teil des Magnetfeldes induziert in jeder secundären Windung eine Spannung, deren Richtung dem Sinne und deren Grösse der Heftigkeit der Änderung entspricht. Sie erinnern sich der Diagramme (Fig. 54 auf S. 80), die schematisch die Vorgänge in den beiden Wicklungen eines Funkeninduktors wiedergeben. Dabei bildet die secundäre Kurve die Heftigkeit der primären Änderungen ab. Folgt man einer Welle über ihren Lauf und bestimmt unterwegs in vielen Punkten, wie sehr sich dort die Stromstärke ändert, so erhält man (Fig. 294), wie leicht auszuproben und zu beweisen, für die secundäre Spannung wiederum eine Welle und zwar eine um $^1/_4$ Periode verschobene, vor alien Dingen aber reine Welle mit positiven-, Null- und negativen Werten, nicht nur ein wellenförmiges Anwachsen und Abnehmen einer immer gleichgerichteten Spannung. Der primäre Wellenstrom induziert eine Wechselspannung in der secundären Wicklung, und die Wechselspannung schickt durch die Hin- und Rückleitung und das empfangende Telephon einen Wechselstrom.

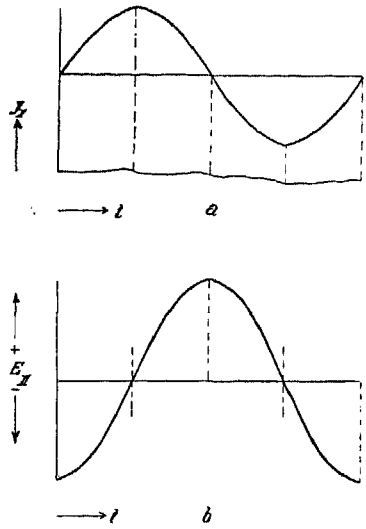


Fig. 294. Primärer Strom und secundäre Spannung des Fernsprechtransformators. Schematisch.

Der Transformator bringt nun für das Fernsprechen noch einen weiteren, den dritten Vorteil mit sich. Er formt die zu

übertragende elektrische Leistung so um, dass von den beiden Faktoren E und J die Spannung E gross und damit die für den Leitungsverlust J^2W massgebende Stromstärke J klein ist. Dazu müssen sich, wie Ihnen von früher (S. 83) her bekannt ist, die Windungszahlen der beiden Wicklungen wie die verlangten Spannungen verhalten, wie es das ungefähr geltende Gesetz ausdrückt:

$$E_I : E_{II} = n_I : n_{II}.$$

Für die Induktionsrollen der Telephonie sind verschiedene Übersetzungsverhältnisse im Gebrauch, wie zum Beispiel

$$\frac{5400}{300} = 18 \text{ oder } \frac{4200}{185} = \text{rd. } 23 \text{ oder } \frac{4200}{130} = \text{rd. } 32.$$

In diesen Fällen ist mithin die Wechselspannung an den Klemmen der Secundärspule ungefähr 18 oder 23 oder 32 mal so gross, wie die Welle, die sich an den Primärklemmen über den constanten Teil der Spannung lagert. Im selben Verhältnis wird der Strom durch die Transformation verkleinert. Erheben Sie die angegebenen Werte für das Übersetzungsverhältnis $\frac{n_I}{n_{II}}$ ins Quadrat, so werden Sie finden, dass die Transformation den Verlust an elektriseher Leistung auf ungefähr 0,3 oder 0,2 oder 0,1 % seines sonstigen Wertes herabdrückt. Wenn auch thatsächlich die Dinge nicht so einfach liegen, wie wir hier vorgeben dürfen, so gewähren doch die Zahlen ein Bild von diesem weiteren Vorteil des Transformators.

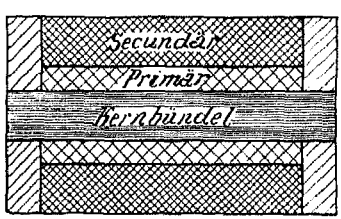


Fig. 295.
Induktionsrolle im Längsschnitt.

Über seinen Bau ist nur wenig hinzuzufügen. Hier im Längsschnitt (Fig. 295) sieht man, wie die sekundäre Wicklung die primäre- und diese den geraden Eisenkern umgiebt. Der

magnetische Kreis besteht also wie beim Ruhmkorff nur zum kleineren Teile aus Eisen, zum grösseren- aus Luft. Dadurch können die Kraftlinien leichter den mikrophonischen Stromänderungen folgen: entstehen, zerfallen und die entgegengesetzte Richtung annehmen. Auch sind, wenn wenig Eisen vorhanden, die Arbeitsverluste im Eisen klein. Dabei versteht sich von selbst, dass möglichst magnetisch weiches, und — senkrecht zu den Wirbelspannungen — unterteiltes Eisen verwandt wird. Das Kernbündel auf dem Teller hier entstammt dieser Induktionsrolle (Fig. 296). Die Drähte haben einen Durchmesser von nur 0,25 mm.

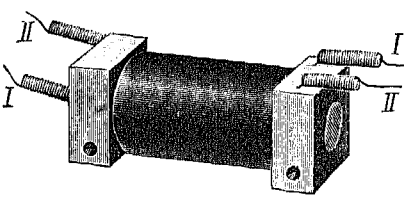


Fig. 296. Induktionsrolle.

Um es zu wiederholen, bestehen die Vorteile des Transformators in dreierlei: Erstens wird der äussere Widerstand des Kreises, in den das Mikrophon eingeschaltet ist, ausserordentlich herabgedrückt und dadurch die Grösse der mikrophonischen Stromschwankungen sehr stark erhöht. Zweitens wird auf die secundäre Wicklung nur die Stromwelle übertragen, der constante Ballaststrom nicht. Drittens erhöht die Transformation die Spannung und verkleinert dadurch die Verluste an elektriseher Leistung durch die Fortleitung.

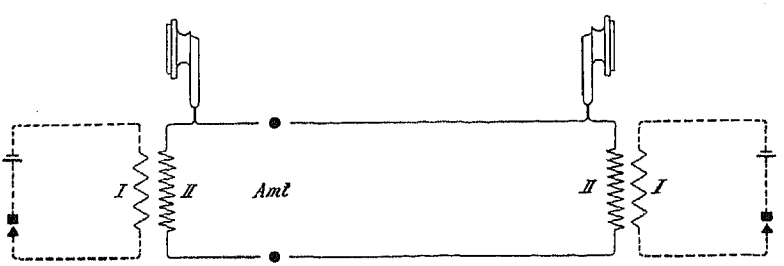


Fig. 297. Prinzipielle Fernsprechschaltung.

Wie beim Morsebetriebe wollen wir auch hier gleich eine vorläufige Schaltung entwerfen (Fig. 297), wie sie im Prinzip zum Fernsprechen dienen kann. Zwei Teilnehmer sind durch Hin- und Rückleitung vom Amte verbunden worden. Bei beiden ist der Mikrophonkreis, bestehend aus Batterie, Mikrophon, primärer Transformatorwicklung, geschlossen. Damit nun jeder den anderen hören kann, muss sein Telephon und des anderen secundäre Wicklung in den Leitungskreis eingeschaltet sein, wie es die Skizze zeigt.

Lassen Sie uns nun kurz von der Fernsprechleitung reden. Zwar setzt, wie eben gezeigt wurde, die Spannungserhöhung durch den Transformator die Leitungsverluste wesentlich herab. Aber diese bleiben natürlich immer noch vom Widerstande der Leitung abhängig. Es war nur natürlich, dass man zu Anfang über die eisernen Telegraphenleitungen sprach, und für kleine Entfernungen thun diese auch ihren Dienst. Aber für grosse versagen sie wegen des grossen spezifischen Widerstandes, der früher zu 0,13 angegeben worden ist. Sie versagen aber umso mehr, als die Sprechströme nicht einmal in der Lage sind, den ganzen Querschnitt des Eisendrahtes zur Leitung auszunutzen. Bei Wechselströmen hoher Periodenzahlen drängen sich die einzelnen sonst nebeneinander herlaufenden Stromfäden durch die Selbstinduktion gegenseitig aus dem Innern des Drahtes nach der Oberfläche hin, und zwar nimmt diese technisch lästige Erscheinung mit der Periodenzahl des Stromes und dem Quadrat der Dicke des Leiters zu. Es kann schliesslich so weit kommen, dass der Wechselstrom gar nicht mehr in das Innere des Leiters eindringt, den Cylinder des Drahtes zur Leitung benutzt, sondern in einer gewissen Ähnlichkeit mit statischer Elektricität nur die alleräusserste Oberflächenschicht benutzt, den Leiter gleichsam mit einer elektrischen Haut umkleidet. Die Erscheinung hat daher den Namen Hauteffekt bekommen. Natürlich ist das Leitvermögen des Drahtes dadurch, dass sein massives Innere zur Leitung wenig benutzt wird, ausserordentlich verringert. Wenn der Draht thatsächlich auch seinen vollen Querschnitt behält, so macht ihn der Hauteffekt für die Leitung der

Sprechströme gleichsam zu einer Röhre. Nur die äussere Schicht des Leitungsmaterials wird ausgenutzt. Der Widerstand des Drahtes gegen Sprechströme ist dadurch natürlich sehr viel grösser, als gegen Gleichstrom. Nach dem eben angeführten Gesetz ist das in umso höherem Grade der Fall, je mehr man etwa die Vergrösserung des Widerstandes durch eine solche des Querschnittes auszugleichen suchte. Nun ist allerdings für ein unmagnetisches Leitungsmaterial der Hauteffekt und die von ihm bewirkte Widerstandsvergrösserung nur klein. Im allerstärksten Falle macht sie für einen Telephonstrom wenige Prozent, meist sehr viel weniger aus. Aber gerade bei Eisen mit seiner grossen Permeabilität ist man wesentlich schlimmer daran. Zusammen mit dem hohen spezifischen Widerstande[1]) schliesst deshalb der Hauteffekt das Eisen als telephonisches Leitungsmaterial für alle grösseren Entfernungen aus. Er thut das umso mehr, als, wie gesagt, die Widerstandswirkung auf Ströme niedrigerer Periodenzahl geringer ist, als auf solche höherer. Der Hauteffekt begünstigt die Ströme, die den tieferen Tönen entsprechen. Er hat das Bestreben, die Klangfarbe der übermittelten Sprache in eine tiefere Lage zu verschieben, was mit wachsender Länge des Eisendrahtes zu einer Verzerrung der Sprache führen muss.

Nun ist für freigespannte Leitungen neben der elektrischen Leitfähigkeit grosse mechanische Festigkeit Bedingung. Besonders stark sind die Beanspruchungen auf Zug, denen eine solche Leitung unterliegt, und andererseits ist schon (S. 32) geschildert worden, was das Reissen eines Fernsprechdrahtes besonders in Städten für Unheil anrichten kann. Wenn also auch das Kupfer die elektrischen Bedingungen eines Fernsprechdrahtes vorzüglich erfüllt, so ist dafür im gewöhnlichen Zustande seine Festigkeit zu germg. Es muss hartgezogen oder unter Zusatz geringer Mengen Silicium in Siliciumbronze verwandelt werden. Rechnen Sie die Festigkeit des für Telegraphenleitungen üblichen verzinkten Eisendrahtes zu 4000, so ist die des Siliciumbronzedrahtes etwa 7000. Die Leitfähigkeit ist freilich auf annähernd ein Drittel der des reinen Kupfers gesunken.

---

[1]) Der allerdings seinerseits den Hauteffekt verkleinert.

Statt zu legieren, kann man für höhere Festigkeiten lieber zwei verschiedene Materialien mit einander zu einem Draht vereinigen. Umgiebt man zum Beispiel eine Seele aus Aluminiumbronze mit einem Kupfermantel, so ist die Festigkeit des gesamten Drahtes noch etwas höher als die der Siliziumbronze, etwa 7600, und trotzdem hält sich die Leitfähigkeit immer noch auf der Höhe von zwei Dritteln des reinen Kupfers. Ein im Prinzip sehr glücklicher Gedanke lehrte, wie man sich im s. g. Compounddraht die grosse Festigkeit eines Stahldrahtes zu Nutze machen kann, ohne dass der Hauteffekt den Widerstand erhöht. Man umgiebt zum Beispiel einen 2 mm dicken Stahldraht mit einem Bronzemantel von 0,5 mm Wandstärke. Der Hauteffekt drückt die Sprechströme aus der Stahlseele in den Mantel, wo sie die gut leitende Bronze vorfinden. Doch scheinen einer allgemeinen Anwendung der Compounddrähte ihre hohen Fabrikationskosten im Wege zu stehen.

Nachdem wir uns so über das Material der Freileitungen verständigt haben, verlangt des Weiteren die naheliegende Frage Beantwortung, warum denn in der Fernsprechtechnik nicht ebenso, wie in der Telegraphie, die Erde als Rückleitung benutzt wird. Das sollte hier doch gerade so gut, wie dort gehen. Die Erde wird den telephonischen Wechselströmen keinen anderen Widerstand entgegensetzen, als den telegraphischen Wellenströmen. In der That hat man auch telephonisch früher allgemein die Erde als Rückleitung benutzt. Aber man empfand bald, dass die gegenseitige Störung mehrerer neben einander her geführter Fernsprechleitungen, dass die Störung durch in der Nähe geführte elektrische Bahnen mit ihrem fortwährenden Ein- und Ausschalten die Verständigung über das erlaubte Maass hinaus erschwert. Denn, wo Kraftlinienänderung, da Induktion.

Stellen Sie sich zwei neben einander an demselben Gestänge geführte Drähte einer Einfachleitung vor, für die beide die Erde die Rückleitung bildet. Wenn nun über den einen der beiden Drähte gesprochen wird, so wirkt der das Gespräch tragende Wechselstrom auf den parallelen Nachbardraht induzierend. Er erzeugt in diesem Nachbardraht einen neuen Strom, der ihm selbst zwar in jedem Augenblick entgegengerichtet ist, dessen so entgegengesetzte Phase aber nichts daran ändert, dass er

ein genaues, nur etwas schwächeres Spiegelbild des ursprünglichen Stromes vorstellt. Da auch der zweite Draht zwischen seinem Ende und Erde ein Telephon enthält, ist bei der Empfindlichkeit der Telephone auch in ihm das von dem induzierenden Strom getragene Gespräch sehr wohl hörbar. Das auf Draht Eins geführte Gespräch wird von Telephon Zwei ausgeplaudert, unbekümmert darum, ob die Sprechenden den berechtigten Wunsch haben, ihr Gespräch geheim zu halten. Für den unfreiwilligen Lauscher ist — akustisch gesprochen — das fremde Gespräch ziemlich gleichgültig. Er hört es nur, solange er auf Anschluss wartet. Nachher wird es von dem Gespräch auf dem eignen Draht übertönt. Dagegen rufen die durch die Schienen zurückgeleiteten starken Anfahrströme elektrischer Bahnwagen — durch Induktion und wohl auch direkt — im Telephon höchst lästige pfeifende Töne hervor.

Aus diesen Gründen ist man davon abgekommen, die Erde telephonisch als Leitungsmaterial zu benutzen, und trotz der damit verknüpften hohen Kosten von der Einzelleitung zur Doppelleitung oder Schleifenleitung übergegangen. Denn auf einer Doppelleitung heben sich die Induktionen auf. Nehmen Sie an, auf einer von Westen nach Osten führenden Linie seien an denselben Gestängen eine Einfach- und eine Doppelleitung gespannt. In der Einfachleitung begänne eben ein Stromstoss nach Westen zu fliessen. Dann induziert er in jedem der beiden von ihm gleich weit entfernten Doppelleitungsdrähten eine gleich starke nach Osten gerichtete Spannung. Beide nach Osten drückende Spannungen heben sich in der Schleife auf, besonders wenn die beiden Drähte an den Gestängen öfter ihren Platz miteinander vertauschen. Sie thun es allerdings nicht, sobald ein Draht der Doppelleitung wesentlich besser isoliert ist, als der andere. Dann wird der schlechter isolierte mehr Strom in die Erde verlieren, als der andere. Von seiner Spannung geht mehr verloren. Sie kann der des anderen Drahtes nicht mehr das Gleichgewicht halten. Diese überwiegt, und das in die Doppelleitung eingeschaltete Telephon spricht. Andererseits werden — gleiche Isolation und richtige Leitungsführung vorausgesetzt — die induzierten Spannungen erst recht aufgehoben, wenn die Induktion auch von einer Doppelleitung ausgeht, also dasselbe Gestänge mehrere Drahtpaare

trägt. Je mehr das sind, umso besser wird jede Induktionsstörung ausgeschlossen.

Nehmen Sie nun einmal an, es soll über zwei Apparatsätze gesprochen werden, von dem der eine noch Einfach-, der andere schon Doppelleitung hat (Fig. 298). An den Enden links und rechts liegen die beiden Fernsprecher, der linke dem durch die zwei dicken Punkte bezeichneten Amte näher, als der rechte. Sie sehen beide Mal gestrichelt den Mikrophonkreis, bestehend aus Mikrophon, Mikrophonbatterie und primärer Wicklung der Induktionsspule und ausgezogen den Telephonkreis mit der secundären Wicklung und dem Telephon *T*. Links ist die secundäre Spule unten geerdet, oben führt die Einfachleitung zum Amt. Rechts ist das Gleiche mit der Doppelleitung der Fall.

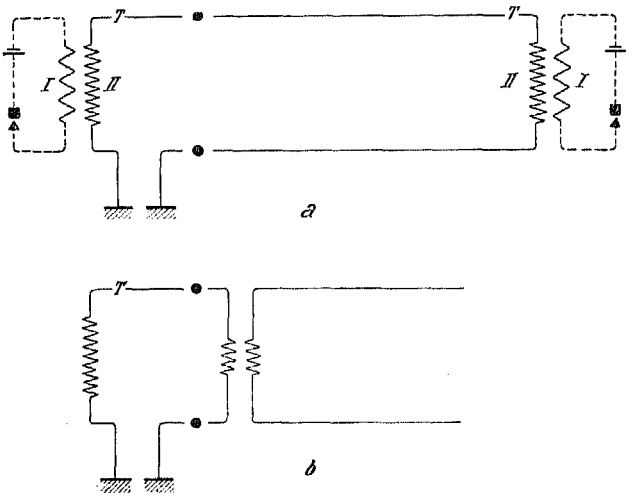


Fig. 298. Verbindung von Doppel- und Einzelleitung.
a. direkt. b. durch Übertrager.

Nun würde der Unbefangene die Verbindung einfach so machen, wie oben (Fig. 298a) gezeichnet. Er würde die Einfachleitung mit einem Zweige der Doppelleitung verbinden und beider andere Klemmen an Erde legen.

Aber die Erfahrung hat gezeigt, dass der Fernsprecherfolg einer solchen Schaltung derselbe ist, als ob nach beiden

Seiten nur Einfachleitung vorhanden wäre. Der Nutzen der Doppelleitung z. B. gegen Induktion von aussen verschwindet. Es ist gerade so, als ob der an Erde gelegte von den beiden Drähten wesentlich schlechter isoliert wäre. Man erhält sich den Vorteil der teilweisen Doppelleitung, indem man beide Telephonkreise nicht zu einem verschmilzt, sondern sie mit einander elektromagnetisch kuppelt, wie es unmittelbar darunter (Fig. 298b) gezeichnet ist. Die eine (rechte) Wicklung eines Transformators mit dem Übersetzungsverhältnis 1 : 1, eines Übertragers, wird an die Doppelleitung, die andere an Erde und die Einfachleitung gelegt. Dann werden die Sprechströme in beiden Richtungen aus einem Telephonkreise in den andern übertragen und der Vorteil der langen Doppelleitung bleibt erhalten. Abgesehen davon gewinnt der Übertrager für Fernleitungen auch deshalb besondere Wichtigkeit, weil er, wie das Relais in der Telegraphie, die gesamte Leitungslänge l in zwei Teile zerlegt. Bei Halbierung von l hat bekanntlich jede Hälfte nur den vierten Teil des früheren CW. Kurz, die Vorteile des Übertragers sind so gross, dass man den mit ihm verknüpften Arbeitsverlust mit in den Kauf nehmen darf.

Gleichzeitig mit der Umwandlung der Einfach- in die Doppelleitung ging und geht in Berlin und anderen Städten der Ersatz der oberirdischen Fernsprechleitungen durch Kabel vor sich. Dieser Ersatz wurde notwendig, als die Zahl der Anschlüsse so ausserordentlich zunahm und besonders in der Gegend der Ämter die Dächer die Last der auf ihnen verspannten Drähte nicht mehr tragen wollten. Die Kabel haben dabei zwei Vorzüge: Sie entziehen den Leiter allen Einflüssen der Witterung. Die atmosphärische Elektricität kann auf ihnen nicht mehr durch Entladungen, die Niederschläge nicht durch die Verschlechterung der hier übrigens sehr vollkommenen Isolation den Betrieb stören. Ferner sind bei Kabeln alle die Folgen ausgeschlossen, die mit dem Reissen eines Oberleitungsdrahtes verknüpft sein können. Dadurch ersparen sie auch die Schutzvorrichtungen, die die Strassenbahn sonst gegen etwa herabfallende Fernsprechdrähte notwendig hat. Das sind dicht unter diesen ausgespannte geerdete Schutznetze. Das sind namentlich jene überaus hässlichen Holzleisten, die dem Fahrdraht auf-

geklemmt werden, und die viel mehr, als dieser allein, die Städte verunzieren. Mittelbar thut das demnach die Fernsprechoberleitung auch. Aber niemand wird ein Städtebild, das die Bahnoberleitung ertragen muss, von den dünnen, meist in luftiger Höhe gespannten Fernsprechdrähten selbst verdorben finden. Ruft doch in ihnen sogar öfters die Sonne prächtige Farbenspiele hervor.

Dafür haben für das Fernsprechen die Kabel gegenüber der Oberleitung einen empfindlichen Nachteil: die grosse Capacität. Sie werden gleich sehen, warum grosse Capacität der Leitung für die Verständigung auf ihr tötlich ist und man für telephonische Fernleitungen von vornherein auf Kabel verzichten muss. Denn bekanntlich ist die Capacität der Länge und das auch hier in Betracht kommende Produkt aus Capacität C und Widerstand W sogar dem Quadrat der Länge proportional. Ferner (s. S. 106) hängt die Capacität eines Condensators, mithin auch eines Kabels von d, der Dielektricitätsconstante der isolierenden Materialien ab. Ein Condensator mit dem Dielektrikum D hat eine d mal so grosse Capacität C_D, als der congruente Luftcondensator:

$$C_D = d \cdot C_L.$$

Soll C_D verkleinert werden, muss man sich demnach an die Grösse von d halten. Die Ihnen bis jetzt als Kabeldielektrika bekannten Stoffe haben ein d von nicht unter Drei.

Die heutigen Fernsprechkabel (Fig. 299) umhüllen deshalb ihre Kupferleiter mit einem Spiralbande aus Manilapapier, ähnlich, wie es für Cigaretten gebraucht wird. Das Papier hat schon $d = 1{,}5$. Das Papier bewahrt allerdings die Leiter vor gegenseitiger Berührung. Es isoliert sie. Aber der grösste Teil des Raumes zwischen ihnen wird von Luft eingenommen. Das eigentliche Dielektrikum des Kabels, als Condensator betrachtet, ist mehr Luft als Papier, und seine Capacität ist demnach so klein, als die eines Kabels nur sein kann. Die Capacität eines Telegraphenkabels wurde pro Kilometer eines Leiters zu 0,25 *MF* angegeben. Für Fernsprechpapierkabel sinkt sie auf etwa 0,06 *MF* herab. Dass sie immer noch sehr viel grösser ist, als die eines ebenfalls mit Luft um-

gebenen Oberleitungsdrahtes, nimmt Sie nicht Wunder. Beim Kabel sind die Entfernungen von einem Leiter zum anderen und bis zur leitenden Umgebung (Mantel) natürlich sehr viel kürzer,

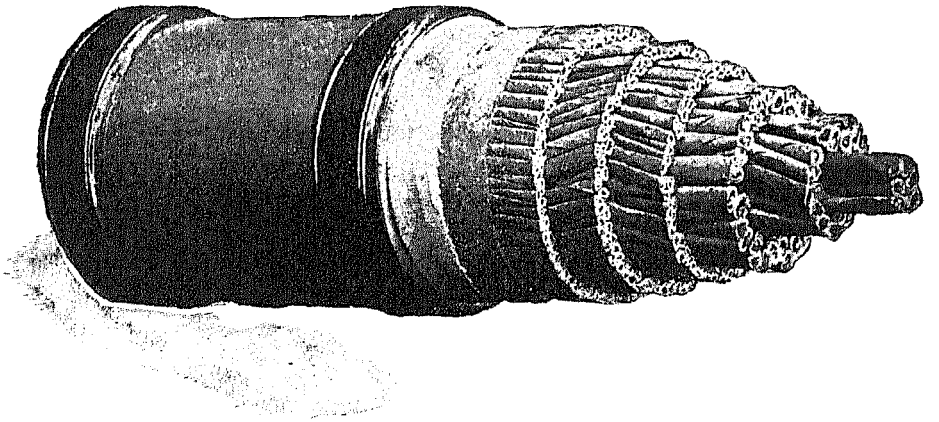


Fig. 299. Papierkabel.

als bei der Oberleitung. Demnach sind die Schichten des Dielektrikums, durch die hindurch bei der Ladung elektrische Kraftlinien gespannt werden, beim Kabel, wie aus dem Querschnitt (Fig. 300) zu ersehen, sehr viel dünner. Die kurzen

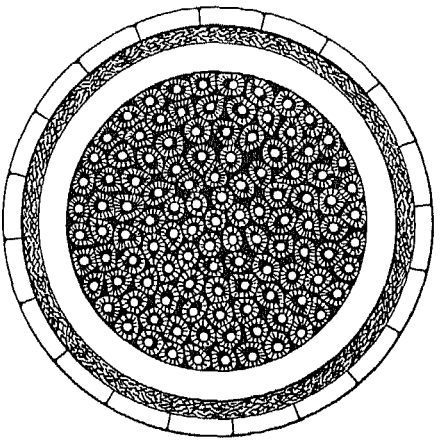


Fig. 300. Papierkabel (Querschnitt).

Kraftlinien werden von der gleichen Batteriespannung entsprechend straffer gespannt, als die langen. Das heisst es werden mehr Coulomb eingeladen.

Die Papieradern werden erst zu Paaren, dann alle miteinander verseilt, wodurch die Aufhebung der gegenseitigen Induktion gesichert und die Zugfestigkeit vermehrt wird. Dann werden sie getrocknet und mit einem Bleimantel umpresst. Die grauen Kabel, die nur noch zu prüfen sind und dann ohne Weiteres in Cementkanäle eingezogen werden können, fordern nach Farbe und Form zu dem vulgären Vergleiche mit überlangen Leberwürsten heraus.

Der Grund, der eine grosse Capacität telephonisch von so sehr viel grösserem Nachteil sein lässt, als telegraphisch, ist einfach genug. Auch jetzt werden die die Nachricht übermittelnden Coulomb, die durch das Kabel bis zu seinem Ende hindurchgehen sollen, unterwegs von seiner Capacität festgehalten. Aber jetzt ist die Störung schlimmer, weil die rasch schwingenden Sprechströme so sehr viel weniger Zeit haben, sich dieser Capacität zu erwehren, sich durch das Kabel hindurchzuarbeiten, als die verhältnismässig langsam verlaufenden Telegraphierströme. Es war deshalb nicht übertrieben, wenn die grosse Capacität einer Fernsprechleitung für die Verständigung auf ihr tötlich genannt wurde.

Hier das Diagramm (Fig. 301) giebt mit seiner unteren Kurve an, wieviel bei einer Versuchsreihe von einem jedesmal

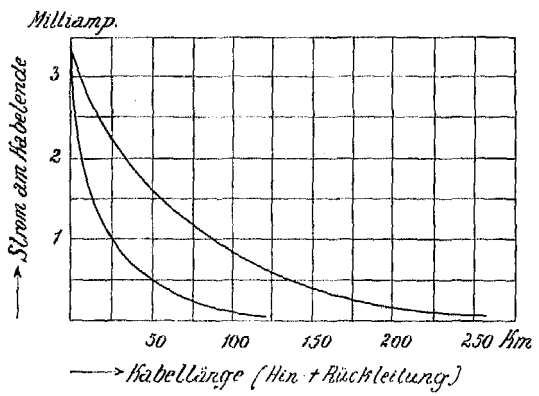


Fig. 301. Die Amplitude eines Wechselstromes auf dem Wege durch ein Papierkabel mit und ohne Pupinspulen. Nach Dolezalek und Ebeling.

am Kabelanfang gleichen Wechselstrom für verschiedene Längen eines Papierkabels bis zum Ende durchgekommen ist. Der Strom hat die Periodenzahl 400, entspricht also einem etwas tieferen Tone, als das Kammer-*a*. Die Kurve zeigt, dass der Strom schon nach 10 km der im selben Kabel verlaufenden Hin- plus Rückleitung auf die Hälfte, nach 30 km auf den vierten Teil gesunken ist. Nun war schon davon die Rede, dass bei der grossen Empfindlichkeit der Telephone die Abnahme der Stromamplitude an sich nicht so viel bedeutet, wenn nur die Ströme verschiedener Periodenzahlen gleichmässig geschwächt werden. Überlegen Sie, ob das wohl der Fall sein kann. Das Produkt CW, Capacität mal Widerstand, einer Leitung lernten Sie als Maass für die erreichbare Telegraphiergeschwindigkeit kennen. Schneller gegebene Zeichen kommen mit so stark verkleinerter Amplitude an, dass sie nicht mehr entziffert werden können. In derselben Leitung werden mithin Berg und Tal der Telegraphierwelle umso mehr abgeflacht, je schneller sie verläuft, je kleiner ihr T, je grösser ihr n ist. Ins Telephonische übersetzt, heisst das:

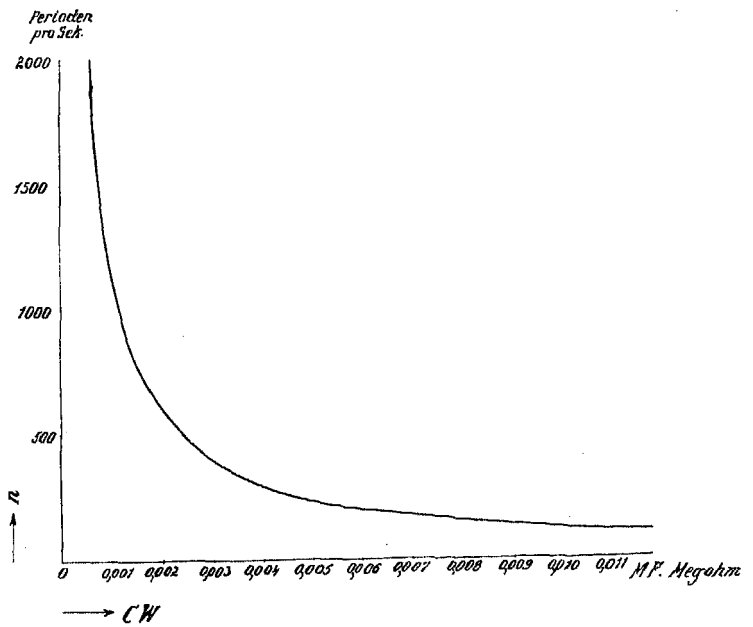


Fig. 302. Halbierendes CW in Abhängigkeit von der Schwingungszahl n.

Ähnlich, wie durch den Hauteffekt des Eisendrahtes, werden durch die Capacität aller Leiter die Sprechströme höherer Periodenzahlen stärker geschwächt, als die niedriger. Die hohen Töne kommen nicht so weit durch das Kabel hindurch, als die tiefen, und zwar steigt der Unterschied mit dem CW des Kabels. Diese Kurve (Fig. 302) giebt bei einem bestimmten Kabel für verschiedene Periodenzahlen n die Werte des Produktes CW an, die ausreichen, um die Amplitude der Sprechströme auf die Hälfte zu verkleinern. Sie sind gewiss über die Kleinheit der Werte von CW verwundert, die hier in Frage kommen. In der Telegraphie wurden galvanometrische Empfänger nötig, als das Produkt CW (MF. Megohm) anfing, nach ganzen Zahlen zu rechnen. Hier handelt es sich nur um Tausendstel. Der Sprechstrom der Periodenzahl 100 wird bei $CW = 0{,}0118$, der für 1000 bei 0,00118 und der für 2000 gar schon bei 0,0006 MF. Megohm halbiert. Man kann sich vorstellen, dass der Stärkenunterschied der verschiedenen Tonlagen schon bei einem ausserordentlich kleinen Werte von CW — als Erfahrungszahl wird dafür 0,015 angegeben — nicht mehr erträglich ist. Oberhalb 0,012 wird die Sprache so verzerrt wiedergegeben, dass die Verständigung aufhört.

Bis vor kurzem war man dagegen machtlos. Ausser der Verwendung der Luft-isolierten Kabel zur Verminderung der Capacität blieb nur das Mittel, längere Telephonleitungen oberirdisch zu führen. Mehr und mehr brach sich aber der Gedanke Bahn und bekam durch Professor Pupin von der Columbia-Universität in NewYork scharfen theoretischen Ausdruck, wie in der Telegraphie, so auch hier die schädliche Capacität durch künstliche Selbstinduktion zu bekämpfen. Sie erinnern sich des in den Primärkreis des Ruhmkorff eingeschalteten Condensators, der den Selbstinduktionsstoss beim Öffnen in sich aufnimmt, den beim Schliessen durch die aufgespeicherte Ladung bricht. (Vgl. S. 79 Fussnote.) Sie erinnern sich ferner, wie den Telegraphenkabeln, an die Enden oder auch unterwegs Inductanzrollen angelegt werden, deren Selbstinduktion auf die Kabelcapacität abgestimmt ist. Ebenso kann man in der Telephonie aus der Selbstinduktion den grössten Nutzen ziehen, wenn man die sie tragenden Spulen unterwegs der Kabelseele einfügt. Für den Erfolg ist es dabei notwendig, die über die ganze Kabellänge

einheitlich verteilte Capacität mit ebenfalls möglichst verteilter Selbstinduktion zu bekämpfen.[1]) So erhielt bei einem Versuche auf der Strecke Berlin—Potsdam das Kabel die Pupinspulen bei jeder zweiten Muffe[2]), das heisst in einer Entfernung von

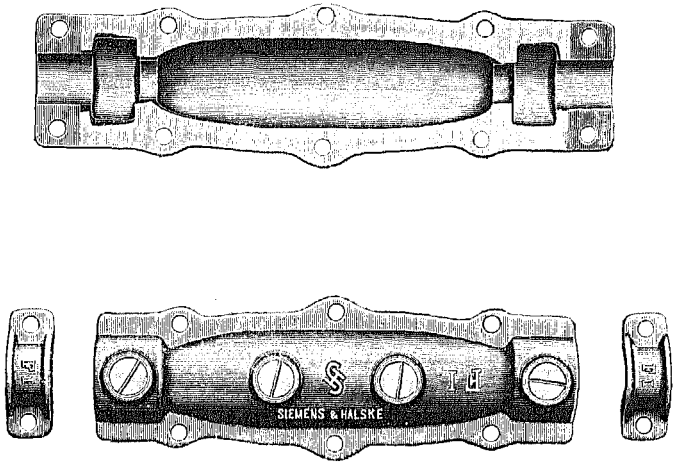


Fig. 303. Kabelmuffe.

jedes Mal 1300 m angelegt. Hier die Abbildung (Fig. 304) zeigt, wie vierzehn Doppeladern des Kabels durch die Muffe heraustreten und vierzehn Doppelspulen in sich eingeschaltet enthalten. Die Fernsprechleistung der Kabelseele wird dadurch etwa auf die einer Oberleitung von vierfachem Querschnitt, also ausserordentlich erhöht. In dem früheren Diagramm (Fig. 301) giebt die obere Kurve die Grösse der Stromamplitude für verschiedene Längen des jetzt mit Pupinspulen ausgerüsteten Kabels an. Die Schwächung ist wesentlich verringert. Die halbe Stromstärke wird erst bei 45 km, der vierte Teil erst bei 90 km erreicht. Die Pupinspulen vergrössern wesentlich die Kabellängen, über die gesprochen werden kann. Sie kommen

[1]) Eine wissenschaftlichere Erklärung ist u. a. in der zusammenfassenden Darstellung enthalten, welche L. Rellstab über die Pupinschen und die sich an sie anschliessenden Arbeiten (wie die von Breisig und Dolezalek und Ebeling) in der Physikalischen Zeitschrift IV, S. 217, 1902 veröffentlicht hat.

[2]) Kabelmuffen (Fig. 303) dienen zum Aneinanderfügen der Fabrikationslängen oder, entsprechend gebaut, zur Verzweigung der Kabel.

auch wohl für Oberleitungen (Fig. 305) in Frage, bei denen sie die Verständigung verbessern oder Leitungsmaterial ersparen.

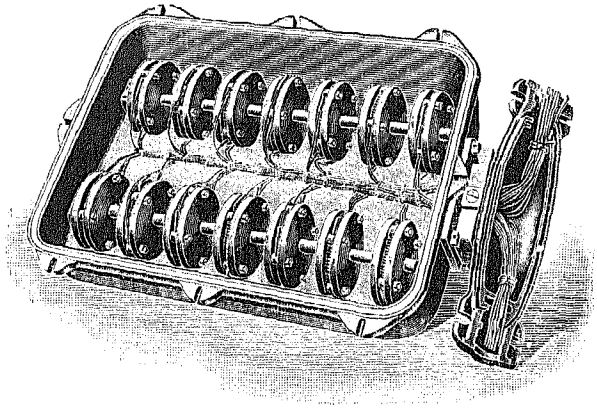


Fig. 304. Pupinspulen. Nach Dolezalek und Ebeling.

Aber ihre Hauptbedeutung behalten sie für Kabel, und es ist zu hoffen, dass sich mit ihrer Hilfe eine Unterseetelephonie über weite Entfernungen ermöglichen lassen wird.

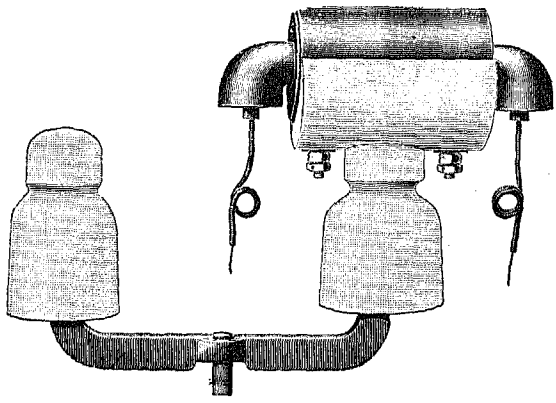


Fig. 305. Pupinspule für Oberleitung. Nach Dolezalek und Ebeling.

22. Vorlesung.

Die Fernsprechgehäuse und die in ihnen vereinigten Apparate.

Technische Formen von Telephon und Mikrophon.

Die Hilfsapparate zu Sicherung, Anruf und Umschaltung.

Wichtige Gehäuseformen und ihr Stromlauf. — Der Automat.

Lassen Sie uns heute zuerst die verschiedenen Formen von Telephon und Mikrophon betrachten, wie sie jetzt die Technik baut. Sie haben schon bemerkt, dass der zuerst verwandte leichte Stabmagnet des Telephons — übrigens nach Werner Siemens' Vorschlage — einem kräftigen Hufeisenmagnet Platz gemacht hat. Es leuchtet ein, dass der an sich stärkere Magnet überdies umso mehr Kraftlinien erzeugen wird, als diese nur über eine zweimalige sehr kleine Luftbrücke zu gehen haben und dadurch der magnetische Widerstand gegen früher stark verkleinert ist.

Das Telephon (Fig. 285 auf S. 436), das neulich bei dem Dreiklang-Versuch in Benutzung war, ist das alte Muster der Reichspost, das vor kaum fünfundzwanzig Jahren — damals übrigens ebenso, wie als Empfänger, auch als Geber dienend — unserm überraschten[1]) Ohr das erste Ferngespräch vermittelte.

[1]) Unsere schnelllebige Zeit weiss freilich jetzt, wo sich in Berlin W. schon die Schuljungen über die Resultate ihrer Hausaufgaben telephonisch verständigen, nichts mehr von jener Überraschung. Ich möchte Ihnen deshalb einen Bericht vorlesen, den Heinrich Stephan am 9. November 1877 über das damals neue Telephon an den Fürsten Bismarck gerichtet hat. Die Reichskanzlei hat die Güte gehabt, mir die Quelle dafür mitzuteilen.

Mit der höflichen Einleitung: „Ew. Durchlaucht ist bekannt" setzt Stephan dem Fürsten Bismarck einige elektrische Grundthatsachen auseinander und fährt dann fort: . . . . . und gegenwärtig haben diese Forschungsergebnisse im Verein mit den schon länger bekannten Lehrsätzen der Akustik zu der Erfindung des Telephons geführt, welcher nach meiner Überzeugung noch eine grosse Zukunft im Bereich des menschlichen Verkehrs bevorsteht. . . . . In der letzten Woche des Oktober begannen

Der grosse Magnet macht das Instrument ungefähr ein Kilogramm schwer. Dazu muss man beim Gebrauch die haltende Hand bis in die Höhe des Ohres heben, so dass einem bald der Arm lahm wird. Die Engländer zum Beispiel haben sich damit begnügt, einen leichteren Hufeisenmagneten zu verwenden (Fig. 305). Die Hand muss man beim Hören mit ihrem Telephon noch bis zur Höhe des Ohres aufheben.

---

hier die Versuche, zuerst zwischen meinem Centralbureau in der Leipziger Strasse und dem General-Telegraphenamt in der Französischen Strasse. Da dieselben durchaus befriedigend ausfielen, so wurde ein Beamter mit dem Instrument zunächst zum Postamt in Schöneberg gesendet, und da sich auch mit Schöneberg sofortige und vollkommene mündliche Verständigung ergab, so erfolgte noch an demselben Tage die Entsendung nach Potsdam. Auch mit Potsdam war die Verständigung vollkommen. Männer, Frauen, Kinder, welche wir sprechen liessen, verstanden sofort und beantworteten die gegenseitigen Fragen. Gesungene Lieder, gespielte Instrumente wurden deutlich vernommen, und Bekannte und Verwandte erkannten sich an dem individuellen Charakter der Stimme.

Am nächsten Tage wurden Beamte und Instrumente nach Brandenburg an der Havel entsendet. Auch an diesem Ort (61,3 km) war die Verständigung mit Berlin noch möglich, obwohl die Stimme etwas forciert werden musste. Der Versuch mit Magdeburg ergab noch Töne, aber keine Laute mehr, folglich keine Verständigung. Dies beweist indes nicht, dass die Verwendung der Erfindung auch für weitere Entfernungen ausgeschlossen sei, da dieselbe noch in der Kindheit liegt, und man jedenfalls sehr bald potentere Instrumente wird herstellen können. Das jetzige gleicht an Form und Grösse etwa einem mittelgrossen Fliegenschwamm. (Die Versuchsapparate hatten sehr grosse Schallbecher und -platten.) An den Stiel fasst man an, und spricht da, wo die rote Fläche ist, und ebendaselbst hört man auch. Es ist kaum etwas Einfacheres zu denken.

Wir haben sofort die praktische Verwendung ausgeführt: seit einigen Tagen ist zwischen dem General-Telegraphenamtsdirektor und mir ein Telephon in dienstlichem Gebrauch. Wir verkehren mittelst desselben mündlich unmittelbar von der Leipziger bis zur Französischen Strasse auf einer 2 km langen Drahtleitung, machen unsere Rücksprachen auf diese Weise ab, und ersparen Akten, Sekretäre und Kanzleidiener.

Weiter ist die Absicht, Telephone auf allen denjenigen Postorten aufzustellen, an welchen sich noch keine Telegraphen-Anstalten befinden, um von dort die aufgegebenen Depeschen an die nächste Telegraphenstation hinüberrufen zu lassen, während bisher stets ein Bote gesehickt werden musste. Wenn diese Maassregel, welche schon in den nächsten Tagen um Berlin und um Potsdam ins Werk gesetzt werden soll, gelingt, dann würden wir, da die Kosten sehr gering sind, die Zahl der Reichs-Telegraphenämter ganz erheblich vermehren können.

Bei dem Interesse, welches die Erfindung für das Verkehrswesen des Reiches darbietet, möchte es vielleicht genehm sein, mir zu gestatten, einen Beamten mit dem Instrument nach Varzin zu entsenden, um in Ew. Durchlaucht Gegenwart Proben seiner Leistungsfähigkeit abzulegen. . . . . Stephan.

Bei uns hat man auch immer leichtere Hufeisenmagnete gebaut und ausserdem die Polschuhe im rechten Winkel gebogen (Fig. 306 und 307). Die Kraftlinien werden dadurch um die Ecke geführt und die Schallplatte steht zu den Magnetschenkeln

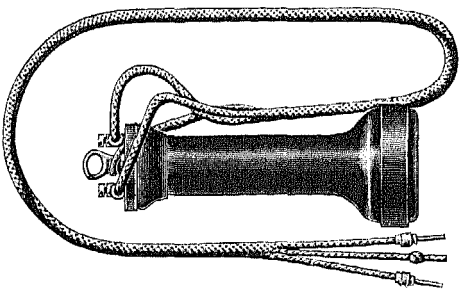
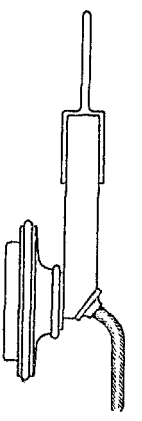


Fig. 305. Englisches Telephon. Nach Crotch.

nicht mehr senkrecht, sondern läuft ihnen parallel. Die Hand hält mithin diese Schenkel der Ohrmuschel parallel, und von der Höhe, bis zu der man sie aufheben muss, geht fast die ganze Länge des Magneten ab, ähnlich wie man neuerdings den Operngläsern der Damen zum leichteren Halten einen vertikalen Stiel angeschraubt hat.



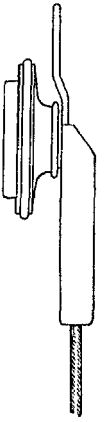


Fig. 306. Fig. 307.
Ältere deutsche Telephone (hängend).

Die Leiter, auf denen den Telephonen Strom zugeführt wird, pflegen als Leitungsschnüre ausgebildet zu werden. Das heisst, sie enthalten, um die Beweglichkeit des Telephons nicht zu beengen, noch unter den Bewegungen selbst zu leiden, nicht massiven Kupferdraht, sondern Litze aus schmalem und dünn ausgewalztem Kupferband, s. g. Lahn. Diese Lahnlitze wird mit Baumwolle erst umsponnen und dann zweimal umklöppelt. Bei dem neueren unserer Postmodelle (aus dem Jahre 1893, Fig. 307) tritt dazu die Leitungsschnur nicht wie früher oben, sondern schon unten beim Magnetjoche in die Schutzhülse des

Telephons ein und hängt deshalb beim Hören direkt herunter, ohne Knick und ohne zu stören. Auch ist der Aufhängehaken dem Telephon oben angeschraubt, damit man es so, wie es während der Nichtbenutzung hängt (Fig. 307), ohne es erst umzudrehen, ans Ohr halten kann.

Das Telephon von d'Arsonval (Fig. 308) verdankt seinen eigenartigen Bau dem Bestreben, die Kraftlinien über einen grösseren Teil der Schallplatte möglichst gleichmässig zu verteilen. Denn, wenn die ganze Platte magnetisch in Schwingungen versetzt wird, ist die Tonerzeugung natürlich vollkommener, als wenn dabei aktiv nur ein beschränkter Bezirk beteiligt ist. D'Arsonval kommt dem Ideal einer gleichmässigen Magnetisierung der ganzen Schallplatte dadurch nahe, dass er den einen der beiden Polschuhe unter ihre Mitte setzt und ihn von dem anderen, der zum ringförmigen Mantel ausgebildet ist, umgeben lässt. Das ist durch Verwendung eines hinkenden Elektromagneten ermöglicht. Nur der Polschuh in der Mitte trägt eine Spule, der andere (in Fig. 308 im Schnitt gezeichnet) — selbst ohne Spule — umgiebt sie eben concentrisch. Der zum kräftigen Ring ausgebildete Dauermagnet dient der Hand zum Halten.

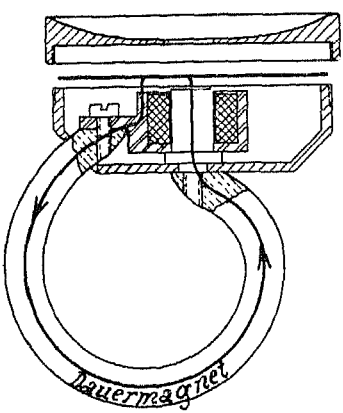


Fig. 308.
D'Arsonvalsches Telephon.

Es bleibt uns noch die Besprechung der Kapseltelephone, von denen Sie das von Gower hier im Lichtbilde (Fig. 309) vor sich sehen. Äusserlich fällt am meisten an ihm auf, dass der Schalltrichter durch einen langen, als Hörrohr dienenden elastischen Schlauch ersetzt ist. Nur dessen Ende, nicht das Telephon selbst, wird ans Ohr gehalten. Sodann ist das Telephon sehr viel kleiner, als die Ihnen bis jetzt hier gezeigten. Der Magnet ist zu einem schmächtigen, steigbügelartigen Halbring zusammengeschrumpft, sodass er in eine kleine Messingkapsel hineinpasst. Wenn ein solches Kapseltelephon, wie es thatsächlich der Fall ist, befriedigend arbeitet, muss das Bedürfnis

nach jenen mächtigen, zugleich schweren, umfangreichen und teuren Magneten nicht dringend sein. Man kommt mit kleinen, kräftigen Magneten telephonisch ebenfalls aus.

Deshalb hat auch die Reichspost ein Kapseltelephon angenommen (Fig. 310 auf Tafel III). Es wiegt nur 455 g. Wenn man dem den Holzring vorn, der wie üblich gleich zum Schalltrichter ausgearbeitet ist, abschraubt und die Schallplatte fortnimmt, so sieht man (Fig. 310b) auf dem Boden der Kapsel zwei Halbringmagnete von der Art des Gowerschen befestigt. Natürlich sind sie so eingesetzt, dass die benachbarten Pole magnetisch gleiches Vorzeichen haben. Im anderen Falle würden die Kraftlinien von einem Pol zum anderen hinübergezogen (vgl. Fig. 39 auf S. 56) und geradezu aus den Polschuhen, in die sie hineingehören, abgesaugt werden. Jetzt hingegen sträuben sich — rechts sowohl wie links — die übereinander befestigten gleichnamigen Pole gegen die aus dem Nachbarn austretenden Kraftlinien. Auf jeder Seite drücken sich beide Bündel gegenseitig in die verlangte Bahn: durch Polschuhe und Schallplatte (Figur 310d).

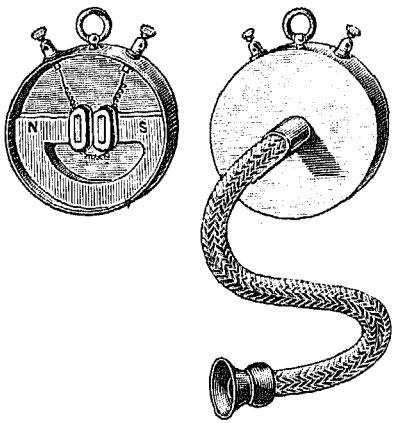


Fig. 309. Gowersches Kapseltelephon. Nach Wietlisbach.

Dass die Polschuhe hier, wie an den übrigen Posttelephonen, breit ausgebildet sind, hat den Ihnen von dem d'Arsonvalschen her bekannten Zweck einer gleichmässigen Magnetisierung eines grösseren Teiles der Schallplatte. Die Kraftlinien verteilen sich so über ein abgerundetes Rechteck von etwa 17 mm . 12 mm Inhalt. Wenn das auch etwa nur der zehnte Teil der Schallplatte ist, so liegt es doch in ihrem für die Schwingungen hauptsächlich in Betracht kommenden mittleren Teile. Denn je mehr man sich dem festgeklemmten und folglich einen Schwingungsknoten bildenden Rande nähert, umsoweniger können sich die Plattenpunkte bei der Schwingung aus ihrer Ruhelage entfernen. Natürlich sind die Polschuhe aus magnetisch

weichem Eisen gemacht und gewöhnlich unterteilt. Da die Wirbelströme den Spulenwindungen parallel laufen, ist die Unterteilung so weit, als auf einfache Weise möglich, zu diesen senkrecht zu machen. Daher diese zinken- oder kammartigen Polschuhe. Deren Breite erlaubt auch nicht, kreisrunde Spulen zu verwenden, sondern zwingt zu elliptischer Form, trotzdem so die gleiche Windungszahl einen längeren Draht verlangt, also sowohl mit einer grösseren Ausgabe, wie einer Widerstandserhöhung verknüpft ist.

Zur Handhabung ist dem Kapseltelephon ein Holzgriff angeschraubt, der in sich gleich die Leitungsschnüre (aber natürlich kein magnetisches Material) enthält. Der lange Griff bringt die schon bei beiden früheren Telephonen der Reichspost angedeutete Löffelform fast noch mehr zum Ausdruck, und man muss dem volkstümlichen Namen Horchlöffel zugestehen, dass er Verwendungszweck und Form treffend bezeichnet. Nebenbei sei noch bemerkt, dass die Telephone gewöhnlich eine einfache Einrichtung erhalten, um durch Drehen einer Schraube (in den Fig. 285 und 310c sichtbar) die Grösse der Luftbrücke zwischen Schallplatte und Polschuhe nach Wunsch zu verändern. Dadurch können sie auf grössere oder geringere Empfindlichkeit eingestellt werden.

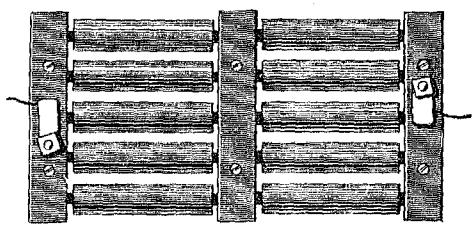
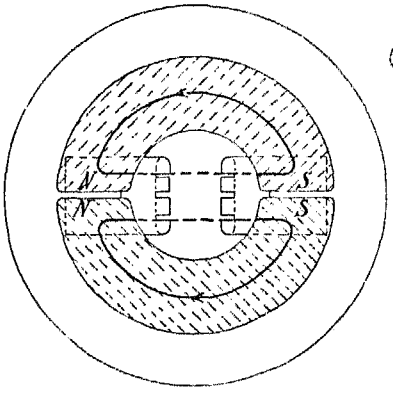
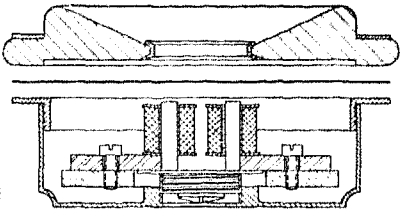


Fig. 311. Französisches Walzenmikrophon. Nach Montillot.

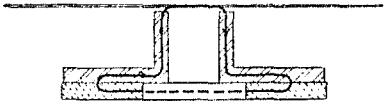
Von den Telephonen wenden wir uns nun zu den Mikrophonen, wie sie die fortschreitende Technik weiter entwickelt hat. Die französischen (Fig. 311) und das des englischen Post Office (Fig. 312) sind Walzenmikrophone, wie das früher bei der Reichspost gebräuchliche. Nur ist die Vermehrung der Contakte weiter getrieben.

Tafel III.

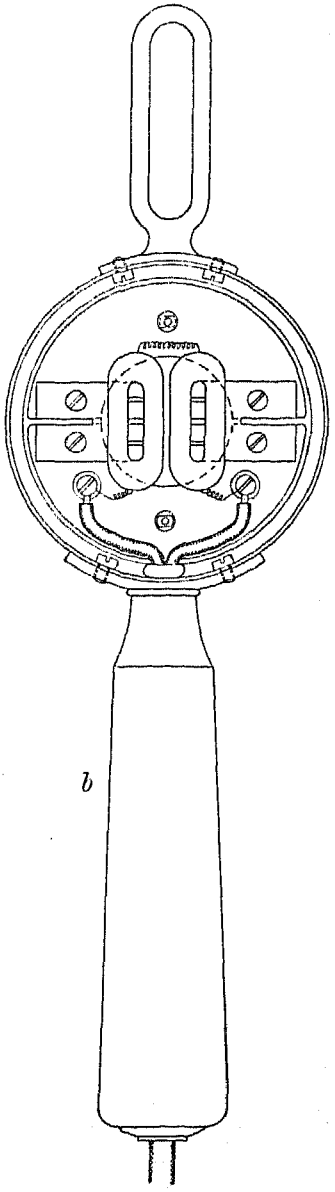




c



d



b

a

Fig. 310.
Heutiges Kapseltelephon der Reichspost.

a. Ansicht.
b. Ansicht nach Fortnahme von Schalltrichter und -platte.
c. Querschnitt durch die Kapsel.
d. Weg einer mittleren Kraftlinie.

Mit einer solchen Vermehrung der Contaktanzahl wird, wie Sie erfahren haben, die auf den einzelnen Contakt entfallende, in Schwingung zu setzende Masse vermindert. Beides: Vermehrung der Contaktanzahl und Verkleinerung der Masse des einzelnen Contaktmachers führt in ihrer äussersten noch

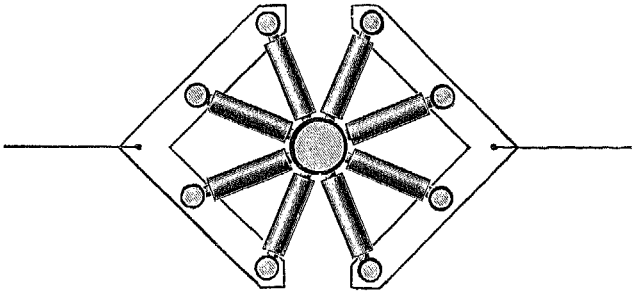


Fig. 312. Englisches Walzenmikrophon. Nach Crotch.

technisch möglichen Grenze — Kohlepulver ist kein brauchbares mikrophonisches Material mehr — zur Verwendung von Kohlenkörnern etwa von Stecknadelkopfgrösse. Die kleine Masse des contaktändernden Kornes und die ausserordentlich grosse Zahl der sich ändernden Contakte verbürgt eine sehr viel gründlichere Aufnahme auch zarter Feinheiten der Schallschwingungen, als bei den im Vergleiche recht plumpen Kohlenwalzen, sodass die Überlegenheit der Körnermikrophone ganz natürlich erscheint.

Schon bei den Walzenmikrophonen zeigte sich die Notwendigkeit, die einzelnen Contaktmacher durch einen leichten Druck in eine solche gegenseitige Lage zu bringen, dass die Schwingungen des Schalles sie nicht in regelloses Geklapper, sondern in regelmässige Schwingungen versetzen. Einer solchen Dämpfung, die ihnen den elastischen Halt in sich giebt, bedürfen die Kohlenkörner natürlich in verstärktem Maasse, ganz abgesehen davon, dass man sie zum Einbau in das Mikrophon irgendwie zusammenfassen muss. Man schüttet die Körner deshalb zwischen zwei Platten aus Kohle. So entsteht der wichtigste Teil der Körnermikrophone, die Contaktkammer. Die beiden Kohlenplatten pflegt man verschieden stark zu machen. Die dem Schallbecher zugekehrte äussere wird der Schallplatte aufgeklebt

oder selbst als solche ausgebildet. In beiden Fällen muss sie dünner, als 1 mm sein. Die hintere, innere Kohlenplatte wird schon aus Gründen der Festigkeit stärker gehalten, sodass sie weniger, als eine Kohlenplatte, einen Kohlenkörper oder einen

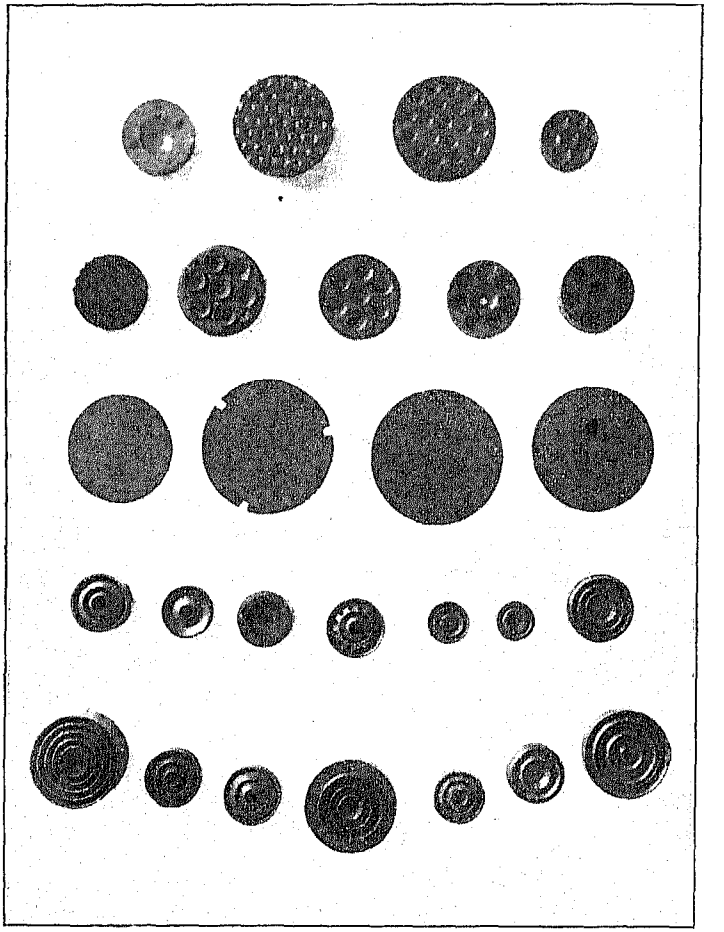


Fig. 313. Schwedische Mikrophonkohlen.

Kohlenklotz vorstellt. Die erwähnte schwedische Sammlung (Fig. 313) zeigt in der Mitte vier Kohlenschallplatten und darüber und darunter die dicken Kohlenkörper. Sie sehen, wie verschiedene Grössen und Formen die im Wettbewerb stehenden

Körnermikrophone für ihre Kohlenkörper gebildet haben. Manche von ihnen sehen dabei beinahe aus, wie die Holzformen, mit denen die Kinder in Sand backen. So starke Riefeln sind in sie eingearbeitet. Gleichgiltig, ob am fertig montierten Mikrophon die Contaktkammer horizontal oder vertikal liegt, die Riefeln

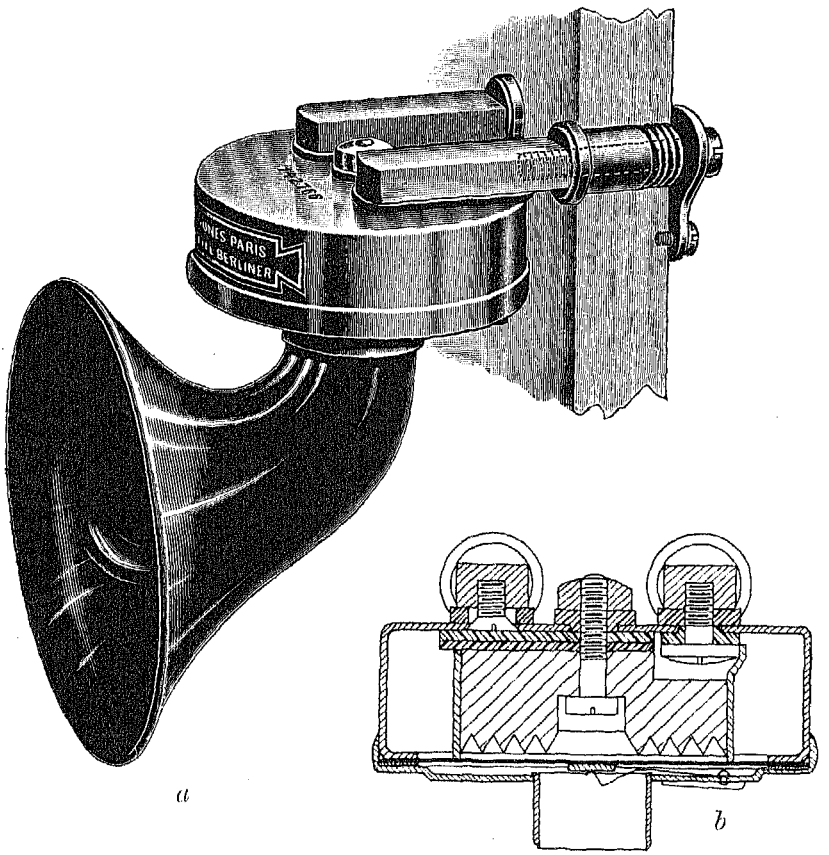


Fig. 314. Berlinersches Mikrophon.

a. Ansicht: Kapsel mit Schalltrichter und Schienen, die zugleich der Stromzuführung und der Befestigung dienen.

b. Schnitt: Die Kapsel hält unten zwischen sich und Deckel die schwarz gezeichnete Kohlenschallplatte. Über ihr der Kohlenklotz (vgl. den Eckklotz links unten in Fig. 313). Seine concentrischen Riefeln erscheinen im Schnitt als Zahnlücken. Die dort liegenden Kohlenkörner sind nicht gezeichnet. Die Schallplatte liegt elektrisch über die Kapsel an der linken Schiene, der Klotz an der von der Kapsel isolierten rechten.

befinden sich auf der inneren-, der Körnerseite des Kohlenkörpers. Ihr Zweck ist, sowohl die Contaktoberfläche zu vergrössern, als vor allem den Körnern Halt zu geben. Nun muss der Raum der Contaktkammer rundum nach aussen abgeschlossen werden. Das geschieht durch eine zylindrische Wand aus isolierendem, auf der Kohle festzuklebenden elastischen und strapezierfähigen Materiale, wie Filz, Woll- oder Seidenstoff. Natürlich engt schon diese Wand die Schwingungen der — fast wie ein Herz — durch ihr ganzes Inneres pulsierenden Kammern ein. Die Dämpfung wird noch durch einen leichten Druck auf die dünnere Kohlenplatte vervollständigt, sei es, dass der von einer innen mit einem Wattepfropf ausgefüllten kleinen Spiralfeder (Siemens & Halske) oder von einer auf ein aufgeklebtes Filzscheibchen drückenden Blattfeder (Berliner) ausgeübt wird.

Eine Untugend pflegen die Kohlenkörner zu haben. Nach längerem Gebrauch, in Folge sei es aus der Luft angezogenen Wassers, sei es der Stromwärme, backen sie leicht zusammen, und ihre Sprechfähigkeit lässt nach. Dagegen hilft öftere Erschütterung. Bei einigen Konstruktionen ist deshalb die Contaktkammer rund herum oder innerhalb zweier Anschläge drehbar. Durch die leichte Erschütterung beim Drehen und die veränderte Einwirkung der Schwere lösen sich die zusammengebackenen Körner von einander, und der ursprüngliche befriedigende Zustand ist wieder hergestellt.

Prinzipiell sind die verschiedenen Körnermikrophone ähnlich gebaut. Hier (Fig. 314) ist nur das Berlinersche gezeichnet. Es wird Ihnen leicht sein, sich über die beiden wichtigsten anderen Fabrikate (Mix & Genest, Siemens & Halske) aus anderer Quelle zu unterrichten.

Jetzt sind Sie nun über die Fernsprechapparate aufgeklärt, soweit sie für die vorläufige Schaltung von früher (Fig. 297 auf S. 461) notwendig sind. Aber ein praktischer Betrieb zwischen zwei mit einander verbundenen Fernsprechanschlüssen erfordert ausser Mikrophon, Induktionsrolle und Telephon noch eine Reihe von **Hilfsapparaten,** von deren Bedeutung Ähnliches gilt, wie bei denen der Telegraphie. Zunächst handelt es sich um Sicherung und Anruf.

Die Sicherungsapparate hat die Reichspost, um jeden Rest von Gefahr zu vermeiden, aus den Gehäusen entfernt und, in einem Kästchen (Fig. 315 auf Tafel IV) vereinigt, in der Nähe der Leitungseinführung angebracht. Das Kästchen enthält gemeinsam Blitzableiter und zwei Sicherungen gegen Fremdstrom, und zwar schützt die Grobsicherung gegen Stromstärken von mindestens 4 bis 7 Ampere, wie sie etwa ein gerissener und auf die Bahnleitung gefallener Draht führt, die Feinsicherung gegen einen wesentlich kleineren Strom, der erst bei längerem Fliessen den Fernsprechapparaten gefährlich werden würde, den s. g. Schleichstrom. Die Feinsicherung geht bei etwa 1/4 Ampere durch.

Zuerst muss jede Fernsprechleitung, ehe sie in das Apparatgehäuse eintritt, einen Blitzableiter durchlaufen, der etwaige atmosphärische Ladungen zur Erde schickt und dadurch das Gehäuse und den etwa an ihm beschäftigten Menschen vor Schaden bewahrt. Was das letztere anbetrifft, so ist es bei uns üblich, bei Gewitter, ja schon bei Gewitterneigung den Fernsprechbetrieb einzustellen, während das durchaus nicht überall geschieht, ohne dass sich dadurch Unglücksfälle ereignen. Noch kürzlich schrieb eine bekannte englische Zeitschrift,[1]) dass man es sich kaum vorstellen könnte, was in London werden sollte, wenn man wegen einem bischen Gewitter etwa in den Hauptgeschäftsstunden auf eine halbe Stunde die Fernsprechämter zumachen wollte.

Die telephonischen Blitzableiter beruhen, wie die telegraphischen-, auf der Fähigkeit des Blitzes, vermöge seiner hohen Spannungen zu guten Erdleitungen hin nichtleitende Brücken zu überspringen. Jede zu schützende Leitung — bei Doppelleitung natürlich jeder Draht — führt über ein Prisma aus einer Art Kohle, ganz wie Sie sie für Mikrophonkohlen in der schwedischen Sammlung vereinigt gesehen haben. Dieses Kohlenprisma (Fig. 315d) ist von einem zweiten ähnlichen, nur etwas dünneren durch eine dünne Papierzwischenlage getrennt, und das zweite Prisma liegt gegen eine messingne mit Erde verbundene Schiene. Das dünne Papier reicht wohl aus, einen Sprech- oder Weckstrom mit ihrer verhältnismässig niedrigen Spannung von Erde zu isolieren. Es wird aber von atmo-

[1]) The Electrician. Bd. 55. S. 2. 1905.

sphärischen Entladungen glatt durchschlagen und lässt diese dadurch unschädlich zur Erde abfahren. Die körnige Oberfläche der Kohlenprismen mag noch durch eine kleine Spitzenwirkung das Durchschlagen des Papieres erleichtern.

Die Grobsicherung (Fig. 315a, b und c) besteht aus einem Rheotandraht von etwa 0,3 mm Durchmesser. Rheotan, eine Legierung von Kupfer, Zink und Nickel, ändert, wie das Ihnen bekannte Manganin, seinen hohen spezifischen Widerstand von 0,47 mit der Temperatur so gut, wie gar nicht. In allen Jahreszeiten hat in ihm die gleiche Stromstärke eine gleiche Wärmeentwicklung zur Folge. Gleiche Drähte schmelzen demnach immer bei derselben angegebenen Stromstärke durch. Nun ist trotz dieses Durchschmelzens zu besorgen, dass auf der Brücke des durch die Hitze zum Teil gasförmig gewordenen Drahtmaterials der Starkstrom als s. g. Lichtbogen die künstliche Lücke des Stromkreises überspringt, und dass dadurch das Unheil noch vermehrt wird. Um dieses zu verhindern, ist nur der mittlere Teil des Schmelzdrahtes auf 5 mm frei gelassen. Der Rest der Glasröhre, die das ganze einhüllt, ist mit trockenem Schmirgel gefüllt (in Fig. 315c nicht gezeichnet), und das Übersetzen eines Lichtbogens wird verhindert. Die Enden der Glasröhre sind Kupferkappen, zwischen denen innen der Schmelzdraht ausgespannt ist und die aussen mittelst Klemmfedern leichtes Einsetzen und Herausnehmen der Glasröhre mit Inhalt, der s. g. Grobsicherungspatrone erlauben. Das Ganze ist auf Porzellan montiert.

Die Feinsicherung enthält keinen Schmelzdraht, weil kein solcher von genügender Leitfähigkeit und Haltbarkeit bei Strömen der Grössenordnung hundert Milliampere durchgeht. Deshalb lässt man den Draht, der von dem abzuwehrenden Strome durchflossen wird, nicht selbst schmelzen, sondern die von ihm erzeugte Wärme wirkt auf eine Lötstelle aus Woodschem Metall. Dieses Metall, eine Legierung aus Wismuth, Cadmium, Zinn und Blei, schmilzt schon bei 65 °. Sie erlassen mir, Ihnen den bekannten Versuch zu zeigen, bei dem ein aus Woodschem Metall gegossener Löffel, wenn man ihn in ein Glas heissen Thee taucht, wie Quecksilber zerrinnt. Mit diesem Material als Lot ist eine Art Reissnagel (Fig. 215d und a) innerhalb der Heizspule eingelötet. Eine Feder zieht kräftig an ihm, und

sobald das Lot gehörig erwärmt ist, reisst die Feder den Nagel heraus und der Stromkreis ist unterbrochen. Weil die Wärme aus dem Innern der Patrone schlecht abgeleitet wird, genügen auch noch kleinere Ströme, wenn sie nur längere Zeit andauern, dazu, das Lot aufzutauen und den Kreis zu unterbrechen. Einsetzen einer neuen Patrone stellt den ursprünglichen Zustand unverändert wieder her.

Hiermit können wir das Sicherungskästchen verlassen und uns den zum Anruf dienenden beiden Apparaten, dem Geber und dem Empfänger, zuwenden. Der Empfänger ist beim Teilnehmer stets eine elektrische Klingel, amtlich gesprochen ein Wecker, z. B. nach dem Prinzip des Wagnerschen Hammers, der Ihnen als Unterbrecher des Ruhmkorff bekannt ist. Gestalten Sie das Hammerende zu einem Klöppel um, der bei jeder Schwingung gegen eine Glocke schlägt, so ist der Wecker fertig und der anrufende Teilnehmer hat nur nötig, mit einer Taste den zum Betriebe notwendigen Strom einzuschalten. Um den unvermeidlichen Widerstand der Leitung überwinden zu können, muss aber die speisende Stromquelle schon für den Stadtbetrieb im Durchschnitt eine Klemmenspannung von mindestens 10 bis 15 Volt, für den Fernbetrieb eine höhere haben. Ob man dazu statt Leclanché- oder Trockenelementen Akkumulatoren verwendet, ändert nicht viel, denn immer bleiben die Unzuträglichkeiten, die mit der Verwendung grosser Zellenzahlen verknüpft sind. Abgesehen von Haustelephonen, bei denen nur ein kleiner Leitungswiderstand zu überwinden ist und man demnach mit wenigen Zellen auskommt, ist es nicht zweckmässig, für den Anruf Batterien zu verwenden. Vielmehr erzeugt man den Strom auf mechanischem Wege: durch Induktion. Die dazu notwendige Maschine, der Magnetinduktor, ist zuverlässig billig und nimmt wenig Raum ein. Ausser, dass sie in grossen Zeitabschnitten geölt werden muss, braucht sie keinerlei Wartung, und die zu ihrem Antrieb notwendige Arbeit wird der Post vom Arm des Teilnehmers unentgeltlich geliefert.

Der Magnetinduktor erzeugt, wie Sie gleich sehen sollen, Wechselstrom, und obgleich auch ein gewöhnlicher Wecker, der keinen Dauermagneten enthält, auf Wechselstrom anspricht, thut man besser, einen besonders für Wechselstrom gebauten Wecker zu verwenden.

Einen neuen Wechselstromwecker, von der Firma Schuchardt & Co. in Berlin gebaut, sehen Sie hier (Fig. 316 und 317). Zwischen zwei Glocken einen Klöppel, getragen von

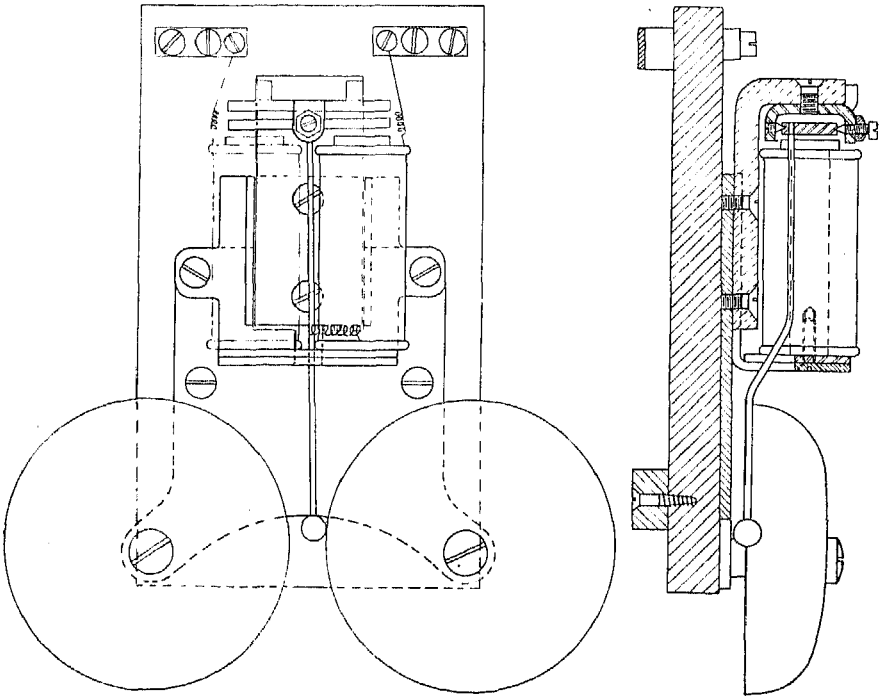
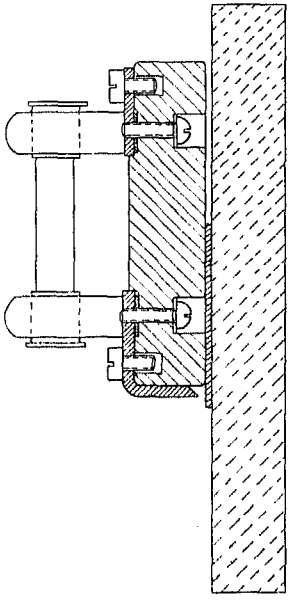


Fig. 316. Wechselstromwecker.

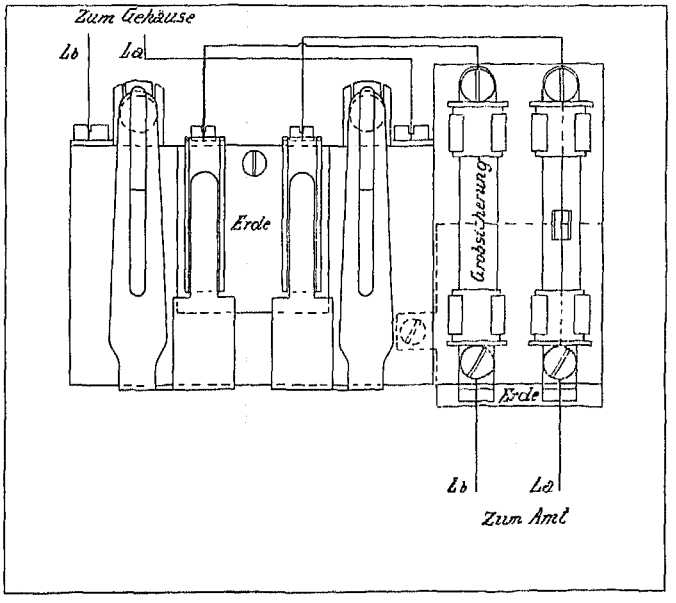
einem Anker, der zwischen zwei Paar Polschuhen von der einen halben Welle des Wechselstromes im Uhrzeigersinne, von der anderen- ihm entgegen gedreht wird. Bei näherer Betrachtung erkennen Sie, wie die beiden Eisenkerne mit den auf ihnen sitzenden Spulen herauf- und herunter geschoben werden können. Dadurch ist es möglich, zwei von den drei Luftbrücken, die die Kraftlinien von Dauermagnet und Spulen durchsetzen müssen, zu verkürzen oder zu verlängern und so den Wecker auf schwächere oder stärkere Wechselströme einzustellen.

Der Magnetinduktor, der den Wechselstrom liefert, erfordert eine ausführlichere Besprechung. Erinnern Sie sich zunächst unseres ersten Induktionsversuches (Fig. 45 auf S. 66). Der taktmässig in die Spule hineingestossene und aus ihr heraus-

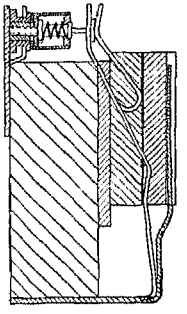
Tafel IV.



b. Grobsicherung.



a. Ansicht von oben.



d. Feinsicherung und Blitzableiter.

c. Grobsicherungspatrone.
(Vom Inhalt nur der Rheotandraht gezeichnet.)

Fig. 315. Sicherungskästchen.

gezogene Magnetstab versetzt den Galvanoskopzeiger in Schwingungen von gleichem Tempo. Eben die Wirkung hatte bei feststehendem Magneten die Hin- und Herbewegung der Spule. Es kommt nur darauf an, dass die Kraftlinien, die den zur Spule gewickelten Leiter schneiden, ihre Anzahl ändern. Die Richtung der in dem Leiter induzierten Elektromotorischen Kraft entspricht dann dem Sinne der Änderung. Ist sie bei Kraftlinienabnahme positiv, wird sie bei Zunahme negativ. Die Grösse der induzierten Spannung ist der Heftigkeit der Kraftlinienänderung proportional. Das sind Ihnen ganz geläufige Dinge.

Die hin- und hergehende Bewegung der Spule oder des Magneten kann nun leicht in eine drehende verändert werden, ohne die Induktionswirkung zu beeinträchtigen. Dies zeigt folgender Versuch, den ich nicht ausführen, sondern nur beschreiben will. Stellen Sie sich einen kräftigen Hufeisenmagneten vor. Seine horizontal liegenden Pole tragen nach innen gegen einander Polschuhe, deren freie innere Fläche kreisförmig ausgedreht ist. Da der Nordpol des Hufeisens oben, der Südpol unten liegt, durchsetzen die Kraftlinien den zwischen den Polschuhen liegenden Luftraum vertikal von oben nach unten. Sie sind dabei einander so gut, wie parallel. In diesem von parallelen Kraftlinien durchsetzten Raume befindet sich ein Bügel aus (1 mm starkem) Kupferdraht, der von einer Kurbel um seine horizontale Achse gedreht werden kann, und dessen Enden — mit Hilfe von Schleifringen und Bürsten — zu einem gedämpften Galvanoskop führen. Dessen Zeiger giebt dann für jeden Augenblick an, erstens, ob in der Windung induziert wird, und zweitens, wenn dies der Fall ist, wie gerichtet und wie gross der induzierte Strom, also bei unverändertem Widerstande des Kreises die induzierte Elektromotorische Kraft ist.

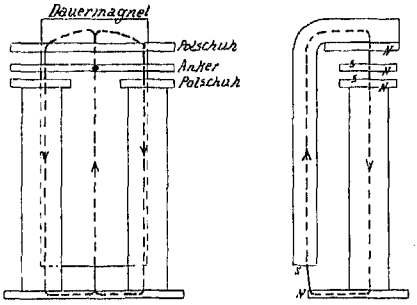


Fig. 317. Wechselstromwecker. Kraftlinienverlauf.

Die Induktion hängt nun davon ab, ob und etwaigen Falles wie die Kraftlinien, die die Ebene der Windung schneiden, ihre

Anzahl ändern. Dieses Lichtbild (Fig. 318) wird die Frage beantworten. Es stellt einen Sehnitt durch die beiden Magnetpole dar. Oben ist der Nordpol N und unten der Südpol S. Der Kreis $A\,B\,C\,D\,A$ ist der Schnitt durch den Cylinder, den die rechteckige Kupferdrahtwindung bei ihrer im Uhrzeigersinne stattfindenden Drehung von A nach B, C und so weiter einschliesst. Die beiden längeren Seiten des Drahtrechteckes stehen dabei senkrecht zur Bildebene, die kürzeren laufen ihr

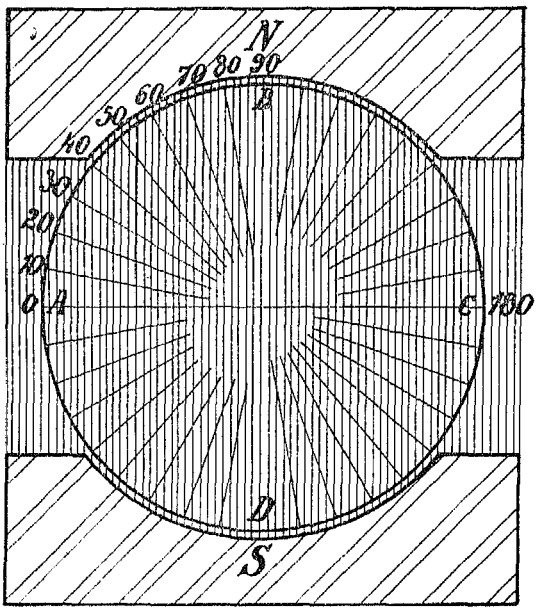


Fig. 318. Drahtwindung im Magnetfelde.

Die Vertikalen zwischen den Polen geben mit ihrer Anzahl die der jeweilig die Windung schneidenden Kraftlinien wieder.

parallel und werden durch die in den Kreis eingezeichneten Durchmesser in ihren verschiedenen, von zehn zu zehn Grad gedrehten Lagen dargestellt. Nun sollen die vertikalen Linien, die in gleichem Abstande vom Nord- zum Südpol gezogen sind, das magnetische Feld wiedergeben. Man kann dann aus der Anzahl vertikaler Linien, die den sich drehenden Kreisdurchmesser in jeder dieser Lagen schneiden, auf die Gesamtzahl der Kraftlinien schliessen, die der Kupferdrahtbügel jedesmal

einschliesst. Nehmen Sie an, eine im Schema den Durchmesser schneidende Millimeterlinie entspricht N thatsächlich die Ebene des Bügels schneidenden Kraftlinien. In der horizontalen Lage A bei 0^0 wird der Durchmesser von 60 Millimeterlinien und damit der Bügel von $60 . N$ Kraftlinien geschnitten. In der vertikalen Lage B bei 90^0 ist der Durchmesser den Millimeterlinien parallel. Er wird überhaupt nicht mehr, oder rechnerisch ausgedrückt, von 0 Linien und der Bügel ebenfalls von 0 geschnitten.[1]) Die Zwischenlagen haben Zwischenwerte. Wenn Sie zählen, finden Sie für die Stellungen von 0 bis 90^0, für das erste Viertel des Kreisbogens folgende Schnittzahlen:

Lage des Durchmessers in ^{0}	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Anzahl der den Durchmesser schneidenden senkrechten Millimeterlinien	60	59 (1)	56,4 (2,6)	52 (4,4)	46 (6)	38,6 (7,4)	30 (8,6)	20,6 (9,4)	10,4 (10,2)	0 (10,4)

Aus ihnen geht hervor, dass die Anzahl der gesamten die Windung durchsetzenden Kraftlinien während der Drehung über das erste Viertel des Kreisbogens stetig von 60 N auf 0 abnimmt. In dem Bügel wird somit eine Elektromotorische Kraft und zwar, nach unserm Abkommen, von positiver Richtung, induziert. Was nun ihre Grösse betrifft, so ist sie der Heftigkeit proportional, mit der sich die Kraftlinienanzahl ändert. Würde sie sich gleichmässig ändern, etwa bei jedem Grade um den gleichen Betrag abnehmen, so wäre die induzierte Elektromotorische Kraft constant, und es flösse bei der Drehung durch Bügel und Galvanoskop ein Gleichstrom. Wie aber die in Klammern angegebenen Zahlen beweisen, ist die Änderung durchaus nicht constant und der induzierte Strom kein Gleichstrom. Vielmehr

[1]) Hier pflegen Anfänger, sei es auch nur durch ihr ungläubiges Gesicht, einzuwenden, dass auch in der Stellung B der Kupferdraht von Kraftlinien geschnitten wird, weil man sich diese doch thatsächlich nicht etwa mit einem Zwischenraum neben einander herlaufend denken darf. Die Zerspaltung eines Kraftfeldes in Kraftlinien findet allerdings nicht in Wirklichkeit, sondern nur zum Zwecke der Betrachtung statt, wie es schon früher (S. 110) für die elektrischen Kraftlinien und die Lichtstrahlen angedeutet wurde. Aber selbst wenn auf die einzelnen Drahtseiten des Bügels Induktionen stattfänden, würden sie sich paarweise wie bei einer Fernsprechdoppelleitung aufheben.

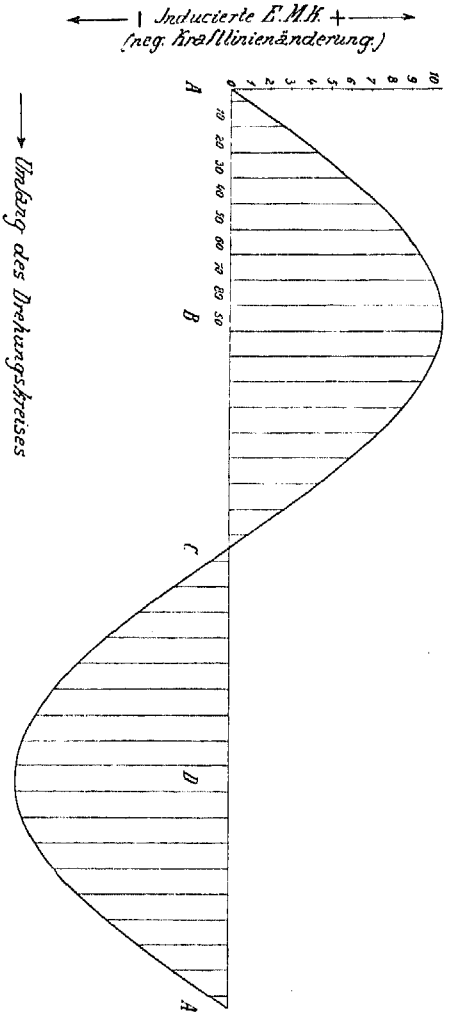


Fig. 319. Zustandekommen einer Wechselstromwelle.

entsteht, wie die Bewegung des Galvanoskopzeigers veranschaulicht, in dem Kupferbügel ein Wechselstrom, der mit einer Umdrehung des Bügels gerade eine Periode zurücklegt.

Lassen Sie uns sehen, wie dieser Wechselstrom zu Stande kommt. Von 0 bis 10 ° beziffert sich die Abnahme der Kraftlinienzahl auf 1 . N Kraftlinien oder anders ausgedrückt: In der Gegend zwischen 0 und 10 °, das heisst im Mittel bei 5 °, bewirkt die Drehung um einen Grad eine Kraftlinienabnahme von

0,1 *N*. Gehen wir weiter. Zwischen 10 und 20 ° — im Mittel bei 15 ° — wird die Abnahme pro Grad zu 0,26 *N*, zwischen 20 und 30 ° zu 0,44 *N* und so fort, bis sie schliesslich zwischen 80 und 90 den Wert 1,04 *N* erreicht. Tragen wir diese Werte in Äbhängigkeit von dem zurückgelegten Viertel Kreisumfange graphisch auf (Fig. 319), so entsteht eine Viertelwelle. Von 0 bis 90 ° nimmt die induzierte Spannung wellenförmig von Null bis zu einem Höchstwerte zu.

Dreht sich nun der Durchmesser weiter über den Punkt *B* hinaus, so treffen ihn die Millimeterlinien von den anderen Seiten als bisher. Eben schnitten sie zuerst noch auf seiner rechten Seite. Jetzt ist ihnen seine linke entgegengestellt. Natürlich muss dann, wenn die Kraftlinienänderung im alten Sinne vor sich geht, die induzierte Spannung ihre Richtung umkehren. Aber der Sinn der Änderung ist nicht der alte. Die Kraftlinien, die eben noch abgenommen haben, nehmen jetzt wieder zu. Also eine abermalige Umkehrung der Induktionsrichtung. Zwei Verneinungen sind eine Bejahung. Minus mal Minus giebt Plus. Die Spannung behält ihre ursprüngliche Richtung bei. Da die Änderungswerte dieselben sind, wie vorher, verläuft die Induktion (Fig. 319) auf dem zweiten Viertel des Kreisumfanges zu der auf dem ersten symmetrisch. Sie bildet das zweite Viertel einer Welle. Im Kreisviertel *C D* treffen die Linien die Durchmesser von derselben Seite wie bei *B C*. Aber die Kraftlinienzunahme hat sich in eine -abnahme verwandelt. Die induzierte Spannung hat die entgegengesetzte Richtung wie vorher. Der Übergang zwischen beiden, die Induktion Null findet in der Lage *C* und nachher, nachdem eine zweite halbe Welle zurückgelegt ist, in *A* statt. Dann beginnt der Kreislauf von neuem. Wenn Sie sich so für jedes Kreisviertel Richtung und Grösse der Induktion überlegen, werden Sie sehen, dass thatsächlich ein Wechselstrom zu Stande kommt.

Nach alter Gewohnheit bleibt uns noch die Frage zu beantworten, woher die Arbeit stammt, die durch die Induktion als elektrische erscheint. Es wurde schon angedeutet, dass der den Bügel drehende Arm die Quelle ist. Ist der gedrehte Leiter zu einem Kreise geschlossen, in dem sich die induzierte Elektromotorische Kraft als Strom ausgleichen kann, so verursacht das Drehen ein wenig mehr Arbeit, der Arm hat ein

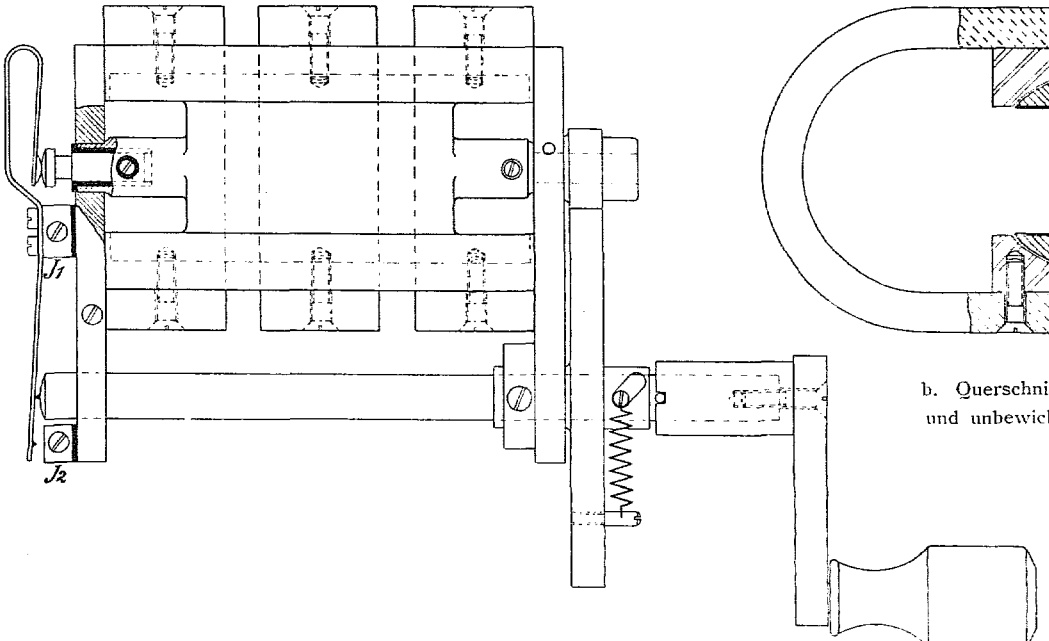
wenig schwerer durchzuziehen, als bei offnen Klemmen, wo es gewissermassen bei der Absicht der Induktion bleibt. Der fliessende Strom setzt sich mit dem von ihm inmitten des Bügels erzeugten Kraftlinienbündel der Drehung durch den mit jenen gleichgerichteten primären Kraftlinien erfüllten Raum einen gewissen mechanischen Widerstand entgegen. Die gleichgerichteten Kraftlinien ziehen sich an, und diese Anziehungskraft muss bei der Drehung überwunden werden.

Genau nach dem Multiplikationsprinzip, das für die Erzeugung von magnetischen Kraftlinien an Stelle eines einfachen Drahtes Spulen verwendet, wird nun ebenso auch für die Induktion der Kupferbügel durch eine Spule, einen sog. Anker ersetzt. Wird dann in dem pro Windung in jedem Augenblick die Elektromotorische Kraft e erzeugt, so erhöhen a zu einer Spule hinter einander gewickelte Windungen ihre Grösse zu $E = a \cdot e$. Das ist die induzierte Elektromotorische Kraft. Die Spannung an den Ankerklemmen ist natürlich kleiner, denn es geht von der im Anker erzeugten Elektromotorischen Kraft der Spannungsabfall auf dem Wege aus dem Ankerinneren zu den Klemmen ab. Wie die Klemmenspannung E_k einer Zelle um das Produkt $J \cdot w_i$ = Strom mal Zellenwiderstand kleiner ist, als die *EMK*, so auch hier. In jedem Augenblick findet auch hier im Anker ein Spannungsabfall gleich dem Produkt des Stromes J und des Ankerwiderstandes w_A statt. Es ist

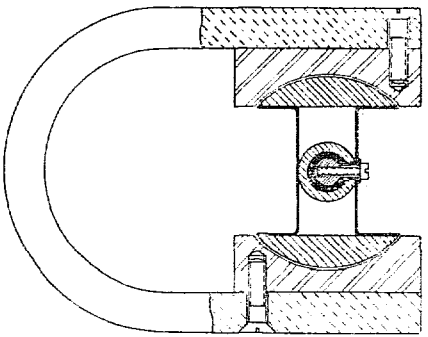
$$E_k = E - Jw_A$$

eine Gleichung, die, ebenso, wie für alle anderen elektrischen Maschinen, auch für unsern Magnetinduktor gilt. Die Klemmenspannung nähert sich umsomehr der induzierten Elektromotorischen Kraft und ist damit um so constanter, je kleiner der Ankerwiderstand und je kleiner der entnommene Strom ist.

Der Anker ist auf einen Eisenkörper gewickelt, damit dessen hohe Permeabilität aus der gegebenen Magnetisierenden Kraft H eine grosse die Ankerwindungen schneidende Kraftlinienzahl und damit durch deren Änderung eine grosse Induktion erzeugt. Natürlich ist das Eisen auch der Wirkung des Kraftlinienwechsels ausgesetzt, und die beiden alten Forderungen: magnetische



a. Ansicht. (Isoliertes Ende der Ankerachse geschnitten.)



b. Querschnitt durch Pole und unbewickelten Anker.

Fig. 320. Magnetinduktor.

Weichheit zur Verkleinerung der Hysteresis und Unterteilung zu der der Wirbelströme müssen erfüllt sein. Der Ankerkörper ist aus einzelnen, wohl ausgeglühten, schmiedeeisernen Blechen zusammengesetzt. Im Schnitt zeigt er eine gewisse Ähnlichkeit mit einem doppelten T (Fig. 320b), woher der Name Doppel-T-Anker entstanden ist. Die beiden grossen Einschnitte sind mit Kupferdraht vollgewickelt, sodass jede Windung dem Rechteck von vorhin gleicht. Die Wicklung ist durch einen Lederüberzug geschützt und das Doppel-T mit Hilfe seitlicher Backen gelagert. Der Eisenkörper nähert sich dabei ganz dicht den ausgedrehten Polschuhen dreier kräftiger Hufeisenmagnete. Diese stehen nebeneinander und verdreifachen die geschnittene Kraftlinienzahl. Die Erinnerung an die Magnete des Kapseltelephons sagt Ihnen, dass auch hier die gleichnamigen Pole benachbart sind und so die Kraftlinien in den Raum drücken, wo sie Verwendung finden sollen.

Der Antrieb des Ankers erfolgt von einer Kurbel aus über zwei Zahnräder. Die bei drei Kurbeldrehungen pro Sekunde induzierte Elektromotorische Kraft wird zu etwa 60 Volt angegeben. Elektrisch liegt das eine Ende der Wicklung am Ankerkörper und damit über die Lager am Körper des Induktors überhaupt. Das andere führt, von einer Hartgummibuchse isoliert, an das Ende der freien Achse. Die Leitung, in die der Wechselstrom hineingeschickt werden soll, muss deshalb zwischen den Induktorkörper und die gegen das isolierte Achsenende schleifende gebogene Feder geschaltet werden.

Wir sind mit der Betrachtung des Induktors noch nicht zu Ende, denn der Betrieb verlangt natürlich, dass, während die Ankerwicklung auf die Leitung geschaltet ist, das eigene Telephon sowohl, wie der eigene Wecker ausgeschaltet oder kurz geschlossen wird. Der eigene Weckstrom muss entweder durch Unterbrechung verhindert werden, Telephon oder Wecker zu durchlaufen oder unschädlich an ihnen vorbeifliessen. Andererseits darf der eigene Anker oder Wecker den fremden Sprechstrom nicht stören. Während der Unterhaltung muss Anker und Wecker von der Leitung abgeschaltet oder kurz geschlossen sein. Aus diesen Gründen ist der Induktor mit einem Umschalter vereinigt.

Als solcher dient (vgl. weiter Fig. 320a) die erwähnte gebogene Feder. Ihr oberer Teil oder, wir können ruhig sagen, ihre obere Hälfte schleift gegen den linken, isolierten Kopf der Ankerachse, ihre untere- drückt nach rechts gegen die Kurbelachse. Das heisst, das letztere ist nur bei ruhender Kurbel der Fall. Zu Beginn der Drehung, noch ehe Zahnräder und Anker an ihr teilnehmen, rückt, wie die drehende Hand fühlt, und auf eine gleich zu besprechende Weise die Kurbelachse nach rechts. Ihr linker Kopf verlässt damit die Feder, und diese klappt vermöge ihrer Elasticität auf die vom Induktorkörper isolierte Klemme J_2 (Fig. 321 bei II).

Die Kurbelachse ist somit in ihren Lagern verschiebbar. Dazu hat man die rechte Lagerbuchse nach rechts-aufwärts, der *SW-NO*-Richtung der Landkarte, mit einem Ausschnitt versehen, und in diesem Ausschnitt bewegt sich ein in die Kurbelachse geschraubter Stahlstift. Beginnt diese nun ihre Drehung, so drückt der Stahlstift nach oben gegen die Wand des Ausschnittes. Die Kurbelachse nimmt aber trotzdem die Lagerbuchse noch nicht mit, weil der Stift in dem Ausschnitt nach rechts-oben ausweichen kann. Damit gleitet sie um die horizontale Entfernung der beiden Rinnenenden nach rechts, und die untere Federhälfte klappt auf J_2. Erst jetzt ist für die Dauer der Drehung die Lagerbuchse mit der Kurbelachse fest verbunden, und das grosse Zahnrad auf der Buchse dreht das kleine der Ankerachse. Die Umdrehungszahl des Ankers ist dabei gegen die der Kurbel natürlich im umgekehrten Verhältnis der Zahnraddurchmesser (vgl. S. 248) beschleunigt. Die Hand braucht die Kurbel nur gemächlich zu drehen. Trotzdem läuft der Anker verhältnismässig schnell um und es wird in seiner Wicklung eine grosse Spannung induciert. Dass nun nicht schon im ersten Augenblick Buchse, Zahnräder und Anker an der Drehung teilnehmen, daran ist der mechanische Widerstand Schuld, den die Ankerdrehung auf den Umfang des grossen Zahnrades und damit auf die Buchse ausübt, während dem Rechtsrücken der Achse in der Buchse nur eine geringe Reibung entgegensteht. Deshalb ist auch die den Stahlstift nach unten ziehende Feder nur schwach. Sie dient eben zu weiter nichts, als nach dem Loslassen der Kurbel die Kurbelachse und damit die Schaltfeder wieder in ihre Ruhelagen zurückzuführen. Für das Ausrücken

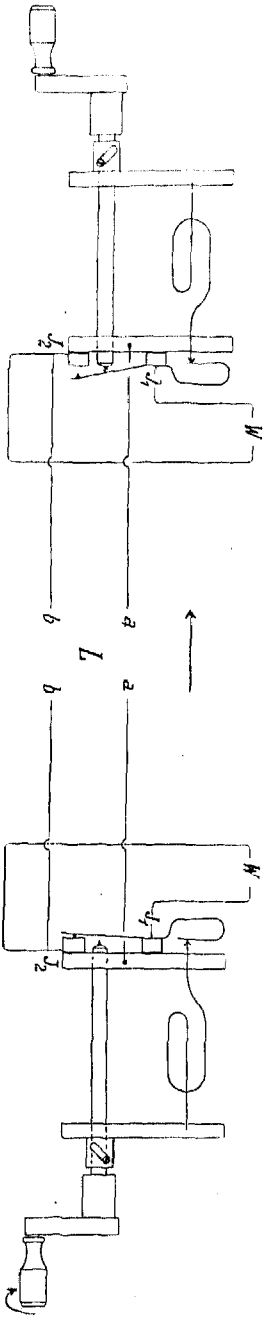


Fig. 321. Zum Verständnis der mit dem Induktor verbundenen Umschaltung. (Induktor I ruht, II wird gedreht und schickt seinen Wechselstrom zum Wecker *W* in I.)

der Kurbelachse muss natürlich die Wirkung von Federzug plus Reibung kleiner, als die des Ankerwiderstandes, zum Wiedereinrücken der Federzug grösser sein, als die Reibung.

Da nun, wie erwähnt, das eine Ende der Ankerwicklung an dem isolierten, linken Kopfe der Ankerachse, das andere über deren rechten Teil am Induktorkörper liegt, schliesst bei Kurbelruhe die Schaltfeder mit ihrer ganzen Länge, wie gewünscht, den Anker kurz. Dadurch fliesst (in Fig. 321 bei I) ein fremder Weckstrom über Leitung *a*, Induktorkörper, Kurbelachse, untere Federhälfte und Klemme J_1 durch den eigenen Wecker *W*, zur Leitung *b* und zum fremden Induktoranker zurück. Unser Anker stört den fremden Weckstrom nicht. Andererseits läuft der durch die Kurbeldrehung in unserem Induktoranker erzeugte Weckstrom (vgl. in Fig. 321 bei II) über den isolierten Kopf der Ankerachse, die ganze Feder bis zur Klemme J_2, über die Leitung *b*, den fremden Wecker, Leitung *a* und den Induktorkörper zum Anker zurück. Der eigene Wecker ist dabei über die Klemmen J_2 und J_1 von der nach rechts geschnellten unteren Federhälfte kurz geschlossen. Der mit dem Induktor

vereinigte Schalter erfüllt demnach die an ihn gestellten Anforderungen.

Diese genügen nun wohl für das gegenseitige Wecken. Für den vollständigen Betrieb aber hat die Umschaltung auch auf Sprechströme und Telephone Rücksicht zu nehmen. Weder dürfen Sprechströme die schwächenden Selbstinduktionen von Ankerwicklung und Weckerspulen, noch Weckströme die von Telephonen durchlaufen, die sie überdies durch ihre heftige Wirkung verderben könnten. Die beiden Aufgaben und dazu noch eine dritte werden einfach und zwingend von dem Hakenumschalter erfüllt. Dieser ist mir immer als das

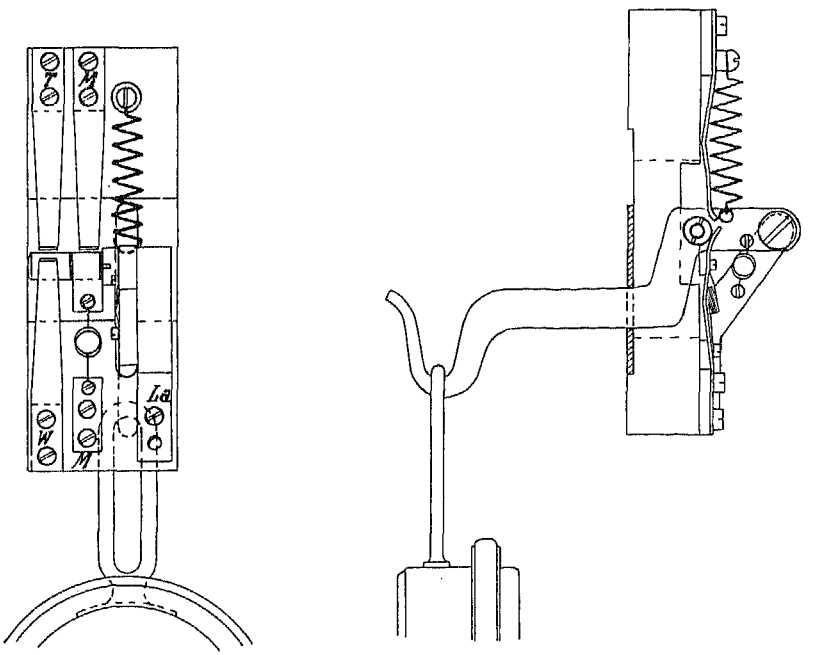


Fig. 322. Älterer Hakenumschalter.

Muster einer sinnreichen Erfindung erschienen. Im Grunde fast noch einfacher, als der Schalter am Induktor, wird er, wie dieser durch Drehen, durch Abnehmen und Anhängen des Hörers bedient. Die Mehrzahl der Teilnehmer thut das einfach unbewusst. In dieser unbewussten Mitwirkung des Publikums und der möglichsten Ausschliessung falscher Bedienung liegt die

Bedeutung der Apparate. Sie sind das, was im Englischen etwas derb foolproof, vor Narren sicher, genannt wird.

Hakenumschalter giebt es in vielen Ausführungen. Hier (Fig. 322) ist ein älterer und hier (Fig. 323) die jetzt bei der Post übliche Form. Der letztere zeigt fünf von einander isoliert befestigte Metallfedern, von denen die drei rechten die gewünschte Vertauschung von Anker und Wecker besorgen. Vollständig klar wird Ihnen die Schaltung erst nachher werden, aber ein ungefähres Bild können Sie sich schon jetzt machen.

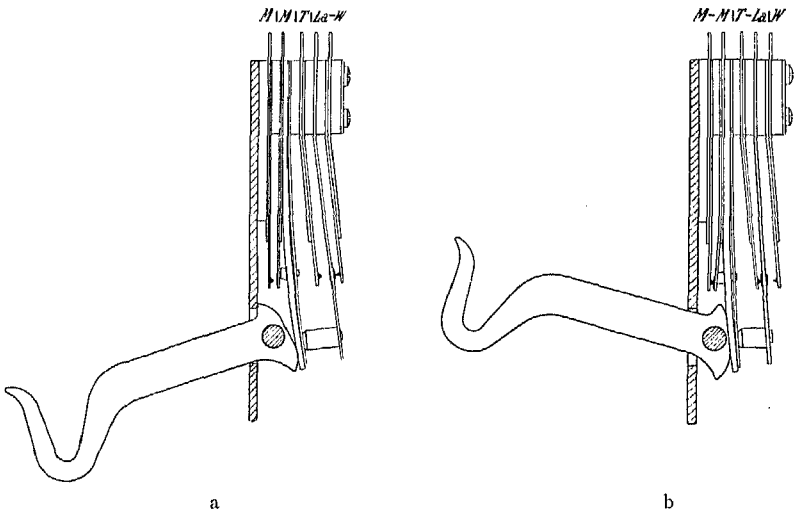


Fig. 323. Neuer Umschalter.
(Die horizontalen Striche zwischen den Buchstaben geben elektrische Verbindung, die vertikalen elektrische Trennung an.)

Bei angehängtem Hörer, also gesenktem Haken (Fig. 323a) berühren sich die vierte Feder, auf die die Leitung *La* mündet und die fünfte-, die zum Wecker *W* führt. Der fremde Weckstrom fliesst von der Leitung *La* in den Wecker und nicht in das Telephon *T*, das an der jetzt freien dritten Feder liegt. Das Abnehmen des Hörers lässt den Haken hochklappen (Fig. 323b). Die Leitungsfeder *La* wird von der Weckerfeder *W* getrennt und gegen die Telephonfeder *T* geführt. Die erwähnte dritte Aufgabe des Hakenumschalters besteht in der Öffnung der Mikrophonbatterie für die Zeit, in der nicht gesprochen wird.

Dadurch wird ihre unnütz schnelle Erschöpfung verhindert. Zu dem Zweck sind ihre Klemmen an die beiden Federn *M* geführt, die sich, wie man sieht, nur bei abgenommenem Hörer berühren, bei angehängtem- nicht.

Mikrophon, Transformator und Telephon, Induktor, Wecker und Hakenumschalter, alle sechs Apparate werden zu einer technischen Einheit zusammengefasst. Ihr früherer Name Station ist mit Gehäuse verdeutscht worden. Das Gehäuse ist recht eigentlich das, womit das Publikum zu thun hat, was es sich unter einem Telephon, einem Fernsprecher vorstellt. Die sechs Apparate können durch ihre Vereinigung im Gehäuse bequem und ohne Verlust verschickt und da, wo man sie braucht, auf einfache Weise angebracht werden. Besonders liegen so die ziemlich verwickelten Drahtverbindungen ein für alle Mal fest, und ihre Anlage erfordert weder Überlegung, noch Zeit. Auch sind Irrtümer leichter ausgeschlossen. Von der längeren Entwicklungsreihe, die die Gehäuse durchgemacht haben, verlangen hier nur die zur Zeit letzten Glieder Besprechung.

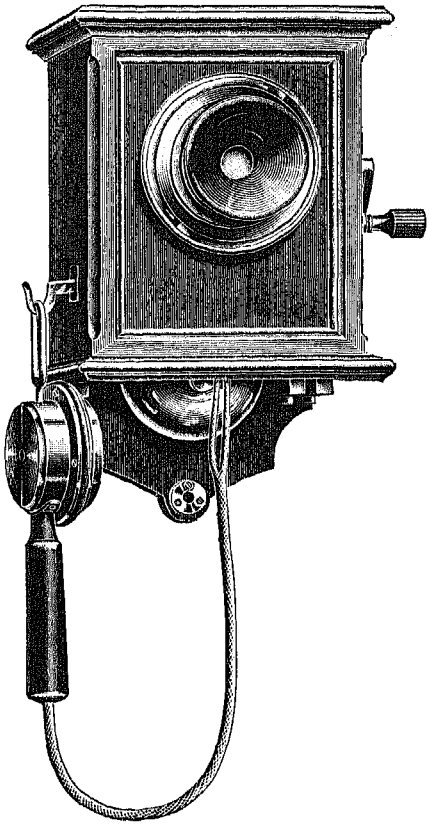


Fig. 324. Schrankgehäuse.

Die ältere und auch jetzt noch am meisten übliche Art hängt die Gehäuse von der Form eines kleinen Schrankes (Fig. 324) oder Pultes (Fig. 325) an der Wand in passender Höhe für den Sprechenden auf. An Schrank oder Pult trägt links der Haken des Umschalters sein Löffeltelephon. Der Wecker ist mit seiner einfachen oder doppelten Glocke ganz oder teilweise sichtbar. Die vom Teilnehmer aus rechte Wand

wird von der Kurbelachse des Induktors durchbrochen, der die Kurbel aufgeschraubt ist. Vorn in der Mitte sitzt das Mikrophon, und zwar beim Schrank in der Thür, über dem Pult auf einem rosettenartig ausgesägten Holzbrett. Der Pultdeckel dient natürlich nicht etwa, wie bei manchen älteren Apparaten, als Mikrophonschallplatte, sondern als Stütze oder Schreibunterlage. Zu letzterem Zweck trägt er (wie in Fig. 325) eine Schreibtafel aus Marmor oder zwei Schienen zum Einschieben eines Papierblockes.

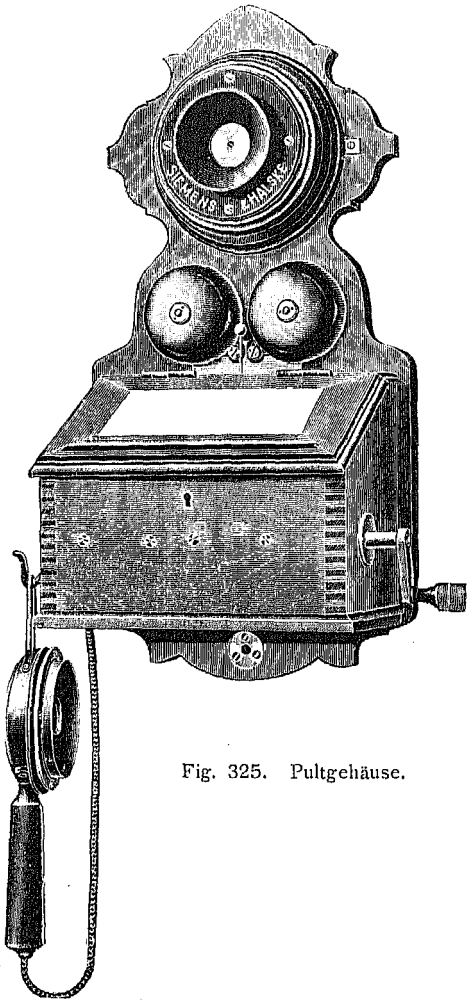


Fig. 325. Pultgehäuse.

Neuerdings ist zur Bequemlichkeit für besonders kleine oder grosse Leute das Mikrophon auf einem in der Vertikalen drehbaren Arm (Fig. 326) angebracht. Die beiden Schienenpaare aus vernickeltem Messing, die diesen Arm zusammensetzen, sind an Grundbrett und Mikrophonkapsel in gleicher Entfernung von einander angebracht. Da sie auch gleich lang sind, schliessen je zwei übereinander liegende Schienen mit ihren Achsen in jeder Stellung ein Viereck mit zwei Paar gleichen Seiten, mithin ein Parallelogramm ein. Da ferner die Enden jener Achsen an der Grundplatte senkrecht über einander liegen, müssen es auch die Enden an der Mikrophonkapsel thun. Das heisst die Mikrophonkapsel steht trotz der Drehung der Schienen in jeder Lage vertikal.

Hier (Fig. 327 auf Tafel V) ist nun im Schema die Schaltung eines solchen Pultgehäuses (Postmodell 1903) dargestellt. Wie häufig, sind auch hier zur leichteren Übersicht zeichnerisch einige Vereinfachungen wünschenswert gewesen. Wenn Sie aber dieses Schema verstanden haben, werden Sie auch der Wirklichkeit gegenüber nach kurzer Überlegung Bescheid wissen. Zur ersten Aufklärung mögen Sie hier, wie sonst, den — gestrichelt gezeichneten — Mikrophonkreis und von der sekundären Wicklung des Transformators aus den Telephonkreis aufsuchen.

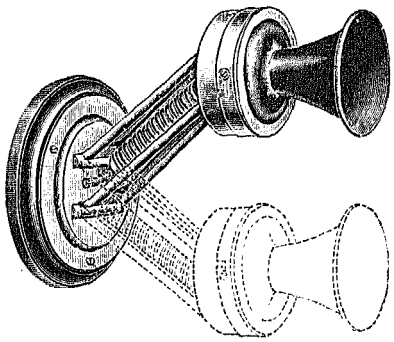


Fig. 326.
Mikrophon auf verstellbarem Arm.

Lassen Sie uns noch einmal im Zusammenhang die Erfordernisse durchgehen, die eine Gehäuseschaltung erfüllen muss. Der fremde Weckstrom soll, wenn das eigene Telephon am Haken hängt, den eigenen Wecker durchfliessen. Der eigene Weckstrom soll bei angehängtem und bei abgenommenem Hörer aus dem gedrehtem Induktor in die Leitung gehen, während der ruhende Induktoranker kurz geschlossen ist. Der fremde Sprechstrom soll in das eigene Telephon und der in der sekundären Transformatorwicklung induzierte eigene Sprechstrom in die Leitung gehen. Verfolgen wir nun in der Zeichnung die Ströme, um zu sehen, ob das der Fall ist. Die Abkürzungen sind, wie sonst, leicht verständlich. Es bedeutet *MB* die Mikrophonbatterie, *Mi* das Mikrophon, *P* einen Verzweigungspunkt, *J* den Induktor mit seinen beiden Klemmen *J*1 und *J*2, *H*I bis *H*5 die fünf Federn des Hakenumschalters. Das Telephon *T* liegt in der Mitte der sekundären Transformatorwicklung, welche dadurch links und rechts in zwei Teile: *Trsf IIl* und *Trsf IIr* zerfällt. Was mit dieser Teilung beabsichtigt wird, sagt Ihnen die Erinnerung an unsere frühere prinzipielle Schaltungsskizze (Fig. 297 auf S. 461). Der Widerstand der secundären Transformatorwicklung wird dadurch rechts und links vom Telephon gleichmässig verteilt, und beide Teile des Telephonkreises, Hin- und Rückleitung, erhalten ein gleiches *CW*.

Der fremde Weckstrom nimmt bei angehängtem Hörer folgenden Weg: *La* — *J* Körper. — *J* Achse. — *J* Feder — *J* 1 — *H* 4 . 5 — ***W*** — *J* 2 — *Lb*. Er geht durch den eigenen Wecker. (Dabei endigt blind der Weg *P* — *Trsf II r* — *T* — *Trsf II l* — *H* 3). Bei abgenommenem Hörer durchfliesst der fremde Weckstrom zuerst unverändert: *La* — *J* Körper — *J* Achse — *J* Feder — *J* 1 — *H* 4, geht dann aber *H* 3, *Trsf II l* — ***T*** — *Trsf II r* — *P* — *J* 2, *Lb*, (während der Weg *P* — *W* — *H* 5 blind endigt). Der fremde Weckstrom fliesst durch den abgenommenen Hörer, in dem er als starker Wechselstrom niedriger Periodenzahl ein heftiges Scharren hervorruft, das den hörenden Teilnehmer oder die nach der gewünschten Verbindung fragende Gehilfin belästigt. Deshalb drehe man die Induktorkurbel nicht, sobald das Gespräch einmal begonnen ist. Auch sonst drehe man sie nur langsam, damit die erzeugte Wechselspannung hübsch niedrig bleibt. Der Zweck des Weckens wird dadurch auch erreicht und die Möglichkeit einer Belästigung vermieden.

Der gedrehte Induktor schickt den eigenen Weckstrom vom Anker durch *J* Körper — *La* — *Lb* — *J* 2 — *J* Feder zum Anker zurück. Nicht gangbar ist der Weg: *J* Feder — *J* 1 — *H* 4, weil bei angehängtem Hörer der Weckerweg *H* 5 — ***W*** — *P* — *J* 2 durch *J* 2 — *J* 1 — *H* 4 — *H* 5 kurz geschlossen ist, (während blind endigt der Zweig *P* — *Trsf II r* — *T* — *Trsf II l* — *H* 3) und weil bei abgenommenem Hörer der Weg *H* 3 — *Trsf II l* — *T* — *Trsf II r* — *J* 2 wie vorher den eigenen Wecker jetzt den eigenen Hörer kurzschliesst, (während *P* — *W* in *H* 5 blind endigt). Bei der betrachteten Schaltung geht der eigene Weckstrom mithin nur in die Leitung und weder in den eigenen Wecker, noch den eigenen Hörer, gleichgiltig, ob der abgenommen ist oder nicht.

Der Verlauf der Sprechströme ist ebenso leicht, zunächst der des eigenen: *MB* — *Mi* (durch zwei Kohlenstückchen dargestellt) — *Trsf I* — *H* 2 . 1 — *MB*. Der Induktionsstrom, der die secundäre Transformatorwicklung zur Quelle hat, nimmt den Weg: *Trsf II l* — ***T*** — *Trsf II r* — *P* — *J* 2 — *Lb* — *La* — *J* Körper — *J* Achse — *J* Feder — *J* 1 — *H* 4 . 3 — *Trsf II l*. Der eigene Sprechstrom fliesst über den eigenen Hörer in die Leitung.

Dass nun der fremde Sprechstrom über die eigene secundäre Wicklung in das eigene Telephon gelangt, wo er

hingehört, geht aus folgendem Stromlauf hervor: L_a — J Körper — J Achse — J Feder — $J\,1$ — $II\,4.3$ — $Trsf\,II\,l$ — T — $Trsf\,II\,r$ — P — $J\,2$ — L_b (P — W endigt wieder blind in $II\,5$). Man beachte, der fremde Sprechstrom durchläuft die Secundärwicklung des eigenen Transformators, deren grosse Selbstinduktion ihn erheblich schwächt.

Hier (Fig. 328) die Abbildung zeigt ein Wandgehäuse der englischen Post, noch mit den alten Hörern, Walzenmikrophon

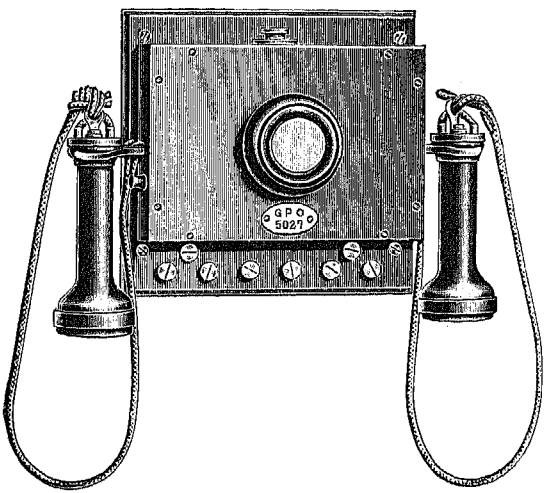


Fig. 328. Englisches Wandgehäuse. Nach Crotch.

und, wie der Knopf an der linken Wand anzeigt, mit Batterieanruf versehen. Es sind aber in England auch neuere Gehäuse in grosser Anzahl im Betrieb.

Im Gegensatz zu den Wandgehäuse erlauben die Tischgehäuse unmittelbar vom Arbeitsplatz aus zu sprechen. Sie sind mit einem an passender Stelle der Wand befestigten Klemmbrett, durch eine Leitungsschnur verbunden, aber selbst beweglich und stehen auf oder neben dem Schreibtisch bequem zur Hand. Man braucht seine Arbeit oder Unterhaltung kaum zu unterbrechen und kann mit wenig Zeitverlust und in Musse und Behaglichkeit telephonieren. Die körperliche Ruhe erleichtert es vielen auch, die Gedanken so zusammen zu nehmen, wie es die Kürze eines telephonischen Gespräches verlangt. Man

wird ferner mit der Annahme nicht fehl gehen, dass bei der Benutzung von Tischgehäusen weniger Ungeduld zur Erlangung des richtigen Anschlusses verraten wird, als es sonst wohl besonders besetzten oder besonders verstockten Nummern gegenüber vorkommen mag.

Hier (Fig. 329) steht das Tischgehäuse der Post, zu einer aesthetisch so befriedigenden Form durchgebildet, vor Ihnen. Der schwarz lakierte Blechkasten mit dem Reichsadler ist nach

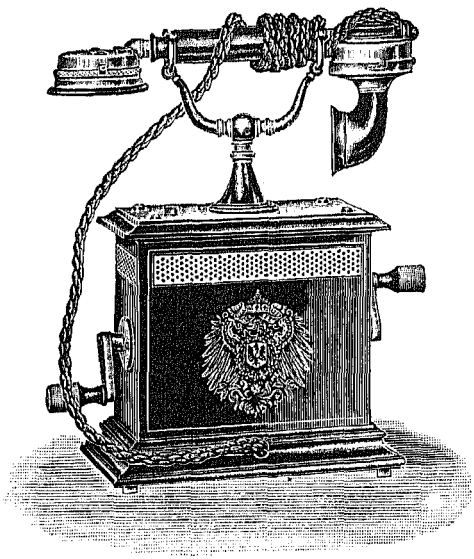


Fig. 329. Deutsches Tischgehäuse.

meiner Empfindung geradezu ein Schmuck geworden und den Spielereien vorzuziehen, bei denen der Fernsprecher mit einem kunstgewerblichen Gegenstand, wie einem Photographierahmen oder ähnlichem in Verbindung gebracht ist und dem Beschauer verhüllt werden soll. Diese widersprechen den beiden technisch-aesthetischen Gesetzen, die im Grunde mit einander verwandt sind: Schon weil sich mit der höchsten Zweckmässigkeit von selbst Schönheit verbindet, darf keine Maschine mit ihr fremden Verzierungen künstlich beladen werden. Die bei Gebrauchsgegenständen üblichen Verzierungen sollen den Verwendungszweck nicht nur nicht verhüllen, sondern ihn möglichst deutlich hervortreten lassen.

Bei diesem Tischgehäuse und anderen, wie zum Beispiel dem hier (Fig. 330) abgebildeten schwedischen-, ruht oben auf einer die Dienste des Hakenumschalters leistenden Gabel der Handapparat. Er vereinigt in sich mechanisch Mikrophon und Telephon und wird deshalb auch Mikrotelephon genannt. Die Hand umgreift seinen Hals, wie den einer Geige, und hält ihn so, dass man in derselben Stellung in das Mikrophon hineinspricht und am Telephon hört. Der Hals des Handapparates kann zur Einstellung auf verschieden lange Köpfe, wie ein Fernrohr, ausziehbar eingerichtet sein.

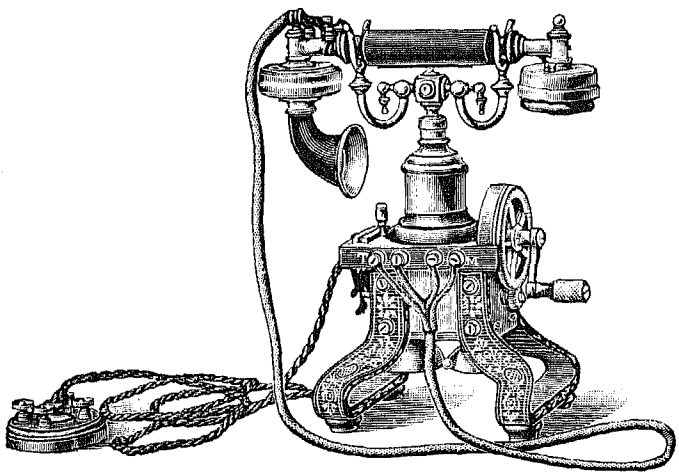


Fig. 330. Schwedisches Tischgehäuse. Von Ericsson.

Sie beachten an ihm (in Fig. 329 im Gehäusedeckel) einen Knopf, der auch als Hebel ausgebildet wird. Die haltende Hand ist nur mit einiger Unbequemlichkeit im Stande, ihn niederzudrücken. Es giebt Gehäuse, bei denen der Hebel die sonst von der Gabel versehenen Umschaltungen teilweise oder ganz besorgt. Im letzteren Falle ist dann die Gabel fest und schaltet überhaupt nicht. In beiden Fällen muss man den Hebel natürlich während der ganzen Dauer des Gespräches niederdrücken. Beim Gehäuse der Post dagegen hat der Knopf einen anderen Zweck. Er schliesst, wenn er niedergedrückt wird, die secundäre Transformatorwicklung kurz. Dadurch bleibt der fremde Sprechstrom vor ihrer Selbstinduktion bewahrt

und wird folglich, wie die meisten von Ihnen aus Erfahrung wissen werden, weniger, als sonst, geschwächt. Das ist von besonderer Bedeutung für Ferngespräche mit ihren schon ohnehin durch den Widerstand der langen Fernleitung geschwächten Sprechströmen. Man darf aber den Knopf nur während des eigenen Hörens niederdrücken und für das eigene Sprechen nicht vergessen, ihn loszulassen. Sonst können Sie durch Fragen wie »Sind Sie noch dort« belehrt werden, dass Sie in den Wind gesprochen haben. Denn der durch die Schwankungen Ihres Mikrophones in Ihrer secundären Transformatorwicklung induzierte eigene Sprechstrom ist so gut, wie ganz, über ihren Kurzschluss, anstatt über den grossen Widerstand der Leitung geflossen.

Hier mag noch eine bei der Post nicht gebräuchliche Schaltungsweise erwähnt werden, die das Telephon, statt hinter die secundäre Transformatorwicklung, ihr parallel, an ihre Klemmen legt. Dann geht freilich im gebenden Gehäuse nur ein Zweigstrom in die Leitung und im empfangenden- von diesem Zweigstrom wieder nur ein Teil in das Telephon. Aber anderseits ist ein sehr viel geringerer Widerstand, und zwar Ohmscher Widerstand, wie Induktanz, wirksam.

In der Schaltungsskizze des Tischgehäuses (Fig. 331 auf Tafel V) sehen Sie auf der Schaltgabel den Handapparat, durch eine — sagen wir — vieradrige Leitungsschnur mit den Klemmen verbunden, die am Gehäuse hier rechts erscheinen. Die links führen über eine zweite Leitungsschnur zu einem an einer passenden Stelle der Wand befestigten Klemmbrett, an dem die von draussen kommende Hin- und Rückleitung und die Mikrophonbatterie mit ihren beiden Klemmen liegen. In der Skizze ist das Klemmbrett mit der zu ihm führenden Leitungsschnur fortgelassen und Leitung und Batterie gleich an den Gehäuseklemmen links angreifend gedacht.

Suchen Sie sich zunächst wieder den gestrichelt gezeichneten Mikrophonkreis auf: $MB+$ — $+B$ — unteres M — Mikrophon des Handapparates — oberes M — Gabel 2 — $Trsf\ I$ — $-B$ links — $-MB$ — MB — $MB+$.

Ist der Handapparat von der Gabel genommen, so ist über 2 der Mikrophonkreis geschlossen. Die durch das Sprechen dem Mikrophonstrome aufgedrückten Schwänkungen induzieren

in der secundären Wicklung des Transformators den nach aussen bestimmten Sprechstrom, der folgenden Weg nimmt: *Trsf II* — oberes *T* — Telephon des Handapparates — unteres *T* — *J* 2 — ***Lb*** — ***La*** — Induktor (Körper, Achse, Feder, *J* 1) — Gabel 1 *a* . *b* — *Trsf II* — (der Weg *Lb* — *W* endigt in Gabel 1 *c* blind). Bei abgenommenem Handapparat geht der eigene Sprechstrom über das eigene Telephon in die Leitung. —

Der fremde Sprechstrom verläuft folgendermassen: ***La*** — Induktor (Körper, Achse, Feder, *J* 1) — Gabel 1 *a*, *b* — *Trsf II* — oberes *T* — Telephon — unteres *T* — ***Lb*** (*Lb* — *W* endigt wieder in Gabel 1 *c* blind).

Der eigene Weckstrom nimmt folgenden Weg: Induktor (Anker, Feder, *J* 2) — ***Lb*** — Fremdes Gehäuse — ***La*** — Induktor (Körper, Anker). Der eigene *W* ist bei gesenkter Gabe kurz geschlossen, bei gehobener von *G* 1 *a* abgetrennt. Beim Wecken läutet mithin, wie früher, der eigene Wecker nicht mit.

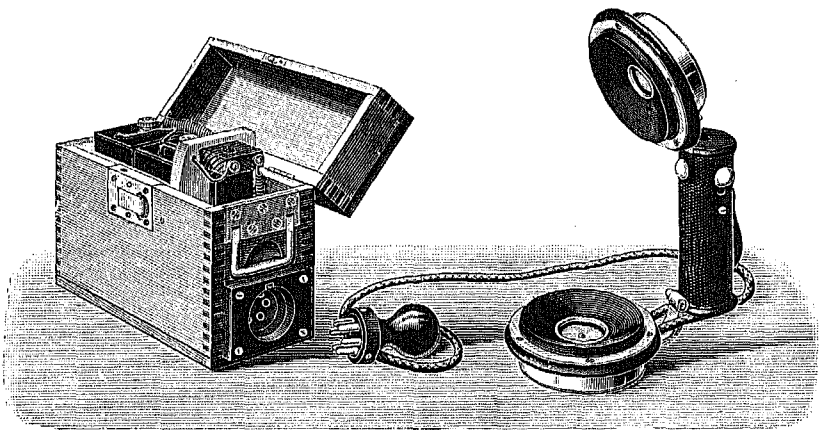


Fig. 332. Unser Patrouillenapparat.

Fremder Weckstrom: ***La*** — Induktor (Körper, Achse, Feder, *J* 1) — Gabel 1 *a* und entweder 1 *c* — ***W*** — ***Lb*** oder 1 *b* — *Trsf II* — *T* — Telephon — *T* — ***Lb***. Ebenfalls wie früher, durchfliesst der fremde Weckstrom nur den in der Hand gehaltenen Hörer und sonst den Wecker.

Thatsächlich enthält die Leitungsschnur noch eine fünfte Ader. Sie führt von der linken Klemme des *Trsf II* zum Knopf

des Handapparates, der bei Druck die von dem oberen *T* kommenden Leiter berührt und so den besprochenen Kurzschluss von *Trsf II* herstellt.

Ein ähnlicher Handapparat mit umklappbarem Mikrophon, der unter Verwendung des s. g. Summerprinzipes als Morseempfänger dient, ist hier (Fig. 332) seiner militärischen Bedeutung wegen abgebildet. Mit dieser anderen von Ericsson fabrizierten

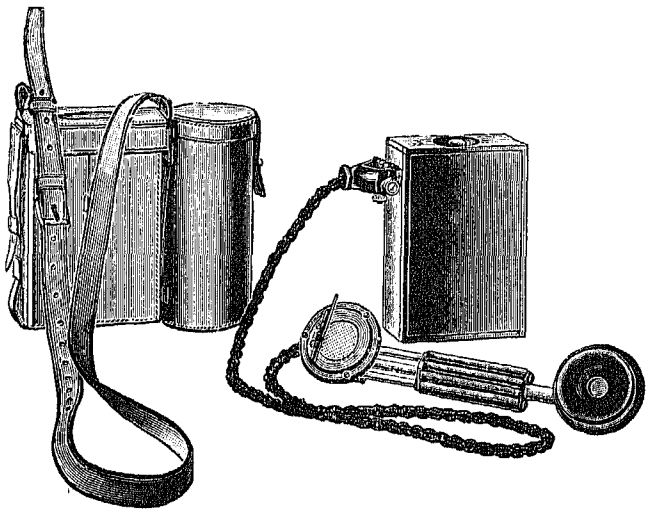


Fig. 333. Patrouillenapparat der englischen Armee.

Form (Fig. 333) sollen im Burenkriege englische Patrouillen mit blankem, nur auf der Erde liegenden Kupferdraht auf über 10 km telegraphiert haben.

Die Besprechung der Gehäuse dürfen wir nicht abschliessen, ohne die Automaten (Fig. 334) erwähnt zu haben, die an allgemein zugänglichen Orten aufgestellt sind und gegen Einwurf von ein oder zwei Zehnpfennigstücken jedem das Fernsprechen ermöglichen. Das Geld wird, wie bei anderen Automaten auch, in einen Schlitz passender Grösse geworfen. Der Ton, den es dabei erzeugt, dient auf dem Amte als Kontrolle der Bezahlung. Die Automaten sollten bei uns noch verbreiteter sein, sodass man nur ein Paar Schritte zu thun braucht, wo einem auch immer der Wunsch nach einem telephonischen Gespräche kommt, und man nicht erst genötigt ist, die Freundlichkeit eines Laden-

inhabers durch einen unbeabsichtigten Einkauf zu gewinnen. Freilich wird fälschlicher Weise ein automatisches Gespräch als teuer[1]) angesehen, seit die wenig glückliche Einrichtung der

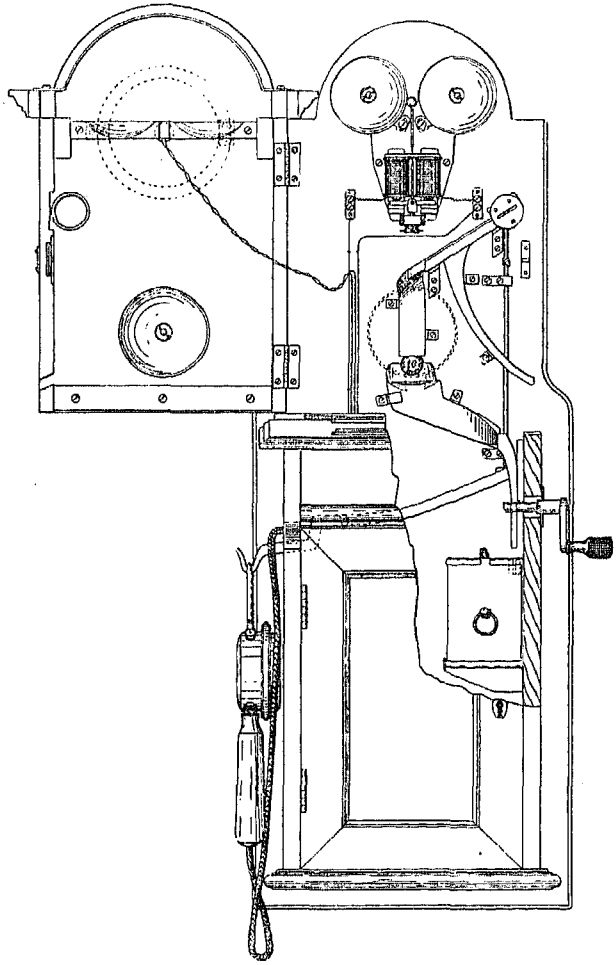


Fig. 334. Fernsprechautomat.

Einzelgebühr, die, Stephans Geiste zuwider, so garnicht in unsere Zeit des Einheitsportos und der Einheitstarife passt, die Möglichkeit bietet, schon für fünf Pfennig zu sprechen.

[1]) In London kostet es auch im Innern der Stadt 2 d.

ie Aufgaben des Fernsprechamtes.

Herstellung und Lösung eines Doppelcontaktes durch die grosse Anzahl unverhältnismässig erschwert. — Bei Vielfachschaltung haben a Leitungen $a\,(a-1)$ Verbindungen. — Klinke. Stöpsel. Vielfachprinzip. — Dreiecksschrank.

Wollen zwei Teilnehmer einer Fernsprechanlage mit einander telephonisch sprechen, so müssen vorher die aus ihren Gehäusen hervorgehenden Drahtpaare *La* und *Lb* mit einander leitend verbunden werden. Diesen Doppelcontakt schnell und sicher herzustellen und nach Beendigung des Gespräches zu lösen, das ist eigentlich die ganze Aufgabe des Amtes.

Aber: Leicht bei einander wohnen die Gedanken,
Doch hart im Raume stossen sich die Sachen.

Bei den Fernsprechämtern zeigt sich mehr, als vielleicht irgend wo anders in der Technik, dass Absicht und Ausführung zwei sehr verschiedene Dinge sind. So einfach im Prinzipe die Herstellung und Lösung eines Contaktes, so ausserordentlich verwickelt die Fernsprechämter. Ihre Entwicklung durch weniger als dreissig Jahre, hervorgerufen durch die Anforderungen der Praxis, getrieben von der Peitsche des Wettbewerbes, ist so recht ein Beispiel für die Schnelligkeit des heutigen technischen Fortschrittes. Ihr Verständnis erfordert geradezu ein eigenes und eingehendes Studium, und nur, wer von Ihnen zu einem solchen entschlossen ist, möge sich näher mit den Ämtern beschäftigen. Wir haben nicht einen Teil der dafür notwendigen Zeit. Dazu kommt, dass das Amt in diesem Augenblicke weit mehr, als alles bis jetzt besprochene, im Flusse der Entwicklung steht. Was eben kaum gebaut, ist schon wieder veraltet. Überdies will die gemeinsame Amtsbatterie, die beim Teilnehmer Zellen und Induktor erspart, alles gewohnte über den Haufen

Tafel V. Gehäuseschaltungen.

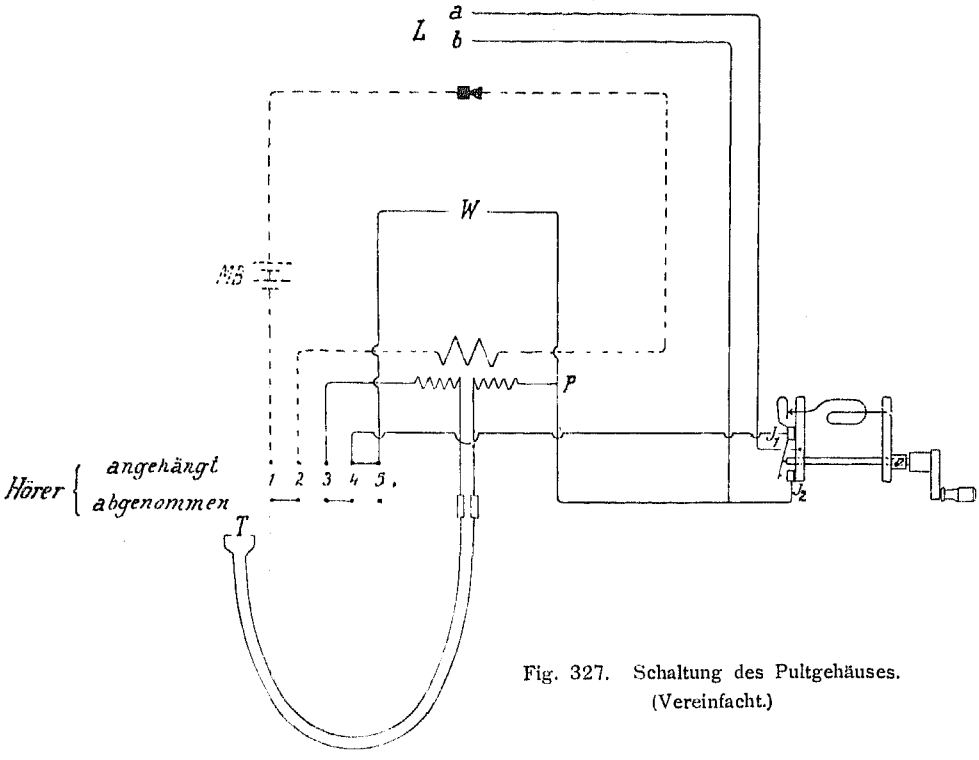


Fig. 327. Schaltung des Pultgehäuses. (Vereinfacht.)

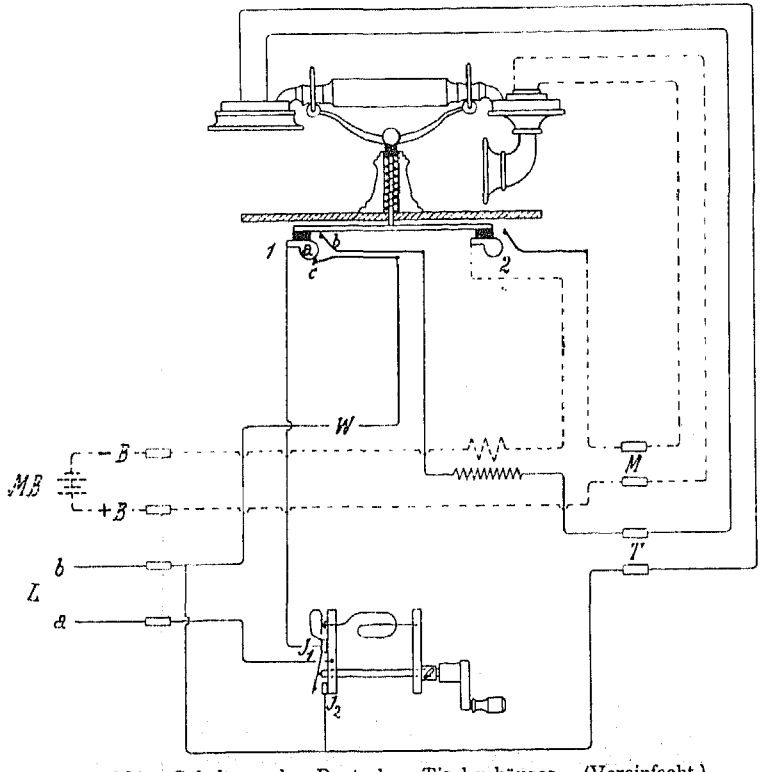


Fig. 331. Schaltung des Deutschen Tischgehäuses. (Vereinfacht.)

werfen. In der jetzigen Zeit des Überganges ist es daher umso angenehmer, sich auf ganz wenige Bemerkungen beschränken zu dürfen.

Beantworten wir zunächst die Frage, weshalb die an sich einfache Aufgabe, zwei Drahtpaare mit einander zu verbinden, fernsprechtechnisch so ausserordentlich verwickelt wird? Nun aus eben dem Grunde, der die Organisation und Leitung aller Betriebe mit steigender Grösse unverhältnismässig erschwert, mag es sich dabei um Staaten oder Heereskörper, Fabriken oder Warenhäuser oder anderes handeln.

Die Thätigkeit eines Fernsprechamtes, auf dem a Anschlüsse einmünden, scheint, mathematisch betrachtet, in der Kombination von a Grössen zu zweien zu bestehen. Das wären $\frac{a\,(a-1)}{2}$ verschiedene Kombinationen, wenn man Verbindungen wie 1 mit 2 und 2 mit 1 als die gleichen ansieht. Thatsächlich geschieht das aber bei der üblichen Vielfachschaltung nicht. Nummer 1 und 2 werden auf verschiedene Weise mit einander verbunden, je nachdem 1 oder 2 anruft. So kann thatsächlich jeder der vorhandenen a Anschlüsse mit einem der übrigen $(a-1)$ verbunden werden. Das giebt $a\,(a-1)$ oder bei grossem a so gut, wie a^2 Verbindungen. Stellen wir uns einige Zahlen von Teilnehmern und den dazu gehörigen Verbindungen zusammen:

Teilnehmer:	0	1	2	3	5	10	100	1000	20000
Verbindungen:	0	0	2	6	20	90	10000	1 Million	400 Millionen

Eine Kurve für die Abhängigkeit beider können Sie sich bei gleichem Massstabe für a und a^2 nur für kleine Werte zeichnen. Bei grösseren- steigt die Zahl der Verbindungen zu stark an. Auf einem Amt mit zwanzigtausend Teilnehmern, ist eben die ungeheure Zahl von nahezu vierhundert Millionen Verbindungen möglich. Dabei ist noch von allen denen zu einem anderen Amte abgesehen.

Die Verbindung der Fernsprechleitungen geschieht nun nicht in der alten, in der Telegraphie noch fast allgemein üblichen Weise, dass die beiden Leitungen in gleichartigen sich kreuzenden Schienen endigen und diese durch einen, sie beide berührenden Messingstöpsel verbunden werden. Vielmehr

endigt die anzurufende Leitung in einer röhrenförmigen Vereinigung von Blattfedern, die man Klinke nennt, obschon sie mit dem, was man sonst unter Klinke versteht, nichts zu thun

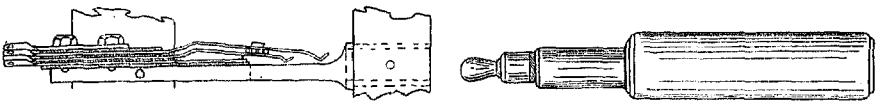


Fig. 335. Klinke und Stöpsel.

hat. Hier (Fig. 335) ist eine solche Fernsprechklinke und dazu der elektrisch dreiteilige Stöpsel, in dem die anrufende Leitung endigt.

Der Verbindung beider Leitungen, das heisst dem Einsetzen des Stöpsels der rufenden Leitung in die Klinke der gerufenen-, muss natürlich der Anruf des Amtes und die Verständigung mit ihm vorhergehen. Das alte Mittel des Anrufs ist die Klappe. Der Weckstrom des anrufenden Teilnehmers durchfliesst die Wicklung eines gewöhnlich hinkenden Elektromagneten. Der Anker wird angezogen, und ein mit diesem verbundener Haken giebt die Klappe frei. Sie fällt und die bis jetzt von der Klappe bedeckte Nummer des weckenden Teilnehmers wird sichtbar. Neuerdings sind die fallenden Klappen auch durch hervorspringende Elfenbeinstiftchen, die s.g. Springzeichen und durch ins Leuchten geratende Glühlampen ersetzt worden.

Auf den Anruf hin setzt nun die Gehilfin (siehe die Vignette auf S. 514) Kopfhörer und Brustmikrophon ihres Abfrageapparates, wie man in Anklang an die Schule sagt, mit dem rufenden Teilnehmer in Verbindung und erfährt die gewünschte Nummer. Damit sie nun im Stande ist, den rufenden Teilnehmer mit jedem anderen des Amtes zu verbinden, müssen auf ihrem Platz neben einer kleinen Zahl von ihr bedienter rufender Leitungen, die »auf Klappe liegen« und wie erwähnt, in Stöpseln münden, die sämtlichen anderen Leitungen in Klinken endigen. Denn sie kann für die verlangte Verbindung nicht erst die Mitwirkung einer Nachbarin erbitten. Es bleibt eben nichts übrig, als Vielfachschaltung zu verwenden, das heisst sämtliche Leitungen durch sämtliche Arbeitsplätze zu führen und jede Leitung auf jedem Platze in einer Klinke endigen zu lassen.

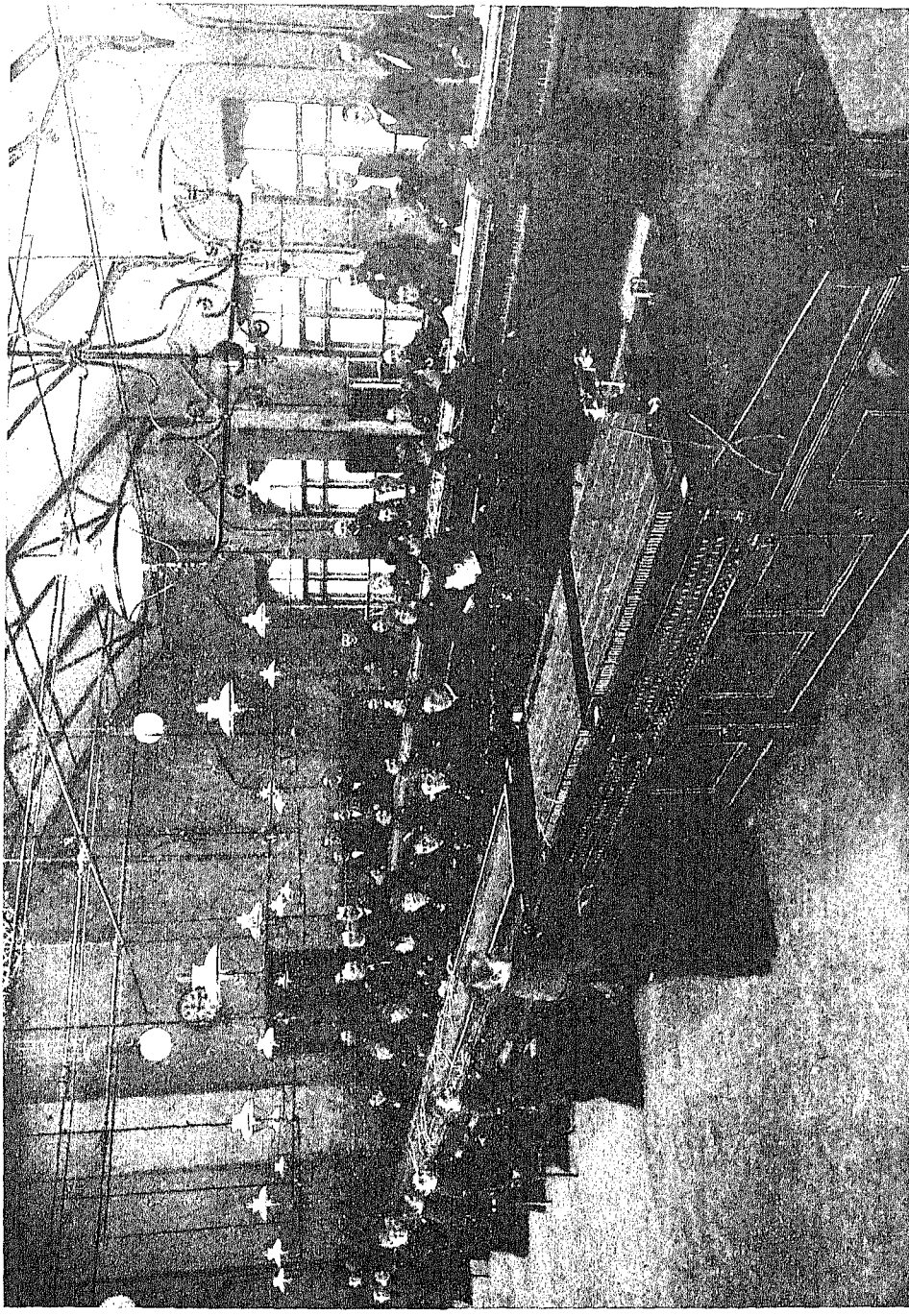


Fig. 336. Fernsprechamt Chemnitz. (1902 gebaut von Mix & Genest.)

Die Klinken derselben Leitung auf den verschiedenen Plätzen liegen einander elektrisch parallel. Aus diesem einfachen Grundgedanken sind die technischen Kunstwerke der heutigen Fernsprechämter hervorgegangen, wie Sie hier (Fig. 336) eins in Ansicht abgebildet sehen.

Ohne Vielfachschaltung ist der Dreiecksschrank von Mix und Genest (Fig. 337) gebaut, der, als ein Fernsprechamt en miniature, bei vielen Teilnehmern neben dem Gehäuse an der Wand hängt. Er dient dazu, dieses Gehäuse mit anderen nicht unmittelbar an das Amt angeschlossenen- oder diese untereinander oder mit dem Amt zu verbinden. Hier ist ein Dreiecksschrank für fünf Leitungen. Schreiben sie sich die Verbindungsmöglichkeiten auf: (1 und 2 bis 1 und 5) darunter (2 und 1 bis 2 und 5) bis (5 und 1 bis 5 und 4) und streichen Sie von den doppelt vorhandenen- die spätere wieder aus. Es bleiben — unserer früheren Angabe entsprechend — nur $\frac{5 \cdot (5-1)}{2} = 10$ Verbindungen und zwar, wie auch auf dem Schranke zu sehen, in Dreiecksform angeordnet. Jede Klinke enthält hier übrigens gleich beide zu verbindende Leitungen. Der in sie eingesteckte Stöpsel besorgt so die Verbindung, ohne dass er eine Leitungsschnur zu tragen braucht. Hierin liegt natürlich ein Vorzug des Dreiecksschrankes.

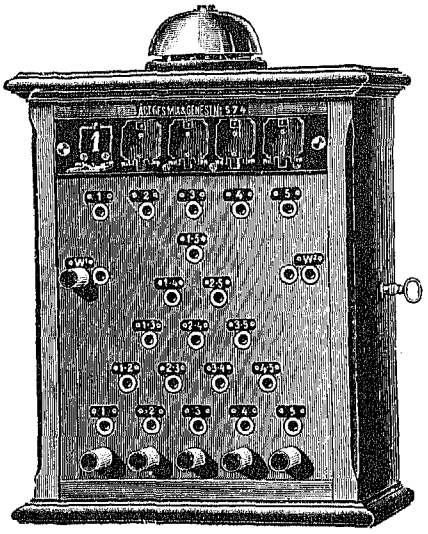


Fig. 337. Dreiecksschrank.

23. Vorlesung.

Funkentelegraphie.

Erster Teil.

Funkentelegraphische Erscheinungen nicht merkwürdiger, als alle anderen elektrischen- auch. Dazu Ämter verbunden, wenn auch nicht durch Draht. Notwendigkeit eines Körpers zur Ausbreitung von Schall, Licht und Wärme. Äther. — Ätherquerwellen. Geschwindigkeit constant. Schwingungszahlen und Wellenlängen mit einander veränderlich. Freie elektrische Wellen. Vom Funken erregte Drahtwellen stossen den Äther zu freien Wellen an. Fritter. Antennen. — Hertzsche Versuche zeigen Ausbreitung, Spiegelung, Brechung, Interferenz, Geschwindigkeit elektrischer Wellen.

Unsere beiden letzten Vorlesungen behandeln die Funkentelegraphie, jene neue Art der Telegraphie, die bei unserer sonst an ausserordentliche technische Leistungen so gewöhnten Zeit lebhaftes Staunen erregt hat. Das Merkwürdige scheint darin zu liegen, dass Ämter mit einander telegraphisch verkehren, ohne doch durch ein wahrnehmbares Hilfsmittel, durch einen Leitungsdraht verbunden zu sein.

Diese drahtlose Telegraphie, wie sie in Anlehnung an die englische Bezeichnung oft genannt wird, benutzt aber Erscheinungen, die in Wahrheit nur ebenso merkwürdig sind, als alle anderen elektrischen- auch. Genau genommen, ist sogar das Staunen erregende gar nicht einmal vorhanden. Die Ämter sind sehr wohl mit einander verbunden, wenn auch nicht gerade durch einen dem Auge sichtbaren Leitungsdraht. Denn hier ebenso wenig, wie in irgend einem anderen Falle, könnte es sich der gesunde Menschenverstand vorstellen, dass Körper auf einander wirken, wenn sie sich nicht entweder unmittelbar oder durch ein vermittelndes Bindeglied berühren. Zwei Boxer (ohne Handschuhe) würden die unmittelbare Berührung versinnbildlichen, zwei Schützen die mittelbare. — Wählen Sie ein anderes Beispiel: Der Ton dieses Weckers kann praktisch nur dann an Ihr Ohr gelangen, wenn eine Luftschicht eine ununter-

brochene Verbindung zwischen Wecker und Ohr bewirkt. Der von seinem Klöppel erschütterte Wecker versetzt die Luft in seiner Nähe in Schwingungen. Diese pflanzen sich bis zu Ihrem Ohre fort und erzeugen dort den Eindruck des Schalles. Der Wecker steht auf dem Teller einer Luftpumpe. Die über ihn gestülpte Glasglocke verhindert das Herausdringen des Schalles nur wenig. Sobald aber die Pumpe arbeitet und die Luftschicht um die Glocke entfernt, wird der Ton leiser und erstirbt bald vollständig. Der Versuch beweist unzweideutig, dass der Wecker nur dann auf unser Gehörorgan wirken kann, wenn sich zwischen Wecker und uns ein vermittelnder Stoff, hier die Luft, befindet.

Ein anderes, sehr ähnliches Beispiel: Sollen Licht und Wärme von der Sonne zur Erde strahlen, so dürfen sich Sonne und Erde nicht durch einen leeren Raum bewegen. Wie sollen wir Kenntnis von der Sonne haben, wenn kein Stoff die Nachricht ihres Daseins zu uns herüberträgt? Wir könnten ihre Scheibe nicht sehen, ihre Wärme nicht fühlen, wenn nicht eine von ihr stammende, zu uns fortgepflanzte Bewegung unsere Seh- und Hautnerven schlüge. Diese Bewegung muss von einem Körper übertragen werden, wie der Schall des Weckers von der Luft. Die Physik nennt diesen Körper Äther und behauptet, dass er als ein ausserordentlich fein verteilter Stoff den Weltenraum und alle anderen Körper durchdringt. Sie denkt ihn sich so fein, dass sich gegen ihn nicht nur die Luft, sondern die Wände dieses Hörsaales, der Experimentiertisch, überhaupt alle Körper, fest, flüssig oder gasförmig, wie weitmaschige Netze verhalten. Natürlich giebt es kein Gefäss, Äther zu bewahren, zu verdichten oder zu verdünnen, und keine Wage, ihn zu wägen, wenn er auch unserem Geiste wägbar bleibt.

Das Licht besteht, so wissen wir schon lange, in Querwellen dieses Äthers. Natürlich beansprucht ebenso, wie die Fortpflanzung der Schallwellen vom Wecker zum Ohre, auch die Fortpflanzung der Lichtwellen von der Sonne zur Erde Zeit, beiläufig fünfhundert Sekunden. Beide Wellenarten haben eine Geschwindigkeit, wenn auch bekanntlich von sehr verschiedener Grösse. Da die Sonne im Durchschnitt 150 Millionen Kilometer $= 15 . 10^{12}$ cm von der Erde entfernt ist, berechnen

Sie die Geschwindigkeit des Lichtes zu 300 000 km/sec. = $3 . 10^{10}$ cm/sec. Das ist die vor Langem nach verschiedenen Versuchsmethoden übereinstimmend gefundene Zahl.

Sie haben früher (S. 209) erfahren, dass jeder Körper unter den gleichen Bedingungen die in ihm erzeugten Wellen stets und unveränderlich mit der gleichen Geschwindigkeit c fortpflanzt. Veränderlich waren aber die beiden Faktoren dieser Geschwindigkeit c: die Wellenlänge l und die Schwingungszahl n. Eine Ätherwelle mit der ungeheuren Schwingungszahl von ungefähr 750 Billionen gleich $7{,}5 . 10^{14}$ pro Sekunde erzeugt in unserem Auge die Empfindung violetten Lichtes. Dessen Wellenlänge ergiebt unsere Gleichung $l = c/n$ zu $3 . 10^{10}/7{,}5 . 10^{13} = 4 . 10^{-5}$ cm = 0,4 Tausendstel Millimeter.

Das am langsamsten schwingende Licht, das rote, macht nur etwa halb so viele Schwingungen in der Sekunde, als das violette, nämlich 375 Billionen. Bei derselben Fortpflanzungsgeschwindigkeit muss mithin seine Wellenlänge doppelt so gross sein, als die des Violett, das heisst 0,8 Tausendstel Millimeter. Schwingungszahl halb, Wellenlänge doppelt, Geschwindigkeit ebenso gross. Vergleichen Sie die verschiedenen Farben mit den Stufen einer Tonleiter, so ist Violett die nächst höhere Oktave von Rot. Rot entspricht dem Ton a_1, Violett a_2.

Aber Rot ist längst nicht der tiefste Ätherton. Der Äther kann sehr viel langsamer schwingen. Schon die von einem dunklen warmen Körper ausgesandten Strahlen zeigen eine weitere Abnahme der Schwingungszahl und entsprechende Zunahme der Wellenlänge. Denn auch die Geschwindigkeit dieser Wellen ist $3 . 10^{10}$ cm/sec. In ihrem Wesen sind die Wellen, die Licht und die, die Wärme zu uns tragen, keineswegs verschieden. Beide sind Querwellen des Äthers von der diesen zukommenden Fortpflanzungsgeschwindigkeit $3 . 10^{10}$ cm/sec., die Lichtwellen schneller schwingend und kürzer, die Wärmewellen langsamer schwingend und länger. Dass sie sich in ihrer physiologischen Wirkung unterscheiden, dass wir zu ihrer Wahrnehmung zweier verschiedener Sinnesorgane: Auge und Haut bedürfen, ist weniger ihre, als unseres Körpers Schuld.

Für noch längere Ätherwellen fehlt ihm nun überhaupt ein Organ, sie aufzunehmen, ein Sinn, sie zu fühlen. Dieses sind die elektrischen Wellen. Auch sie sind im Wesen

nicht von den anderen Querwellen des Äthers unterschieden. Auch sie haben bei derselben Fortpflanzungsgeschwindigkeit von $3 . 10^{10}$ cm/sec. nur eine grössere Wellenlänge l und eine entsprechend kleinere Schwingungszahl n.

Elektrische Wellen sind Ihnen nichts eigentlich neues mehr. Denn die Telegraphierströme und erst recht die Sprechströme verlaufen wellenartig. Unter Wellentelegraphie schlechthin ohne weiteren Zusatz sollte man deshalb niemals die Funkentelegraphie verstehen. Jede Telegraphie ist Wellentelegraphie. Der schon erwähnte Name „drahtlose Telegraphie ist zwar insofern bezeichnend, als das Fehlen eines Leitungsdrahtes zwischen den beiden mit einander telegraphierenden Ämtern allerdings das Hauptmerkmal der Methode ist. Hingegen verlangt sie sonst Draht genug, und eine Station für drahtlose Telegraphie besteht, bei Lichte besehen, zum grösseren Teile aus Draht.

Ein ähnlicher Vorwurf trifft den amtlichen deutschen Namen: Funkentelegraphie nicht. Denn ihr Betrieb wird mit Hilfe von elektrischen Wellen geführt, wie sie vom elektrischen Funken und nicht anders erregt werden. Dabei erscheint mir die Erwägung nicht Ausschlag gebend, dass der Funken auch eine störende Eigenschaft besitzt, und ob unter Bedingungen, wie sie in der Natur nicht vorhanden sind, oder mit Hilfe noch unbekannter Erscheinungen eine Erregung der Wellen auch ohne ihn möglich wäre. Thatsächlich ist es zur Zeit immer der Funke, der den umgebenden Äther[1]) Wellen schlagen lässt, gerade wie die angeschlagene Stimmgabel oder die gestrichene Geigensaite die umgebende Luft.

Was nun die wichtigste Eigenschaft des elektrischen Funkens betrifft, so besteht er, wie Ihnen bekannt, nicht in einem sofortigen Ausgleich des elektrischen Gegensatzes zwischen den beiden Endkugeln von Ruhmkorff oder Influenzmaschine. Vielmehr lässt eine Art Trägheit die Elektricitätsmenge, die den Ausgleich besorgen will, wie ein Pendel über das Ziel hinausschiessen. Zurückschwingend, wiederholt sich das Gleiche in geringerem Grade, bis nach einigen Hin- und Hergängen Ruhe eintritt. Zur Erläuterung des Vorganges wurde seiner Zeit

[1]) Der Name Äthertelegraphie ist nicht besser gewählt. Ohne Äther könnte auch keine Morsespule arbeiten.

(Fig. 59 auf S. 93) ein Funkendiagramm entworfen, an das Sie sich bitte erinnern wollen. Es stellte den Verlauf der Stromstärke J dar in Abhängigkeit von der Zeit t, die der Funken andauert.

Sehen Sie nun dieses wellenförmige Hin- und Herpendeln der Elektricität in dem durch die Funkenstrecke unterbrochenen Drahtkreis als eine elektrische Drahtwelle an. Sie ist zwar selbst an den Leiter gebunden. Aber sie stösst den den Leiter umgebenden Äther zu elektrischen Wellen an, die frei in den Raum hinauswandern. Nun verklingt die Drahtwelle schnell. Das Pendeln in Draht und Funkenstrecke dauert nur kurze Zeit an. Schon wenige Hin- und Hergänge bedeuten eine derartige Ausgabe an Energie, dass alsbald wieder Ruhe eintritt. Das wird darunter verstanden, wenn man die Drahtwelle stark gedämpft nennt, während die von einem Magnetinduktor gelieferte Wechselstromwelle solange ungedämpft andauert, als die Kurbel gedreht wird. Die gedämpfte Drahtwelle hört natürlich mit ihrem Dasein auch sehr schnell wieder auf, freie Wellen auszusenden. Wo die Welle eben erst eingesetzt hat, beruhigt sich gleich darauf der Äther wieder. Die Bewegung ist weitergezogen. Sie werden am nächsten Male sehen, auf welche Weise die Funkentelegraphie die ihr unerwünschte Dämpfung ihrer Wellen bekämpft.

Wie erwähnt, fehlt es unserem Körper an einem Sinnesorgan zur unmittelbaren Wahrnehmung elektrischer Wellen. Die Drahtwellen werden nun freilich von Wechselstrommessern angezeigt. Aber zum Nachweise freier elektrischer Wellen waren auf Grund neuer Thatsachen Wellenzeiger erst zu erfinden. Heute giebt es deren eine ganze Reihe, von denen wir uns einige nachher genauer ansehen werden. Für jetzt bitte ich Sie, mir zu glauben, dass der Inhalt dieser kleinen Glasröhre, eines Fritters, seinen an sich hohen Leitungswiderstand plötzlich und sehr stark verringert, sobald elektrische Wellen auf ihn treffen. Leichtes Klopfen auf die Röhre lässt den gut leitenden Zustand ihres Inhaltes ebenso plötzlich wieder verschwinden, wie er gekommen.

Ein solcher Fritter ist nun hier (Fig. 338) mit einem Trockenelement und einem Galvanometer hinter einander in einen Stromkreis geschaltet. Der hohe Ruhewiderstand des

Fritters hält den Galvanometerzeiger nahezu auf Null. Sie sehen aber den starken Ausschlag, sobald zwischen den Endkugeln des Ruhmkorffs ein kurzer Funke überspringt, und andererseits die Rückkehr des Zeigers, wenn auf den Fritter geklopft wird. Natürlich sind Funkenstrecke und Fritter durch keinen Leiter des elektrischen Stromes mit einander verbunden.

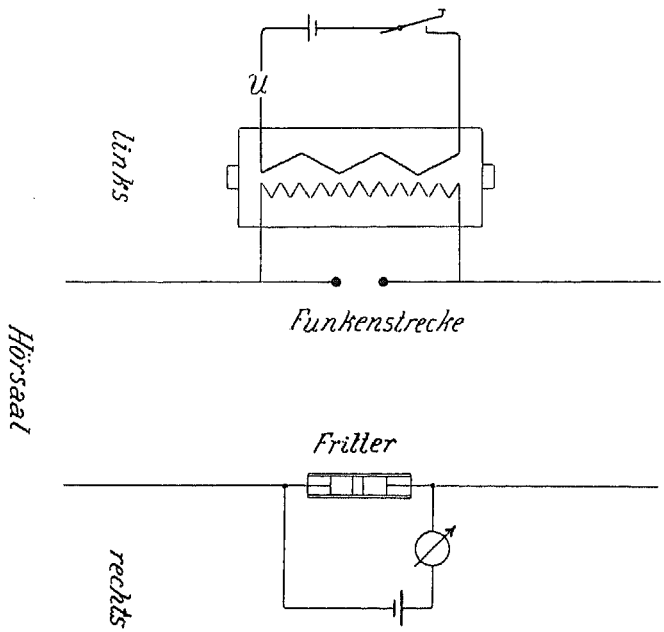


Fig. 338. Nachweis freier elektrischer Wellen.

Aber sie werden, von der hier bedeutungslosen Luft abgesehen, gemeinsam von demselben Äther umspült, von Äther durchsetzt. Dabei stehen sie sich mit den Breitseiten gegenüber und sehen sich gewissermassen an. Überdies trägt jeder von ihnen symmetrisch zwei horizontale Kupferdrähte. Man hat das Drahtpaar am Ruhmkorff äusserlich treffend mit dem durchlöcherten Rohre eines Sprengwagens, das am Fritter und dann beide mit den Fühlern, den Antennen, eines Insektes verglichen. Thatsächlich liegt eine Resonanzerscheinung[1]) vor. Eine Stimm-

[1]) Man thut gut, die früheren Auseinandersetzungen über Resonanz (S. S. 224) nochmals nachzulesen.

gabel bedarf des Resonanzkastens, damit ihre Schwingungen weithin durch den Saal hörbar werden. Die vergrösserte Oberfläche giebt eben die Schwingungsenergie in ganz anderem Maassstabe an die Umgebung ab, als die ursprüngliche. Ebenso vergrössern die Drahtpaare an Ruhmkorff und Fritter die die elektrischen Wellen aussendende und die sie aufnehmende Fläche ausserordentlich. Es ist deshalb erklärlich, dass diese hier horizontal, in der Technik vertikal gespannten Drähte, die Luftdrähte oder Antennen ein notwendiger Bestandteil jeder funkentelegraphischen Station oder, wie wir uns ausdrücken wollen, jedes Funkenamtes geworden sind.

Mit der vor Ihnen stehenden einfachen Einrichtung (Fig. 338): Ruhmkorff mit Funkenstrecke und Sendedrähten von Ihnen aus links und Fritter mit Auffangedrähten, Trockenelement und Galvanometer rechts ist es leicht zu beweisen, dass der Funke elektrische Wellen anstösst. Diese Versuche sind jetzt seit Langem in jedem physikalischen Lehrplan aufgenommen. Wir sahen sie einst voller Begeisterung in ihrer damaligen schwierigen Form von ihrem Erfinder Heinrich Hertz, dessen Namen Sie jenen grössten aller Zeiten zurechnen dürfen, und der bei aller Grösse und, obwohl ein Universitätslehrer, voller Güte und Bescheidenheit war. Mit Wehmut gedenken wir seines frühen Todes, der der Menschheit eine Fülle zu erwartenden Lichtes raubte, eines Verlustes, besonders schwer in einer Zeit, da die grossen Talente vermutlich nicht häufiger, als früher, aber um der breiten Masse Erfolg-hungriger Arbeiter neue Wege zu bahnen, so sehr viel notwendiger geworden sind.

Die Hertzschen Versuche zeigen das Vorhandensein vom Leiter losgelöster, frei durch den Raum ziehender elektrischer Wellen. Sie zeigen, dass vom elektrischen Funken in gerader Richtung eine Strahlung ausgeht, die alle jene Erscheinungen aufweist, die wir an Wellen, in Sonderheit an Lichtwellen gewohnt sind. Wiederholen wir den Versuch von eben. Ein kurzer Druck auf die in den Primärkreis des Ruhmkorff eingeschaltete Morsetaste lässt zwischen den Endkugeln einen Funken überspringen. Der Funken peitscht mit Hilfe der elektrisch schwingenden Sendedrähte Wellen in den Äther. Diese pflanzen sich durch den Raum über dem Experimentiertisch fort und versetzen den Fritterinhalt in seinen leitenden

Zustand. Sichtbares Ergebnis: das Galvanometer schlägt aus. Klopfen auf den Fritter stellt seinen schlecht leitenden Zustand wieder her. Der Zeiger kehrt zurück.

Sie werden als Zeichen, dass elektrische Wellen auf den Fritter gefallen sind, der Ablenkung des Galvanometers den Anschlag eines Weckers vorziehen. Hierzu ist aber ein zu starker Strom notwendig, als dass ihn der empfindliche Fritterinhalt ungefährdet ertragen könnte. Der Wecker kommt deshalb nicht unmittelbar in den Fritterkreis, sondern (vgl. Fig. 339) mit

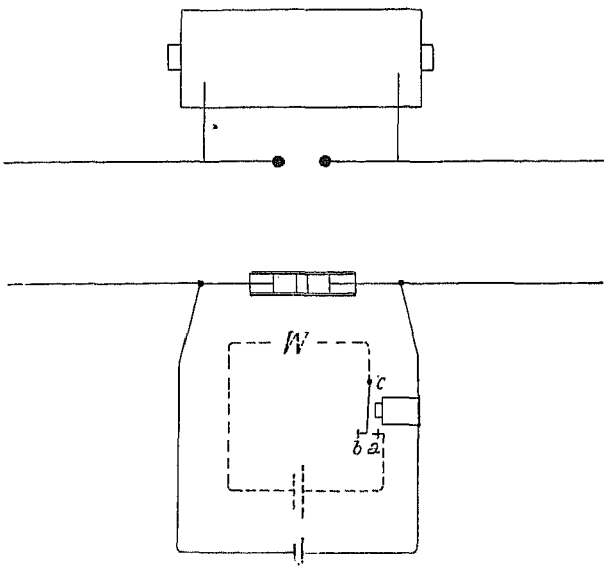


Fig. 339. Empfang elektrischer Wellen mit Fritter und Relais.

seiner Akkumulatorenzelle in den secundären Kreis eines Relais, dessen primäre Wicklung im Fritterkreis liegt. Die mit dem Einschalten des Ruhmkorffs von Funkenstrecke und Antennen ausgesandten Wellen stellen sofort den leitenden Zustand des Fritters wieder her, so dass das Trockenelement durch Fritter und primäre Relaiswicklung einen nennenswerten Strom schickt. Der Relaisanker wird angezogen, und der Wecker schlägt an. Das Klingeln dauert natürlich so lange an, bis der Fritter durch Klopfen nichtleitend gemacht, wie man sagt, entfrittet wird.

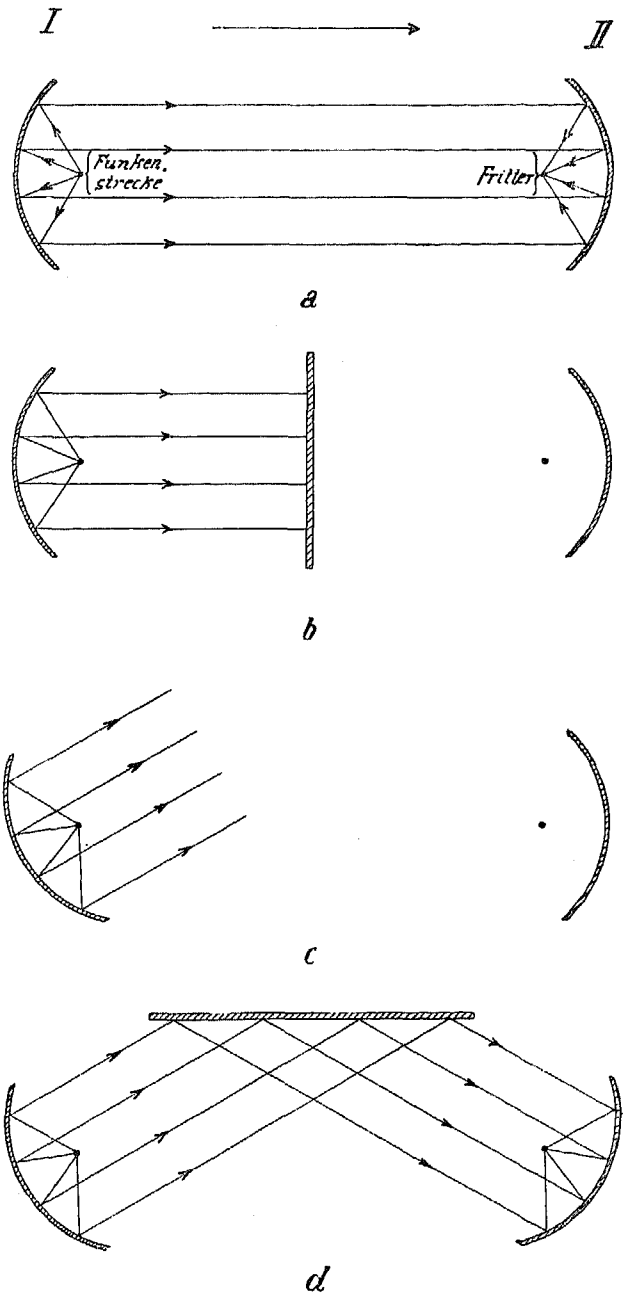


Fig. 340. Spiegelung elektrischer Wellen.

Für den Versuch ist es gleichgiltig, wie lange der Funke zwischen den Ruhmkorffkugeln spielt. Auch ein kurzer Funke macht den Fritter leitend und lässt den Wecker so lange ertönen, bis entfrittet wird. Mehr kann ein lang andauernder Funke auch nicht bewirken.

Auf diesen Punkt werden wir nächstens zurückkommen. Vorher sollen Sie erst sehen, dass sich die von dem Funken ausgesandten Strahlen, wenn sie auch nicht unmittelbar auf das Auge wirken, doch sonst wie Lichtstrahlen verhalten. Da aber dieses Verhalten in der Wellennatur des Lichtes begründet ist, wird durch das gleiche- der elektrischen Strahlung auch deren Wellennatur erwiesen.

Undurchsichtig für elektrische Strahlen sind alle Leiter des elektrischen Stromes. Der Wecker schlägt nicht an, sobald zwischen Funkenstrecke und Sendedrähte einerseits und Fritter und Empfangsdrähte andererseits ein Weissblech oder eine mit Stanniol beklebte Papptafel eingeschoben wird. Nach Entfernung der für elektrische Wellen undurchlässigen Metallschicht hören Sie den Wecker wieder. Dieser Versuch lässt sich hübscher anstellen, wenn man die Antennen fortlässt[1]) und Funkenstrecke, sowohl wie Fritter, in den Brennpunkt je eines parabolisch gebogenen Metallbleches setzt (Fig. 340a). Diese wirken dann genau wie Parabelspiegel, das heisst: die aus dem Brennpunkt (Funkenstrecke) auf sie fallenden Strahlen werden einander parallel gespiegelt und in umgekehrter Richtung die parallel auffallenden Strahlen im Brennpunkt (Fritter) vereinigt. Sie sehen, wie jetzt schon ein kleines Metallblech den Strahlendurchgang verhindert (Fig. 340b). Die Fritterwirkung bleibt auch ohne Metallblech aus, wenn man einen Spiegel (um etwa 30^0) mit ihrer Öffnung aufwärts dreht (Fig. 340c). Der Wecker ertönt aber wieder, sobald das auch mit dem zweiten Spiegel geschieht und das Metallblech horizontal über die Spiegelmitte gehalten wird (Fig. 340d), ein deutlicher Beweis, dass auch hier Spiegelung mit Gleichheit von Auffalls- und Spiegelungswinkel eintritt (vgl. S. 212). Das Gesetz geht natürlich auch bei näherer Betrachtung schon aus der Spiegelung an den

[1]) Es ist hier zu beachten, dass der Fritter von den unmittelbar auf ihn treffenden freien Wellen gerade so angeregt wird, wie vorher von den ihm auf den Antennen zugeführten Drahtwellen.

parabolischen Flächen hervor. In dem letzten Versuch kann ich das spiegelnde Metallblech einfach durch meine Handfläche ersetzen. Auch dann läutet der Wecker. Die Verwunderung, die dieser Versuch erregt, wenn man ihn zum ersten Male sieht, ist aus folgenden Gründen nicht berechtigt. Erstens ist der menschliche Körper mit seinen Lösung durchsetzten Geweben ein Leiter des Stromes. Zweitens sind die Unebenheiten der Handfläche zwar an sich gross, aber im Verhältnis zur Länge der zu spiegelnden elektrischen Wellen klein. Sie vermögen die scharfe Spiegelung viel weniger zu trüben, als viel kleinere Unebenheiten es mit den kurzen Lichtwellen thun würden.

Während sich also die Leiter des elektrischen Stromes als für elektrische Wellen undurchsichtig erwiesen haben, sind die Dielektrika für sie durchsichtig. Ich halte ebene Platten aus Paraffin, aus Glimmer, aus Pappe, aus Glas in den Strahlengang. Die Wellen nehmen von ihnen keine Notiz. Sobald aber ein Prisma aus einem Dielektrikum verwandt wird, tritt dasselbe ein, wie bei Lichtstrahlen, wenn sie aus Luft auf ein Prisma aus durchsichtigem Stoffe fallen, nämlich Brechung. Hertz, der mit längeren Wellen arbeitete, als wir es jetzt für Demonstrationsversuche thun, verwandte ein mannshohes Prisma aus Pech, wie auch seine vertikal gestellten Spiegel reichlich Mannshöhe hatten. Wir stellen dieses kleine in eine Holzform gegossene Stearinprisma in den Strahlengang, und der Wecker schweigt. Sobald aber der Fritter in den Lauf der abgelenkten Wellen gebracht wird, schlägt der Wecker an.

Man kann noch weitergehen und das Vorhandensein elektrischer Wellen schlagend durch ihre Interferenz zeigen. Die von der Funkenstrecke gegen ein Metallblech gesandten Wellen werden von ihm zurückgeworfen, und die fortgehenden Wellen interferieren mit den zurückgehenden-. Ergebnis: stehende elektrische Wellen. Um ihre Wellenlänge zu bestimmen, braucht man nur den Fritter von der Funkenstrecke zur Metallwand verschieben und kann durch sein Verhalten abwechselnd elektrische Bewegung und Ruhe, Bäuche und Knoten der stehenden elektrischen Wellen nachweisen. Der Abstand zwischen benachbartem Knoten und Bauch, bekanntlich (S. S. 214 unten) gleich einer viertel Wellenlänge, kann mit

dem Metermaass gemessen werden. Dann ist die Länge einer elektrischen Welle experimentell bestimmt. Durch Multiplikation der gemessenen Wellenlänge l — zum Beispiel 9 m — und der dazu gehörigen berechneten Schwingungszahl n = 33 Millionen ergiebt sich als Fortpflanzungsgeschwindigkeit elektrischer Wellen $9 . 10^2 . 33 . 10^6 =$ rd. $3 . 10^{10}$ cm, die Lichtgeschwindigkeit. Da, wie mehrfach erwähnt, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Wellen durch die Eigenschaften des Wellenträgers bedingt wird und die Interferenzversuche zeigen, dass sich Licht- und elektrische Wellen mit derselben Geschwindigkeit fortpflanzen, so sehen wir unsere frühere Behauptung, dass beide Wellenarten von demselben Stoffe durch den Raum getragen werden, als erwiesen an.

24. Vorlesung.

Funkentelegraphie.

Zweiter Teil.

Entfrittung. Morsezeichen — Wellenzeiger. Beschreibung der Fritterwirkung. Elektrolytische Zelle — Entladung schwingend oder nicht. $W = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$. Inaktiver Funke. Unterteilte Funkenstrecke. — Eigenperiode eines Schwingungskreises: $T = 2\pi\sqrt{LC}$. Luftdraht schwingt in einer viertel Welle. — Zur Vermeidung von Abfangen und Stören durch Fremde Abstimmung des Ämterpaares notwendig. — Technische Anordnung: Luftdraht. Gegengewicht. Verminderung der Dämpfung mittelst zweier gekuppelter Kreise. — Lose Kupplung. — Abfangen und Stören trotz Abstimmung. Funkentelegraphische Massenwirkung. — Apparate. — Verwendung der Funkentelegraphie.

Sie haben in der vorigen Vorlesung beobachtet, dass auch ein kurzer Funken den Fritterinhalt dauernd in den leitenden Zustand versetzt. Man sieht deshalb nicht recht ein, wie zur Übertragung von Morsezeichen kurz und lange andauernde Funken kurz und lang andauernde Klingelzeichen hervorrufen sollen. Ein ganz einfacher Kunstgriff löst die Schwierigkeit. Während mein Gehilfe aus kurz und lange dauernden Funken Morsezeichen bildet, klopfe ich fortwährend auf den den Fritter in sich bergenden Spiegel. Jener wird dadurch nach kurzem Ansprechen immer sofort wieder nichtleitend gemacht, entfrittet. Jetzt ist die Zeitdauer der Funken nicht mehr gleichgiltig. Vielmehr bewirkt ein Funken von kurzer Dauer ein kurzes Klingeln, einer von langer Dauer eine Reihe schnell auf einander folgender Zeichen oder bei einiger Trägheit des Weckers ein entsprechend langes, fortgesetztes Klingeln. Damit ist die Möglichkeit einer Funkentelegraphie über eine Entfernung von der Länge des Experimentiertisches gegeben. Für den praktischen Betrieb wird das Entfritten natürlich nicht mit dem Finger, sondern einem nach Art eines Weckers elektromagnetisch bewegten Klöppel besorgt. (Fig. 341.)

Die Spule liegt parallel zum Weckerkreise. Sobald mithin das Relais, also der Wecker anspricht, sofort schlägt auch schon der Klöppel *Kl* von unten gegen die Frittermitte und unterbricht damit den primären Relaiskreis.[1]) Kommen weitere Wellenzüge, so ist bei genügend grosser schwingender Masse

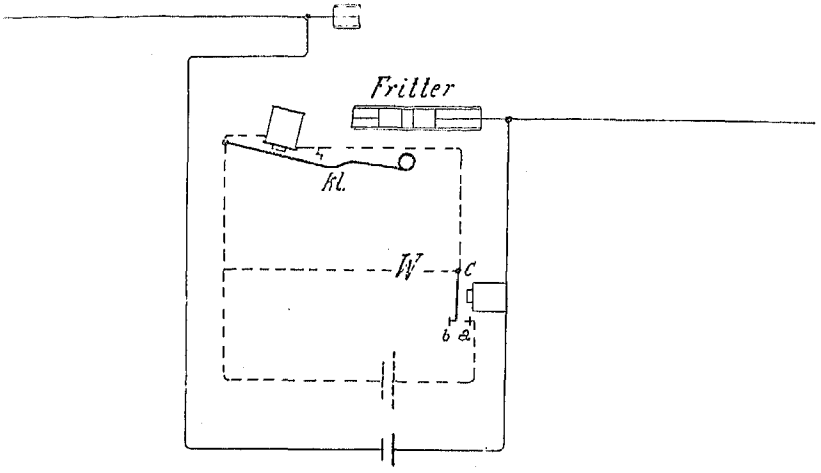


Fig. 341. Entfrittung.

gar nicht so viel Zeit vorhanden, als dass der Wecker vorher zu Ruhe kommen könnte, und er setzt sein Läuten ununterbrochen fort, solange noch Funken übergehen.

Fig. 342. Fritter.
(Schematisch. Körner nicht gezeichnet.)

Zunächst verlangen Sie nun Aufklärung über die Wellenzeiger. Der älteste und meist benutzte ist der Fritter (Fig. 342), den Sie vorhin in Thätigkeit gesehen und von dem Sie gewiss

[1]) Thatsächlich ist die Einrichtung noch etwas verwickelter. Der mit der Unterbrechung des Fritterkreises verknüpfte Öffnungsfunken soli nämlich nicht zwischen den Fritterkörnern übergehen. Deshalb öffnet eben, ehe der Fritter vom Kopf des Klöppels getroffen wird, dessen Stiel einen Contakt im Fritterkreis (vgl. die spätere Fig. 358 auf S. 556).

auch sonst schon öfter gehört haben. Er enthält, eingeschlossen in eine enge Glasröhre, zwei Metallkolben und zwischen ihnen eine kleine Menge von Metallkörnern. Vermutlich damit diese und die Kolbenoberfläche nicht rosten, wird gewöhnlich die Glasröhre leicht ausgepumpt. Obwohl die beiden Metallkolben in den Stromkreis eingeschaltet sind, findet trotzdem für gewöhnlich so gut, wie kein Stromübergang, durch die Körnerschicht statt. Ihr Widerstand ist zu gross. Sobald aber elektrische Wellen auf sie treffen — und zwar gleichgiltig elektrische Wellen welcher Länge — richten sich, wie man unter dem Mikroskop beobachtet hat, die Metallkörner zu Reihen, sich gegenseitig mit den Spitzen berührend. Man wird fast an die gerichteten Elementarmagnete (der Fig. 21b auf S. 39) oder an eine Kette elektrolytisch bewegter Ionen erinnert. Ausserdem springen Funken zwischen ihnen über. Ob diese nun, wie es der Name Fritter ausdrücken soll, die Körnerspitzen leicht aneinander schweissen, oder ob die geringe Menge des von den Funken erzeugten Metalldampfes zur Stromleitung genügt, ist nicht aufgeklärt. Kurz, es entsteht von Kolben zu Kolben eine leitende Brücke. Der elektrische Widerstand des Fritters sinkt auf einen kleinen Betrag herab. Klopfen bringt die Körnerbrücke wieder zum Einsturz, und der Leitungswiderstand erhält seinen hohen ursprünglichen Wert zurück.

Um entsprechend der Amplitude der anzuzeigenden elektrischen Wellen die Empfindlichkeit des Fritters schnell verändern zu können, sind beide Kolben oder einer von ihnen keilartig zugeschärft. Je nachdem man die Glasröhre so dreht, dass die Keilspitze oben (Fig. 343) oder unten liegt, verteilen sich die vorhandenen Körner auf einen grösseren oder kürzeren Raum. Sie liegen weiter von einander entfernt oder enger zusammengedrängt. Die Wellen haben die Herstellung der leitenden Ketten schwerer oder leichter. Die Fritter sind im Allgemeinen zuverlässige Instrumente. Doch verweigert hin und wieder einer auch bei gutem Zureden seinen Dienst, und man hat für alle Fälle eine Reihe von ihnen in einem Etui vereinigt vorrätig (Fig. 344).

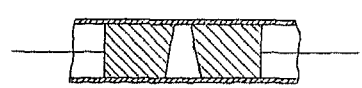


Fig. 343. Fritter mit Keilspait.

Der Fritter ist nicht der einzige Wellenzeiger geblieben. Sein Hauptnebenbuhler ist die elektrolytische Zelle, die im Grunde nichts anderes ist, als eine telephonische Polarisationszelle mit mikroskopisch kleiner positiver Elektrode. (Länge des Drahtes 0,01 mm, Durchmesser 0,001 mm). Wenn die Klemmenspannung der Stromquelle nicht wesentlich grösser ist,

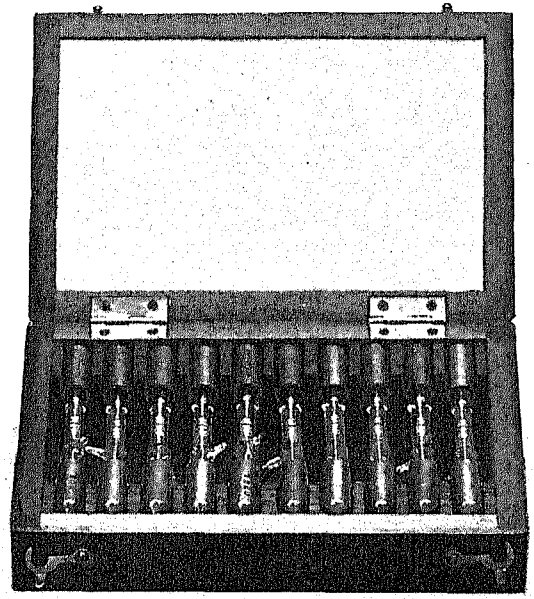


Fig. 344. Fritter in Etui.

als die entgegengerichtete der Zersetzungszelle, wird, wie Sie wissen, der erste kurze Stromdurchgang nur dann fortgesetzt, wenn die Zelle auf irgend eine Weise depolarisiert wird. Sie erinnern sich des Versuches (von S. 147), bei dem einfach eine Federfahne die Wasserstoffblasen von der Elektrode abputzte. Eine ähnliche mechanische Depolarisation bewirken nun, so merkwürdig das auch zuerst klingen mag, die elektrischen Wellen, wenn sie auf die Zelle treffen. Unmittelbar oder mittelbar erschüttern sie die auf den Elektroden abgeschiedenen Gase und fegen sie, wie die Federfahne, von ihr fort. Bei starken Wellen kann man sogar mit blossem Auge beobachten, wie die

Gasblasen durch den Elektrolyten hochsteigen, und man wird an Sömmerings ersten Gedanken einer Telegraphiermöglichkeit erinnert. Die Depolarisation findet statt, solange Wellen auf die Zelle treffen. Für diesen Zeitraum hört sie auf, den Stromweg zu verriegeln. Sind die Wellen vorbeigezogen, tritt die Verriegelung von selbst wieder aufs Neue ein. Die elektrolytische Zelle verlangt mithin nichts dem Entfritten ähnliches. Sie zeigt an, wenn ein Wellenzug sie trifft, und kehrt von selbst ohne weitere Behandlung wieder in ihren ursprünglichen Zustand zurück.

Freilich sind die Ströme, die eine solche Zelle vertragen kann und die die Stromquelle der erforderlichen niedrigen Spannung durch ihren hohen Widerstand hindurchdrückt, klein, zu klein, um ein Relais in Gang zu setzen. Sie eignen sich aber vorzüglich, um unter Ersparung eines Relais in einem eingeschalteten Telephon[1]) ein Knacken hervorzurufen. Wie Fritter und primäre Relaiswicklung, so gehören demnach elektrolytische Zelle und Telephon zusammen. Damit ist zugleich das Klopferprinzip in die Funkentelegraphie eingeführt. Der empfangende Beamte hört das Telegramm mittelst eines Kopfhörers ab und bringt es während dessen in gewöhnlicher Schrift zu Papier.

Darf ich nun zunächst nochmals daran erinnern, dass Funkenentladungen schwingend, in Form eines Wechselstromes sehr hoher Periodenzahl, vor sich gehen. Andererseits haben Sie aber aus statischer Quelle einen Gleichstrom fliessen sehen (S. 112). Auch bei diesem Versuche fand ein Ausgleich stark gespannter Elektricitätsmengen statt, und trotzdem war er nicht schwingend. Die Ursache davon bildeten die in den Leiterkreis eingeschalteten Holzstangen. Ihr ausserordentlich grosser Ohmscher Widerstand legte sich bremsend, dämpfend auf die elektrische Strömung.

Lassen Sie uns das durch ein einfaches mechanisches Beispiel versinnbildlichen. Hier (Fig. 345a) ist ein bis zur halben Höhe mit gefärbtem Wasser gefülltes U-förmiges Glasrohr von 1,5 cm lichter Weite. Ich verschliesse die linke Öffnung mit

[1]) Das Telephon erlaubt auch sehr einfach, die Spannung der Stromquelle gerade auf die Gegenspannung des Wellenzeigers abzugleichen. Man verwendet dazu mehrere Zellen und drosselt von deren Klemmenspannung mit einem Schieberwiderstand soviel ab, bis das schwache Rascheln im Telephon gerade aufhört.

meinem Daumen, neige das Rohr so weit nach links, dass die Wassermenge in den linken Schenkel fliesst, und richte es wieder auf. Im Augenblick, da ich meinen Daumen entferne, hört der einseitige Luftdruck auf das Wasser auf, und es stürzt

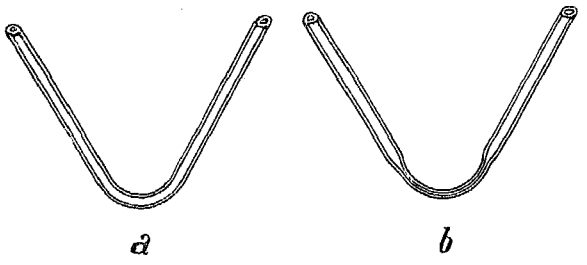


Fig. 345.
Schaukelschwingungen im weiten-, gleichmässiger Fluss im verengten U-Rohr.

in den leeren rechten Schenkel zurück. Dabei vollführt es eine Reihe schaukelnder Schwingungen und kommt erst allmählich zur Ruhe.

Hier ist nun ein zweites U-Rohr (Fig. 345b). Es unterscheidet sich von dem ersten nur durch eine plötzliche und starke Verengung, mit der es der Glasbläser an der Umbiege-

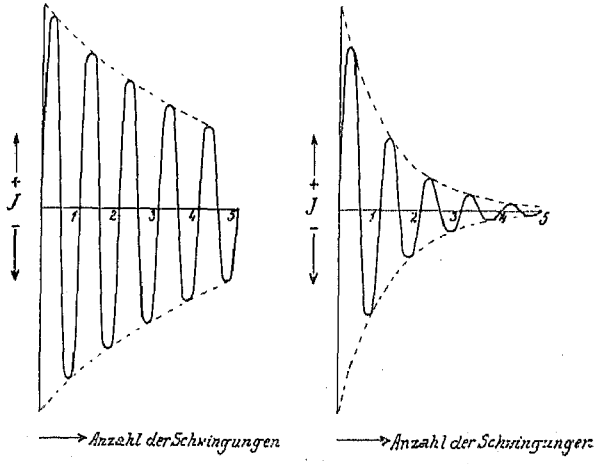


Fig. 346. Dämpfungskurven. Nach Zenneck.

stelle versehen hat. Wird nun mit diesem Rohre der Versuch von eben wiederholt, so sehen Sie jetzt das Wasser in gleichmässigem Flusse aus dem gefüllten Schenkel in den leeren überströmen. Der grosse Widerstand, den die Rohrverengung dem Durchfluss des Wassers bietet, unterdrückt die schaukelnden Schwingungen von vorhin.

Diese beiden Diagramme (Fig. 346) geben Ihnen ein klares Bild von der Wirkung verschieden starker Dämpfung. Sie zeigen eben, wie mit der Anzahl zurückgelegter Schwingungen deren Amplituden verschieden schnell abnehmen. Eine Vermehrung des Ohmschen Widerstandes beschleunigt die Abnahme, bis schliesslich der Wechselstrom in einen Gleichstrom übergeht. Wann dies eintritt, hängt freilich nicht allein vom Widerstande ab, sondern genauer ausgedrückt vom Verhältnis des Ohmschen Widerstandes W zu den beiden anderen Eigenschaften des Leiterkreises: der Selbstinduktion L[1]) und der Capacität C. Alle Leiter besitzen ja Capacität. (S. 374.) Die Entladung wird schwingend, sobald W unter den Wert herabsinkt, der sich aus folgender Formel ergiebt, die ich Ihnen leider nicht elementar ableiten kann:

---

[1]) Bis jetzt habe ich Ihnen die merkwürdige, zuerst vielleicht absurd erscheinende Thatsache vorenthalten, dass die Selbstinduktion eines Stromkreises nach Längen, in der Einheit von 10^9 cm $=$ 10000 km gemessen wird. So ergiebt es die Rechnung, und, wenn Sie auch vergeblich nach einer physikalischen Deutung suchen, müssen Sie sich damit abfinden. Man schreibt einem Stromkreise dann die Einheit der Selbstinduktion 10^9 cm $=$ 10000 km zu, wenn der in ihm fliessende Strom dadurch, dass er sich pro Sekunde um ein Ampere ändert, eine Gegenspannung von einem Volt hervorruft.

So wird die Selbstinduktion des Farbschreibers zu ungefähr 16 Einheiten oder 160000 km angegeben. Aus einer früheren Kurve (Fig. 249 auf S. 370) entnehmen Sie, dass der Telegraphierstrom von — sagen wir — 10 Milliampere am Empfangsende der Leitung in etwa 0,004 Sekunden erlischt. Nach der Erklärung der Einheit der Selbstinduktion muss dabei — Arbeitsstrom ohne Relais und Galvanoskop vorausgesetzt — eine Gegenspannung von $\frac{16 \,.\, 10 \,.\, 10^{-3}\ \text{Amp.}}{4 \,.\, 10^{-3}\ \text{Sec.}} = 40$ Volt entstehen. Schrauben Sie dem Farbschreiber den Anker ab, so sinkt seine Selbstinduktion auf 90000 km, und die Spulen allein ohne Eisen haben nur 7000 km. Diese Zahlen liefern den Beweis für unsere frühere Behauptung, dass die Vergrösserung des magnetischen Widerstandes mit der Kraftlinienzahl auch die Selbstinduktion verkleinert.

Die Selbstinduktionen der Funkentelegraphie sind, wie hier gleich bemerkt werden möge, ausserordentlich viel kleiner.

$$W^2 = \frac{4L}{C} \qquad \text{oder} \qquad W = 2\sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Übersteigt W diesen Wert, so wird aus dem Wechselstrom ein Gleichstrom.

Da es in der Funkentelegraphie auf die Erzeugung von Schwingungen ankommt, denn nur Schwingungen im Leiter können Wellen in den Raum aussenden, muss der Ohmsche Widerstand der Schwingungskreise möglichst klein gewählt werden. Der Hauptwiderstand liegt natürlich in der Funkenstrecke[1]) in der in den Drahtkreis eingeschalteten Luftschicht. Überschreitet diese eine gewisse Länge (etwa 1,5 cm), so nähert sich ihr Widerstand dem Werte $2\sqrt{\frac{L}{C}}$. Die Entladung verliert ihre schwingende Natur, und der Funke geht in einen Lichtbogen über. Er wird inaktiv.

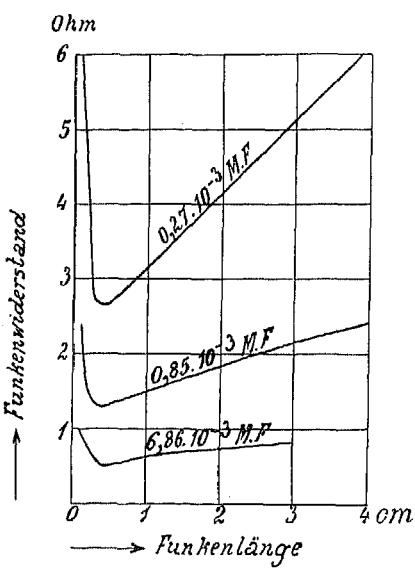


Fig. 347. Abhängigkeit des Funkenwiderstandes von der Funkenlänge. Nach Rempp.

Hier ist nun die wichtige Thatsache zu beachten, deren Ursache hier nicht erörtert zu werden braucht, dass für die vom Funken durchschlagene Luftschicht das Ohmsche Gesetz nicht gilt. Bei kleinen Funkenstrecken[2]) nimmt mit wachsender Länge der Widerstand langsam, bei grösseren schneller zu. Lange Funkenstrecken haben einen unverhältnismässig grossen Widerstand. Andererseits wächst — ebenfalls ganz im Widerspruch mit dem Ohmschen

[1]) Der Arbeitsverbrauch in der Funkenstrecke offenbart sich auch in der bei längerem Betriebe beträchtlichen Erwärmung der Funkenkugeln.

[2]) Allerdings nimmt bei noch kleineren der Widerstand mit wachsender Länge ab, so dass für jeden Schwingungskreis von bestimmter Capacität eine bestimmte günstigste Funkenlänge besteht (vgl. Fig. 347).

Gesetz — der Spannungsunterschied, der im Funken zur Entladung kommt, wohl bei kleinen Funkenstrecken deren Länge entsprechend, bei grossen aber weniger. Die Funkenspannung ist bei langen Funkenstrecken unverhältnismässig niedrig, wie das auch aus den drei früher (S. 16) angegebenen Werten hervorgeht. Lange Funkenstrecken haben somit zwei Nachteile: Ihre schädliche Eigenschaft, der Widerstand, ist unverhältnismässig gross, ihre nützliche, um deren Willen sie vorhanden sind, die zur Entladung kommende Spannung, unverhältnismässig klein. Sie werden sich deshalb nicht darüber wundern, dass man die Funkenstrecke in Teile zerlegt, unterteilt. Die Spannungsunterteilung geschieht dabei durch kleine Hilfscondensatoren (Fig. 348). So wird zum Beispiel ein Fall

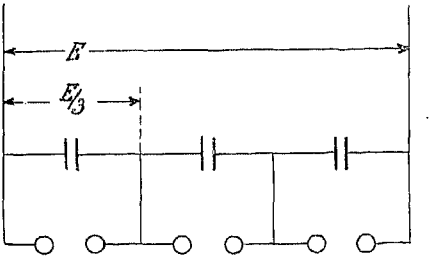


Fig 348. Unterteilte Funkenstrecke.

angegeben, in dem eine 10 mm lange Funkenstrecke, die bei einem Spannungsunterschiede der Kugeln von etwa 30000 Volt durchschlagen wird, einen Widerstand von 15 Ohm aufweist. Ersetzt man diese eine grosse Funkenstrecke durch drei kleine von je 2,5 mm hintereinander, so ist die Funkenspannung mit dreimal 10000 Volt die alte. Aber der Widerstand hat nur den kleinen Betrag von dreimal 0,2 = 0,6 Ohm, nur den fünfundzwanzigsten Teil von früher, ein ausserordentlicher Gewinn.

Der Ohmsche Widerstand des Leiterkreises bestimmt nun nicht nur überhaupt, ob die Entladung schwingend verläuft oder nicht. Auch wenn sie schwingend verläuft, beeinflusst er Amplitude und Schwingungszahl. Für den Fall aber der Widerstand als sehr klein angesehen werden kann, hängt angenähert die Schwingungszahl allein von den beiden

anderen Eigenschaften des Kreises: von Selbstinduktion L und Capacität C ab. Sie möchten einwenden, die Schwingungszahl in dem Kreise: secundäre Spule des Ruhmkorff, Funkenstrecke, Sendedrähte werde zwangläufig von der Anzahl der primären Unterbrechungen bestimmt. Das wäre ein Irrtum. Die Unterbrechungen wirken nur als Anstoss. Sie lösen nur die Eigenschwingung des secundären Kreises aus, und gerade die Periodenzahl dieser Eigenschwingung ist es, wonach wir fragen. Die Eigenschwingung kann dann stattfinden, wenn sie so gut wie gar keinen Widerstand erfährt. Den Ohmschen Widerstand haben wir schon sehr klein gemacht. Aber unser Schwingungskreis ist voller Selbstinduktion, und diese ist bestrebt, die Wechselstromwelle abzudrosseln. Den gleichen Wunsch hat die Capacität, wie Sie es ja von Telegraphier- und Sprechströmen her gewohnt sind. Aber Sie kennen auch den Gegensatz beider, wie er in den Induktanzrollen und Pupinspulen der Kabel zum schönen Ausdruck kam. Wenn man Selbstinduktion und Capacität gerade so gross macht, dass beide sich gegenseitig aufheben, so entsteht ein Zustand, als wenn keine von beiden Störungsursachen vorhanden wäre und für den geradezu wieder das Ohmsche Gesetz gilt. Die Elektricitätsmengen können ungehindert und leicht über den Leiter pendeln. Der Kreis ist auf seine Eigenschwingung eingestellt, auf den elektrischen Eigenton abgestimmt.

Der Widerstand durch Selbstinduktion und der durch Capacität heben sich, wie Sie mir glauben wollen, gerade dann auf, wenn die Gleichung gilt

$$2\pi n L = \frac{1}{2\pi n C}$$

Die Produkte aus 2π, der Schwingungszahl n und der Selbstinduktion L einerseits, der Capacität C andererseits haben reziproke Werte.

Der ausserordentlich bedeutende Einfluss, den trotz unveränderter Spannung der Wert der Capacität in einem Schwingungskreise auf die Grösse der pendelnden Elektricitätsmengen ausübt, wird von dieser Kurve hier (Fig. 349) veranschaulicht. Sie bezieht sich auf einen Stromkreis, der von einem

technischen Wechselstrome von $n = 50$ Perioden pro Sekunde durchflossen wird. Die Selbstinduktion L beträgt 3830 km $= 0{,}383$ Einheiten, mithin dies Produkt $2\pi n L = 2\pi . 50 . 0{,}383 = 120$. Die Kurve zeigt die Abhängigkeit der fliessenden

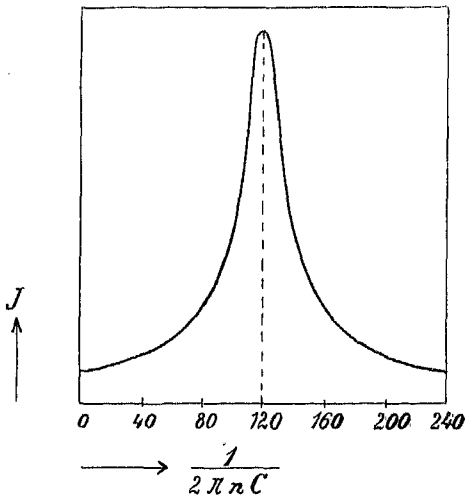


Fig. 349. Resonanzkurve.

Die Stromstärke J in einem Kreise mit dem Selbstinduktionswiderstand $2\pi n . L = 120$ in Abhängigkeit vom Capacitätswiderstand $\frac{1}{2\pi n C}$. Stromspitze, wenn letzterer ebenfalls 120. Nach Zenneck.

Stromstärke J von dem Werte der in den Kreis eingeschalteten Capacität. Sie sehen, wie die Zunahme von C den Wert von J ausserordentlich beeinflusst und gerade der Wert von $C = 26{,}5\ MF$ eine heftige Stromsteigerung hervorruft, weil jetzt die Grösse

$$\frac{1}{2\pi . n . C} = \frac{1}{2\pi . 50 . 26{,}5\ 10^{-6}} = 120,$$

eben den Wert von $2\pi n L$ erreicht. Selbstinduktion und Capacität heben sich in ihrer Wirkung gerade auf. Die Schwingungsbahn ist von den Hindernissen gleichsam reingefegt und das

mächtige Anwachsen des Stromes die Folge. Jetzt findet ein nur durch den geringen Ohmschen Widerstand allmählich beendigtes Pendeln der Coulomb durch den Kreis statt.

Aus der angegebenen Gleichung berechnet sich — immer unter der Annahme eines sehr kleinen Ohmschen Widerstandes — die Schwingungszahl zu

$$n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

und folglich die Dauer einer einzelnen Schwingung

$$T = \frac{1}{n} = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Setzen Sie hierin L in Selbstinduktionseinheiten $= 10000$ km und C in Farad ein, so erhalten Sie n als die secundliche Schwingungszahl und T als die Dauer der einzelnen Schwingung in Sekunden. Es ist die

$$\text{Schwingungsdauer in Sekunden} = \frac{1}{\text{Schwingungszahl pro Sekunde}} = 2\pi\sqrt{\text{Selbstinduktion in 10000 km} \cdot \text{Capacität in Farad}}$$

Berechnen Sie zum Beispiel die Dauer der Eigenschwingung eines Kreises, dessen Selbstinduktion 10^{-5} Einheiten $=$ 100 m und dessen Capacität 10^{-8} Farad $=$ 0,01 MF beträgt.

$$T = 2\pi\sqrt{10^{-5} \cdot 10^{-8}} = 2\pi\sqrt{10} \cdot \sqrt{10^{-14}} = \text{rd. } 2 \cdot 10^{-6} = \frac{2 \text{ Sekunden}}{1 \text{ Million}}$$

In der Sekunde würden

$$n = \frac{1}{T} = \frac{1 \text{ Million}}{2} = 500000 \text{ Schwingungen ausgeführt.}$$

Das zur Erläuterung der wichtigen Formel, die uns in den Stand setzt, Leiterkreise mit einer bestimmten gewünschten

Eigenschwingung herzustellen, dadurch, dass sie das dafür notwendige Produkt Selbstinduktion mal Capacität vorausberechnen lässt.

Zwei einfache Versuche sollen Ihnen nämlich nachher die Notwendigkeit zeigen, mit Wellen bestimmter Längen zu telegraphieren, und die Länge der ausgesandten freien Wellen hängt natürlich von der Schwingungszahl der sie erregenden Drahtwellen ab. Unsere alte Wellenformel ergiebt:

$$l = \frac{c}{n} = c\,T = 3 \cdot 10^{10} \cdot 2\pi \sqrt{L_{10\,000\ \mathrm{km}} \cdot C_{\mathrm{Farad}}}\ \mathrm{cm}$$

oder etwas praktischer geformt

$$l = 6\pi \sqrt{10\, L_{\mathrm{cm}} \cdot C_{MF}}\ \mathrm{m}.$$

In dem eben angeführten Beispiel haben demnach die ausgesandten Wellen eine Länge von

$$l = 6\pi \sqrt{10 \cdot 10^{4} \cdot 10^{-2}} = 60\pi \sqrt{10} = \text{rd. } 600\ \mathrm{m}.$$

Die gleiche Länge erhalten Sie natürlich, wenn Sie die vorhin berechnete Schwingungszahl einsetzen:

$$l = \frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^{10}\ \mathrm{cm/Sec}}{5 \cdot 10^{5}\ \mathrm{Schwingungen/Sec}} = 6 \cdot 10^{4}\ \mathrm{cm/Schwingung}.$$

Soll mithin ein Schwingungskreis eine Welle von 600 m aussenden, so muss seine Eigenschwingung die Periodenzahl 500000 pro Sekunde besitzen, und dazu ist für das Produkt LC der Wert 100 cm . MF notwendig.

Wenn man nun für einen geraden senkrechten Draht von der Länge s die Dauer T und die Wellenlänge l der Eigenschwingung berechnet und dazu die aus der theoretischen Betrachtung für Selbstinduktion und Capacität eines Drahtes folgenden Werte einsetzt, so erhält man, wie Sie mir ebenfalls

glauben wollen, das verblüffend einfache Ergebnis, dass der Draht elektrisch in einer viertel Wellenlänge schwingt.

$$l = s/4.$$

Am Fusse des Drahtes hat die Welle der elektrischen Spannung[1]) einen Knoten, an der Spitze einen Bauch. Die Entfernung von benachbartem Knoten und Bauch ist eben eine viertel Wellenlänge. Der Draht schwingt elektrisch gerade so, wie ein elastischer Blechstreifen mechanisch, den sie am unteren Ende in einen Schraubstock spannen und am oberen senkrecht zur Blechoberfläche anstossen. Zwischen den Klemmbacken liegt ein Knoten, am oberen Ende des Blechstreifens ein Bauch der Schwingung.

Doch lassen wir diese Dinge auf sich beruhen und stellen lieber die beiden Versuche an, die Sie überzeugen sollen, dass die Wellen der praktischen Funkentelegraphie auf bestimmte Längen abgestimmt werden müssen. Hier steht noch der Aufbau von vorhin, unterstützt von Luftdrähten, Wellen — ohne Rücksichtnahme auf ihre Länge — von einer Funkenstrecke auszusenden und sie mit einem Fritter anzuzeigen. Aus den kürzeren und längeren Klingelzeichen hören Sie das Morsetelegramm, das ich mit der im Primärkreise des Ruhmkorff liegenden Taste gebe. Nun wird auf der anderen Seite von der Funkenstrecke in eben der Entfernung, wie der erste Fritter, ein zweiter aufgestellt. Auch er trägt Luftdrähte und liegt im Primärkreise eines Relais. Nur enthält dieses secundär statt des Trockenelementes und Weckers eine kleine Akkumulatorenbatterie und eine Glühlampe. Der zweite Fritter empfängt genau, wie der erste, und kurzes und längeres Aufleuchten seiner Glühlampe fällt ebenso, wie das Läuten des Weckers, mit den Funkenzeichen und der Arbeit meiner Taste zusammen. Ergebnis: Eine in der bis jetzt geschilderten Weise betriebene Funkentelegraphie gestattet, von einem Punkte aus die gleiche Nachricht gleichzeitig an eine Reihe von Empfängern zu geben,

---

[1]) Da elektrische Drahtwellen nichts anderes sind, als Wechselströme hoher Periodenzahlen, so bestehen natürlich für sie die Begriffe Spannung und Strom zu Recht, und ebenso gilt das Gesetz des Transformators ($E_I : E_{II} = n_I : n_{II}$).

was in manchen Fällen nützlich ist. Sie gestattet aber auch jedem, die nicht chiffrierte Nachricht abzufangen, der mit oder ohne Absicht seinen Fritter in das Bereich der sich in einer Halbkugel nach allen Seiten ausbreitenden Wellen bringt. Schon damit hätte die Funkentelegraphie einen Teil ihrer Brauchbarkeit verloren.

Ihr Todesurteil würde aber gesprochen, wenn jeder böswillig oder nur dadurch, dass er auch telegraphiert, den Betrieb des anderen stört. Das zeigt Ihnen der zweite Versuch. Funkenstrecke I soll ein Telegramm nach Fritter I, ein zweiter dem ersten gleicher Ruhmkorff und eine ebenfalls gleiche, neue Funkenstrecke II ein anderes nach Fritter II geben. Ich arbeite mit Taste I, mein Gehülfe unabhängig von mir mit Taste II. Was ist die Folge? Die Zeichen stören sich gegenseitig. Der zu I gehörende Wecker sowohl, wie die zu II gehörende Glühlampe, geben beide ein unentwirrbares Gemisch von Zeichen. Keiner von beiden Empfängern kann sein Telegramm entziffern, weil der andere — ohne bösen Willen, rein in Verfolgung seines eigenen Interesses — immer dazwischen giebt. Es ist, als ob Sie auf einer Schützenwiese in der Mitte zwischen zwei Karoussels ständen, deren Leierkasten gleichzeitig und gleich laut ihre besondere Melodie spielen. Man hört keine von beiden ordentlich, sondern nur einen unentwirrbaren Lärm.

Jede praktische Funkentelegraphie verlangt mithin gegenseitige Abstimmung der zu einander gehörigen Geber und Empfänger, so dass eine Störung dieser letzteren durch fremde Wellen ganz oder möglichst ausgeschlossen wird. Die Abstimmung besteht zur Zeit darin, dass jedes Ämterpaar — gleichzeitig — nur mit Wellen einer bestimmten Länge arbeitet, dass Amt I nur Wellen dieser bestimmten Länge ausschickt und das zugehörige Amt II nur Wellen eben dieser Länge aufnimmt und keine oder möglichst keine anderen. Wie das zu erreichen, lehrt unsere Formel. Geber und Empfänger erhalten bestimmte Selbstinduktionen und Capacitäten, so dass deren Produkt $L \cdot C$ den verlangten Wert besitzt. Dann werden nur Wellen der verlangten Länge ausgesandt und — möglichst — nur solche aufgenommen. Die Einstellung auf das richtige LC geschieht sehr einfach mit Apparaten, die Sie nachher kennen lernen werden.

Um nun eine technische Funkentelegraphie zu ermöglichen, muss die einfache Anordnung unserer Versuche des weiteren in mehrfacher Hinsicht verändert werden. Zunächst wird, wie erwähnt, je einer der beiden Sender- und Empfangsdrähte aus der horizontalen Lage in die vertikale gebracht. So entsteht der Luftdraht oder, um mit dem Namen auch verwickeltere Gebilde als einen einfachen Draht zu begreifen, der Luftleiter. Um durch Abgabe grosser Energiemengen weite Entfernungen zu überbrücken, hat man capacitätsreiche Luftleiter von ausserordentlicher Grösse aufgeführt, wie Sie sie hier in der Abbildung einer grossen Marconistation (Fig. 350) vor sich sehen. Der

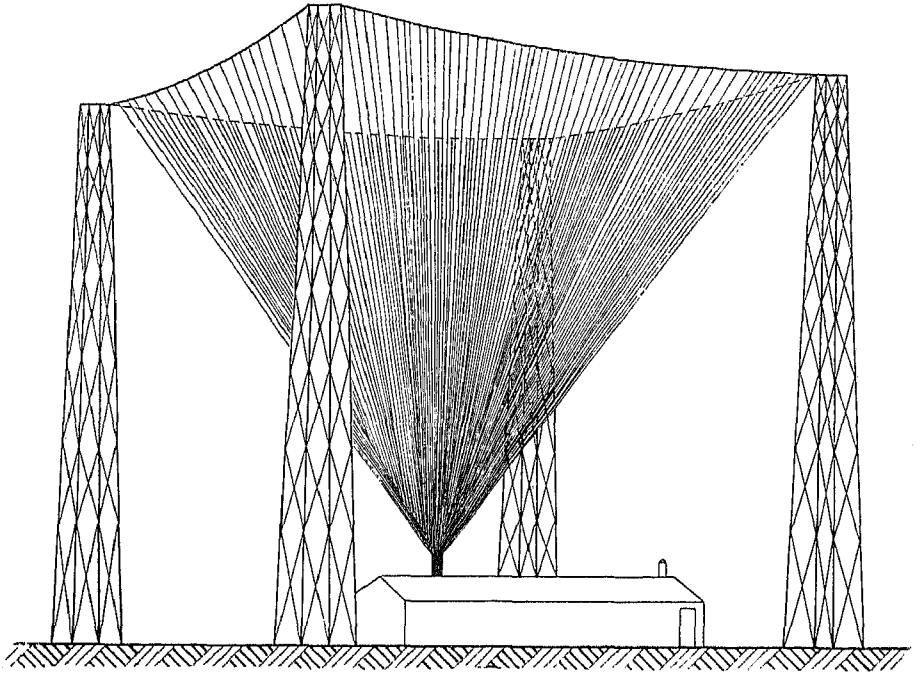


Fig. 350. Grosses Funkenamt. (Schematisch.)

zweite Sender- und Empfangsdraht wird unterdrückt und durch ein Capacitäts-Gegengewicht ersetzt, das heisst einen Leiter von gleicher Capacität, wie der Luftleiter. Als Gegengewicht spannt man auf der Erde, doch von ihr isoliert, ein

Drahtnetz von mehreren Quadratmetern Fläche aus. Früher wurden statt dessen Funkenstrecke und Fritter an Erde gelegt. Aber durch das Gegengewicht erreicht man eine schön symmetrische Schaltung und vermeidet die Schwierigkeit, gute Erde[1]) zu finden oder die sonst häufig eintretenden Störungen durch Luftelektricität.

Nun erlaubt unsere Anordnung noch keine Abstimmung, weil die Wellen im Luftdraht zu stark gedämpft sind. Ihre Amplituden nehmen auch bei geringem Ohmschen Widerstande der Leiter sehr schnell ab. Beim Sendedraht sieht man leicht, dass daran die grossen Energiemengen Schuld sind, die er in den elektrischen Wellen nach aussen abgeben muss und die ihm nicht schnell genug nachgeliefert werden können. Die stark gedämpten Drahtwellen vermögen dann ihrerseits nur kurze Wellenstösse in den Raum auszusenden, und diese erregen in dem Empfangsdraht auch nur schnell verklingende Wellen. Hingegen dauern diese lange an, sobald ein lang andauernder Zug freier Wellen der richtigen Länge den Empfangsdraht trifft, gerade, wie man eine Schaukel am wirksamsten durch eine Anzahl zur richtigen Zeit abgegebener, das heisst auf die Schwingungsdauer der Schaukel abgestimmter, wenn auch schwacher Stösse »in Schwung bringt«. Das ist ja der Sinn der Resonanz.

Die somit vorliegende Aufgabe, im Geber wenig gedämpfte Schwingungen zu erzeugen, kann nur gelöst werden, wenn die in den Wellen nach aussen fortstrahlende elektrische Energie immer schleunigst wieder ersetzt wird. Der Schwingungskreis muss gehörig mit elektrischer Energie geladen und dazu seine Capacität vergrössert werden. Hinter die Funkenstrecke werden deshalb Condensatoren eingeschaltet. Verhältnismässig grosse Elektricitätsmengen finden in diesen Platz und pendeln in dem durch unsere Formel gegebenen Takte durch den Schwingungskreis hin und her. Die Condensatoren vermindern nicht nur die Dämpfung, das heisst die Abnahme der Amplitude der elektrischen Schwingung, sondern vergrössern auch deren Anfangswert. Sie verhelfen dazu, mit nahezu derselben und zwar grossen

[1]) Bei Schiffen ist das noch am leichtesten. Sonst wirkt ein einigermassen beträchtlicher Widerstand der Erdung natürlich stark dämpfend. Das hat kürzlich den englischen Versuch, im trockenen Südafrika drahtlos zu telegraphieren, scheitern lassen.

Amplitude andauernde Draht- und somit kräftige und andauernde freie Wellen zu erzeugen.

Es ist zweckmässig, den Sender noch weiter zu verändern. Die beiden Aufgaben, die er bis jetzt gemeinsam erfüllte: Erzeugung von Drahtwellen und Aussendung freier Wellen werden an zwei verschiedene Schwingungskreise übertragen. Mit anderen Worten: Man entfernt den Luftdraht aus dem Kreise, der die Schwingungen erzeugt, und überträgt auf ihn die Drahtwellen durch Induktion.

So besteht jetzt der Geber, wenn Sie von der Unterteilung der Funkenstrecke absehen, wie hier (Fig. 351) gezeichnet,

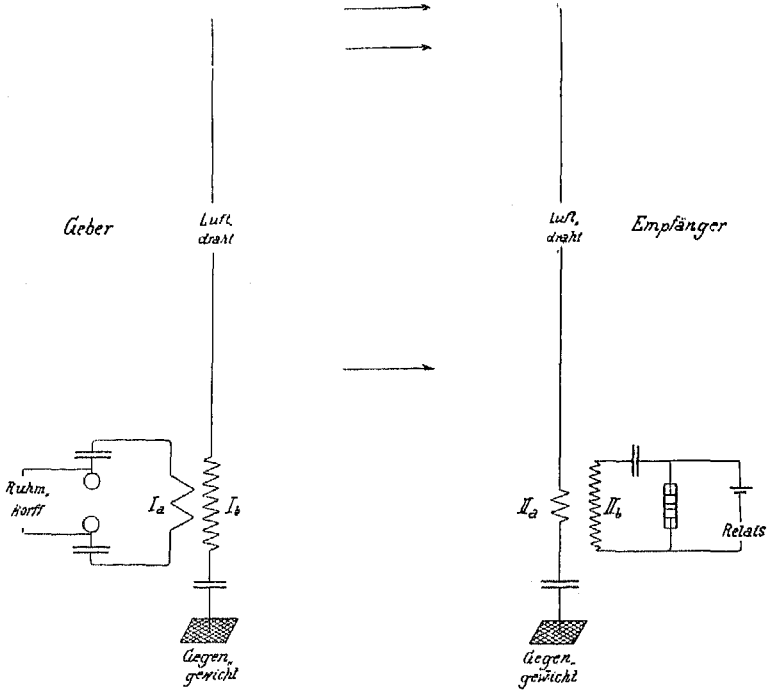


Fig. 351. Prinzipielle Schaltung.

aus zwei elektrisch getrennten, elektromagnetisch gekuppelten Kreisen. Kreis Ia erzeugt wenig gedämpfte Drahtwellen, das heisst solche mit nur langsam abnehmender Amplitude. Diese werden von Kreis Ia, wie aus einer Vorratskammer, fortgesetzt

durch Induktion auf 1b übertragen, so dass der Luftdraht andauernd freie Wellen aussenden kann.

Wenn möglich, wird man bestrebt sein, diese Induktion mit einer Spannungserhöhung der Welle zu verknüpfen. Denn der Fritter verlangt zum kräftigen Ansprechen möglichst hohe Spannungen. Auch verträgt er nur kleine Ströme. Man wird deshalb geneigt sein, die Windungszahlen so zu bemessen, dass die Amplitude der Spannungsschwingung herauftransformiert wird.

Nun versteht es sich, dass beide Kreise[1]) nur dann wirkungsvoll arbeiten, wenn sie dieselbe Eigenschwingung besitzen. Für beide muss das Produkt $L\,C$ auf den gleichen Wert abgestimmt sein. Im Kreise 1a machen die Condensatoren den Faktor C des Produktes LC gross. L muss daher entsprechend klein sein, wenn T, die Dauer einer Schwingung und damit l, die Wellenlänge nicht unangemessen gross werden sollen. Die Selbstinduktion des Kreises 1a ist deshalb klein zu halten. Auch zu diesem Zweck hat mithin die primäre Transformatorspule wenig Windungen und der Transformator kein Eisen. Anders im Kreise 1b. Seine Selbstinduktion muss gross sein, weil die Capacität des Luftdrahtes und die gleiche des Gegengewichtes klein ist. Der Transformator hat secundär auch dem Produkt $L\,C$ zu Liebe eine beträchtliche Windungszahl.

Ähnliche Erwägungen, wie sie zum Einschalten einer Capacität hinter die Funkenstrecke und zur Zerlegung des Gebers in zwei elektromagnetisch lose gekuppelte Kreise führen, sind nun ebenfalls für den Empfänger anzustellen. Auch er wird in zwei Kreise: IIa den Luftdrahtkreis und IIb den Frittkreis gespalten, die durch einen Transformator ohne Eisen verknüpft sind. Hier trifft abermals der Wunsch einer weiteren Erhöhung der Spannungsamplitude mit den Anforderungen des Produktes LC glücklich zusammen. Der Empfänger ist nicht etwa ein Spiegelbild des Gebers. Vielmehr liegt die grössere Capacität auch bei ihm im Primärkreise (IIa), weil dieser dadurch von aussen zu möglichst ungedämpftem Schwingen angeregt werden soll. Zur Herstellung des alten Wertes von $L\,C$ hat

[1]) Man stosse sich nicht daran, dass Ib, ebenso wie nachher IIa, auch als Schwingungskreis bezeichnet ist. Sie sind gewissermassen dielektrisch durch Luft geschlossen.

dann IIa eine kleine Selbstinduktion, IIb eine grosse. Es sind so — vom primären Ruhmkorff abgesehen — alle vier Schwingungskreise auf dasselbe T abgestimmt:

$$T_{Ia} = T_{Ib} = T_{IIa} = T_{IIb} \quad \text{weil}$$

$$L_{Ia}\, C_{Ia} = L_{Ib}\, C_{Ib} = L_{IIa}\, C_{IIa} = L_{IIb}\, C_{IIb}.$$

Bei einer früheren Gelegenheit war von der Streuung der Kraftlinien die Rede. Ein Transformator hat eine grosse Streuung, wenn die vom Strome in der einen Wicklung erzeugten Kraftlinien sich in beträchtlicher Anzahl durch die Luft schliessen, ohne vorher die Windungen (oder die umwundene Fläche) der anderen Spule zu schneiden. Diese Kraftlinien sind insofern technisch verloren, als sie an der Arbeitsübertragung von einer Spule zur anderen keinen Anteil nehmen. Trotzdem müssen, wie wir damals (S. 241) sagten, für diese Streulinien natürlich ebenso gute Amperewindungen aufgewandt werden, wie für die nützlich thätigen Kraftlinien. Der hierin begründete Verlust an Stromwärme in der Wicklung ist für die Streulinien nicht geringer, als für die Nutzlinien. Aber wenn sie nicht induzieren, weil sie eben keine fremden Windungen schneiden, so geben sie auch keine Induktionsarbeit aus. Ihre Erzeugung bedeutet keine grosse Verschwendung.

Das hat für die Funkentelegraphie Bedeutung. Denn bei ihren Transformatoren zwingt, wie Sie schon hörten, kein Eisen durch seine hohe Permeabilität die Kraftlinien in den vorgeschriebenen Weg. Diese streuen daher in sehr viel grösserer Anzahl als bei den gewöhnlichen, Eisenkernhaltigen Transformatoren. Beim Geber sowohl, wie beim Empfänger sind beide Schwingungskreise mit einander nur lose elektromagnetisch gekuppelt. Dadurch wird allerdings die aus einer Transformatorspule in die andere übertragene Leistung verkleinert. Denn die induzierte Spannung ist ja der Kraftlinienänderung proportional, bei weniger sich in gleichem Takte ändernder Kraftlinien also kleiner. Aber, und das ist das Geheimnis der losen Kupplung, sie macht die Abstimmung schärfer. Folgende einfache Überlegung wird Ihnen das bestätigen.

Die Wicklungen eines Transformators seien ziemlich eng gekuppelt. Die secundäre- habe, so sei gemessen worden, eine Selbstinduktion von L Einheiten. Während der Messung waren die Klemmen dieser secundären Wicklung offen. Im Betriebe hingegen fliesst durch sie ein Induktionsstrom. Der bildet natürlich um sich herum auch Kraftlinien, die zum grösseren Teile nun rückwärts die primäre Spule schneiden. Deren Selbstinduktion fügt sich eine Fremdinduktion hinzu. Mag dann auch jede von beiden Wicklungen für sich allein das richtige $L\,C$ und damit das verlangte T besitzen, die Rückwirkung der secundären Schwingungen lässt verwickelte Erscheinungen eintreten. Durch das gemeinsame elektrische Erklingen beider eng benachbarter Kreise geht die scharfe Abstimmung verloren. Um diese zu erhalten, ist es notwendig, beide Wicklungen beim Geber ebenso, wie beim Empfänger, lose zu kuppeln. Schneiden zum Beispiel von den in der einen Spule erzeugten Kraftlinien nur 10 % die Windungen der anderen Spule, so würden die primären Kraftlinien nur von 1 %[1]) solcher aus der secundären Spule rückwirkender gestört werden. Diese Abbildung eines Empfangstransformators (in Fig. 359 auf S. 537 auf der Konsole links) zeigt Ihnen, dass man die weiter gewickelte, secundäre Spule aus der Windungsebene der enger gewickelten, primärenganz herausschieben und so die ohnehin schon lose Kupplung beider noch weiter lockern kann.

Wir haben nun kurz auf die wichtige Frage einzugehen, inwieweit die Abstimmung der Wellenlänge die Funkentelegramme vor Abgefangenwerden und Störung schützt. Im Frieden wird sich das im allgemeinen erreichen lassen, weniger im Kriege. Hier ist es für einen Gegner nicht schwer, wenn er die Wellenlänge nicht schon kennt, sie durch Messung oder schlimmsten Falles durch Probieren zu ermitteln und seine Apparate auch auf sie einzustellen. Er kann dann abfangen, was ihm aber bei chiffrierten Depeschen nur nützen wird, wenn er im Besitze des Chiffreschlüssels ist. Einen Schutz dagegen bilden schnelle Veränderungen der Wellenlänge, auf

[1]) Genauer betrachtet ist das allerdings nur bei einem Transformator mit dem Umsetzungsverhältnis 1 : 1 der Fall. Bei Herauftransformation wird secundär der Strom und damit die Kraftlinienzahl und damit die störende Rückwirkung auf den Primärkreis im Verhältnis n_1/n_2 verkleinert.

die die befreundeten Ämter eingeübt sein müssen, so dass der Gegner nicht mitkommt. Schnelle Längenänderung schützt auch vor Störung — einschliesslich absichtlich falscher Meldungen — durch den Gegner, denn gegen genügend kräftige Wellen der richtigen Länge ist kein Empfänger immun. Ein benachbarter Gegner wird sogar durch Wellen fremder Länge stören können, wenn er über einen hervorragend kräftigen Sender verfügt.

Es gibt nämlich in der Funkentelegraphie ein Gesetz, das äusserlich Ähnlichkeit mit dem Gesetz der Massenwirkung aufweist, von dem die chemischen Vorgänge beherrscht werden, und das ich das Gesetz der funkentelegraphischen Massenwirkung nennen möchte. Ob nämlich zwischen zwei Stoffen eine chemische Umsetzung stattfindet oder nicht, wird nicht nur von ihrer chemischen Natur bedingt, sondern ebenso von der Menge, in der beide Stoffe aufeinander treffen. Ob ein funkentelegraphischer Empfänger auf andere Wellenlängen, als auf die er abgestimmt ist, anspricht, hängt von der Amplitude dieser Wellen, gleichsam von ihrer Masse, ihrer Concentration ab. Wellen von einem benachbarten kräftigen Sender werden sich auch bei recht verschiedener Länge noch bemerkbar machen.

Wollen Sie nun bitte Ihre Aufmerksamkeit den Apparaten zuwenden, wie sie die technische Funkentelegraphie[1]) ausgebildet hat. Jeder Apparatesatz vereinigt natürlich Geber und Empfänger in sich, gerade wie bei der Stromtelegraphie.

Was zunächst die Stromquelle anbetrifft, so wird der Ruhmkorff nur für kleine Leistungen bis etwa 350 Watt, das ist für ein Geben auf etwa 150 km Entfernung mit Gleichstrom gespeist und sein Primärstrom mit einem Wagnerschen Hammer

[1]) Dabei halten wir uns an die Fabrikate der Gesellschaft für Drahtlose Telegraphie Berlin, schon weil diese in der constructiven Durchbildung augenscheinlich hervorragendes geleistet hat. Die alten schwerfälligen und gebrechlichen Apparate der physikalischen Cabinette sind modern, gebrauchsfähig und schön geworden. Bei dieser Gelegenheit sei übrigens bemerkt, dass im Rahmen unserer zusammenfassenden Vorlesungen natürlich nicht auf die zahlreichen funkentelegraphischen »Systeme« eingegangen werden kann. Zu eingehenderem Studium des Gebietes, namentlich nach der physikalischen Seite hin, ist Zennecks neues umfangreiches Buch geeignet. Doch ist dazu physikalisch-mathematische Schulung, wenn auch keine Kenntnis der höheren Mathematik erforderlich.

unterbrochen. Von anderen Unterbrecherformen abgesehen, benutzt man für grössere Leistungen und Entfernungen zweckmässig kleine Motorgeneratoren oder Umformer. Jetzt treibt aber umgekehrt, wie bei den zur Ladung von Sammlern aus Wechselstromnetzen verwendeten Maschinen (Fig. 201 auf S. 309), natürlich der Gleichstrom an, und erzeugt wird Wechselstrom. Dabei ist eine Einrichtung getroffen, die den Motor dann anlaufen lässt, wenn das Amt seinen Apparat von Empfangen auf Geben umstellt. Die entgegengesetzte Umschaltung setzt den Motor wieder still. Für militärische Verwendung, besonders durch Patrouillen, wird neuerdings auch ein kleiner Generator auf einem Fahrradgestell durch Treten angetrieben (Fig. 352).

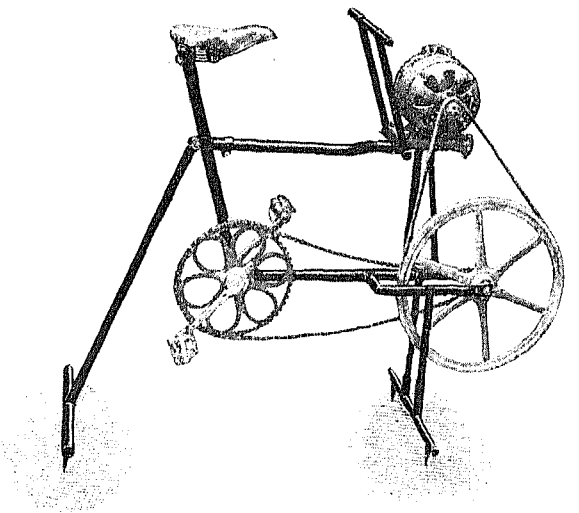


Fig. 352. Tretgenerator für Patrouillen.

Der Kreis, der die Stromquelle und die primäre Wicklung des Ruhmkorff, bei Gleichstrom ausserdem den Unterbrecher enthält, bekommt als Schlussstück die Taste, die die Wellenzüge die Morsezeichen nachbilden heisst. Es kann kein Zweifel darüber sein, dass sie in den Niederspannungskreis des Ruhmkorff gelegt werden muss. Aber auch dann kann der Öffnungsfunken noch die Platincontakte der Taste verbrennen und durch die mit ihm verknüpfte Verlängerung des Stromflusses

das Geben unnütz verlangsamen. Um deshalb den Öffnungsfunken zu vermeiden, unterbricht man den Stromkreis gerade in einem der Augenblicke, in denen der speisende Strom — sei es unterbrochener Gleichstrom, sei es Wechselstrom — einen Nullwert durchläuft. Das wird durch folgende Anordnung erreicht (Fig. 353). Der obere Stift des Arbeitscontaktes wird

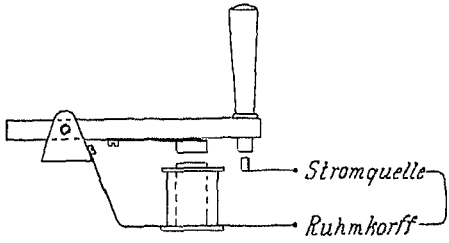


Fig. 353. Funkentelegraphische Taste.

vom Tastenhebel getrennt und an einer besonderen diesem Hebel untergeklemmten Blattfeder befestigt. Die Blattfeder trägt hinter dem Contaktstift einen Eisenanker, dem unten eine Magnetwicklung mit Eisenkern gegenübersteht. Die Wicklung ist mit in den zu unterbrechenden Strom geschaltet. Wenn nun auch beim Geben die Hand des Beamten auf den Tastenhebel zu drücken aufhört und der Tastenhebel hochklappt, so hält trotzdem die Blattfeder den Contakt noch solange geschlossen, bis mit dem Nullwert des Stromes die Kraftlinien erlöschen und der Eisenanker abschnellen kann. Die gebende Hand schliesst zwar den Contakt. Sie öffnet ihn aber nicht, sondern erlaubt nur, dass er geöffnet wird, sobald der Strom zu Null geworden. So wird der Öffnungsfunke vermieden.

Besonders hübsch sind auch die Condensatoren gebaut. (Fig. 354 und Fig. 359 rechts.) Es sind Leydener Flaschen von der Form[1]) grosser Reagenzgläser und, wie jene, auf Gestellen in leicht veränderlicher Anzahl gruppiert.

Unterteilte Funkenstrecke, Leydener Batterie und Selbstinduktion sind zu einem solchen Geber vereinigt (Fig. 355). Oben liegt die Funkenstrecke (Fig. 356) zur Dämpfung des

[1]) Vermutlich wird diese die alte Form auch sonst verdrängen.

Geräusches in einen Kasten eingebaut, aber durch ein Fenster sichtbar. Aussen sehen Sie die Selbstinduktion und, wie von ihr mehr oder weniger Windungen sprungweise durch Stöpsel[1]) eingeschaltet werden können. Die Länge der ausgesandten Wellen ändert sich dadurch in den ungefähren Grenzen hundert bis tausend Meter.

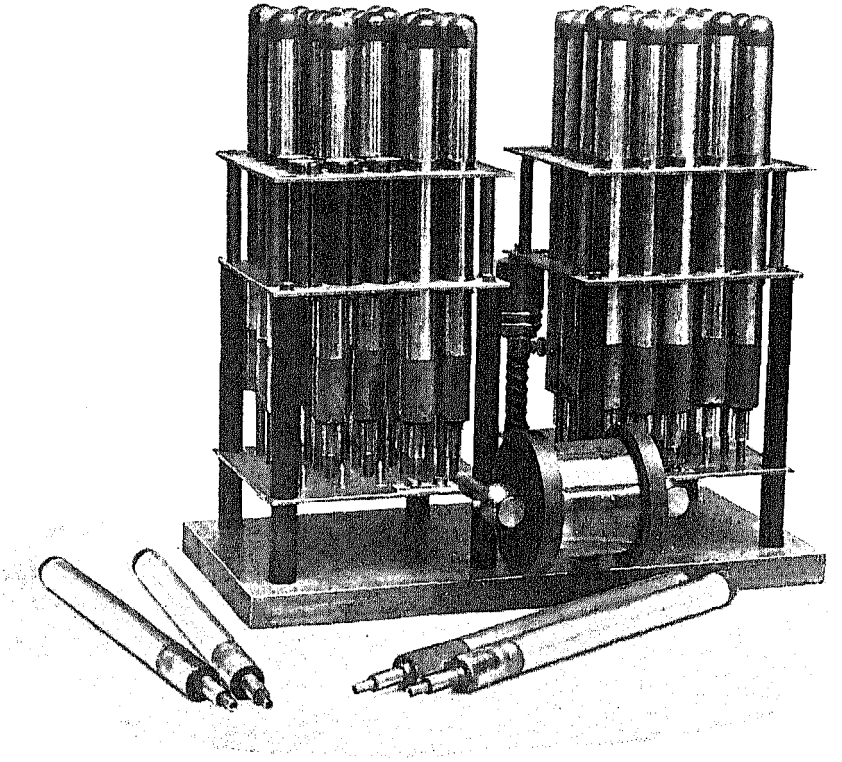
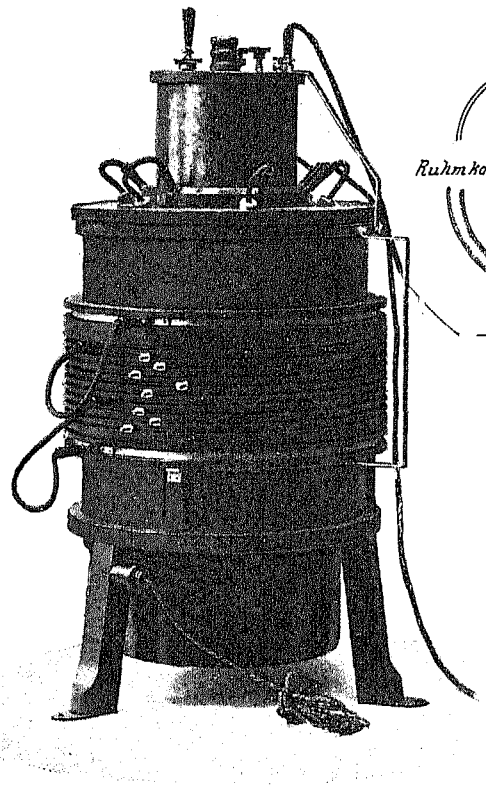


Fig. 354. Leydener Flaschen.

An dem Empfangsapparate (Fig. 357) sehen Sie vorn den Farbschreiber, links oben das Siemenssche Relais und rechts daneben den Fritter. Der schwarze Schalter ist zum Empfang

[1]) Man würde Schleifcontakte vorziehen, wenn sie nicht leicht durch Übergangswiderstände die Dämpfung des Schwingungskreises vermehrten.

niedergelegt.[1]) Für das eigene Geben wird er hochgeklappt und schliesst dadurch den Primärkreis des Ruhmkorff, natürlich mit Ausnahme der Taste, oder lässt den Umformer oder Motor-



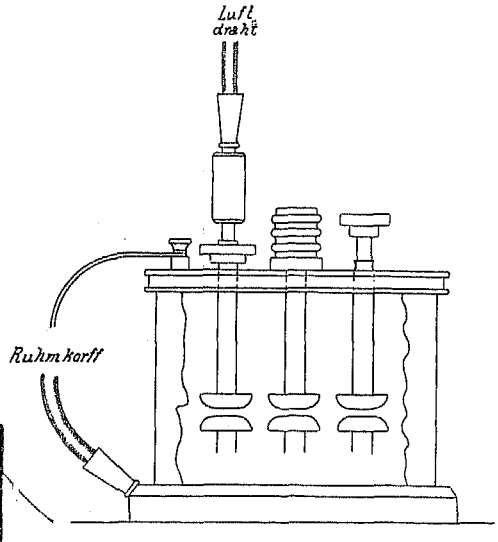


Fig. 356. Unterteilte Funkenstrecke.

Fig. 355. Geber für Schiffsämter.

[1]) Beim Morse-Strombetrieb wird die entsprechende Umschaltung, wie Sie wissen, mit der Taste besorgt. Dort liegt diese ja immer an der Leitung und ausserdem, je nach ihrer Stellung, an der gebenden Batterie oder dem empfangenden Relais. Beim Funkenbetrieb muss die Taste aber in den Primärkreis des Ruhmkorffs, und daher ist die besondere Umschaltung notwendig. Hier ist auch nicht so grosse Eile von nöten.

generator anlaufen. Ausserdem löst er beim Hochklappen die Empfangsschaltung vom Luftdraht und unterbricht sie an einer ganzen Reihe von Stellen. In der Stromlaufsskizze (Fig. 358) sind diese Unterbrechungsstellen durch kleine Kreuze bezeichnet. Obgleich thatsächlich von einem Hebel bedient, erscheinen sie hier der einfacheren Zeichnung halber getrennt.

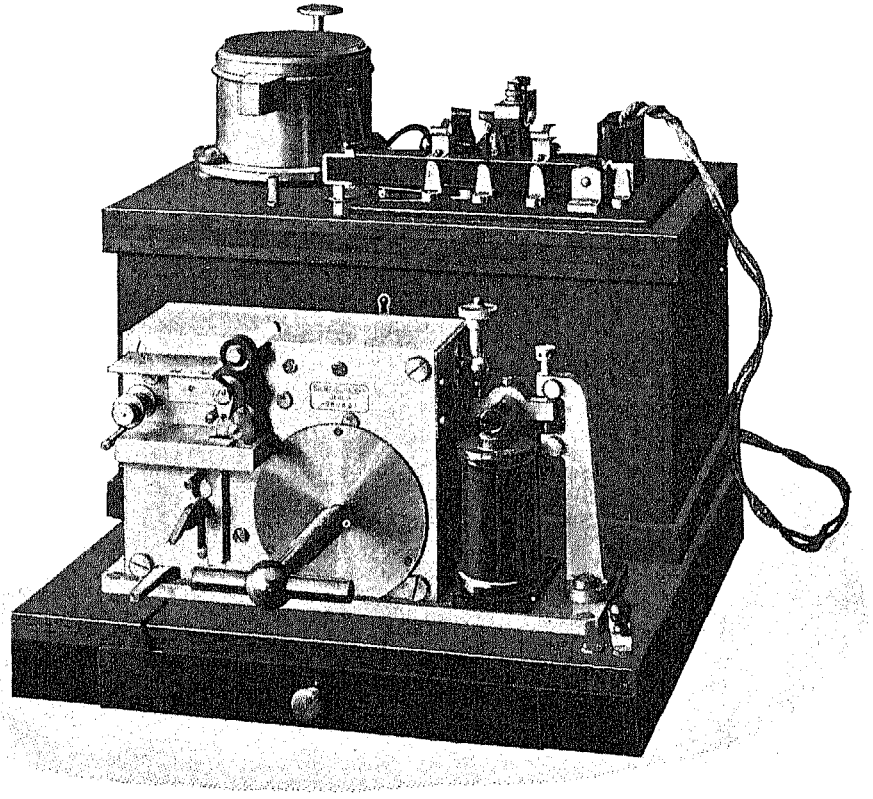


Fig. 357. Empfangsapparat.

Die Skizze zeigt des Weiteren die aus wenig Windungen bestehende primäre Wicklung des Transformators, an ihrem einen Ende den Luftdraht, am anderen den Condensator veränderlicher Capacität und das Gegengewicht. In loser Kupplung wird die windungsreiche secundäre Spule L erregt.

Sie bildet mit dem Fritter und dem Condensator C den früher als IIb bezeichneten Schwingungskreis. Von den Fritterklemmen, genauer von der rechten Klemme des Fritters und der oberen — der secundären Transformatorwicklung zweigt sich der primäre Kreis des Relais R ab. Er enthält neben dem (in der Fussnote v. S. 530 erwähnten) Klöppelunterbrecher und einem

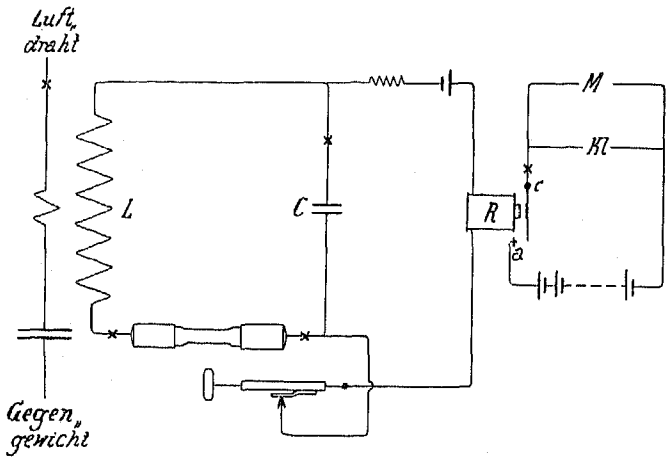


Fig. 358. Empfangsschaltung.

Schutzwiderstand von einigen Tausend Ohm als wesentlich Fritter, primäre Relaiswicklung und Fritterelement. An den secundären Relaisklemmen liegen dann, von dem von ihr betätigten Klöppel getrennt angegeben, die Klöppelspule Kl und der Farbschreiber M, beide einander parallel und von derselben Batterie gespeist.

Es sei noch erwähnt, dass man (in Fig. 358 nicht gezeichnet) dem Fritter einen Condensator parallel legt, damit die Capacität des Kreises, unabhängig von dem wechselnden Fritterzustand, einen unveränderlichen Wert behält. Für den Gleichstrom des Fritterelementes ist der parallele Condensator natürlich praktisch nicht vorhanden. Die Berliner Gesellschaft pflegt ihre Apparate jetzt für den doppelten Empfang mit Fritter und mit elektrolytischer Zelle einzurichten, sodass das Telegramm gleichzeitig ertönt und niedergeschrieben wird. Dabei eignet sich die Zelle

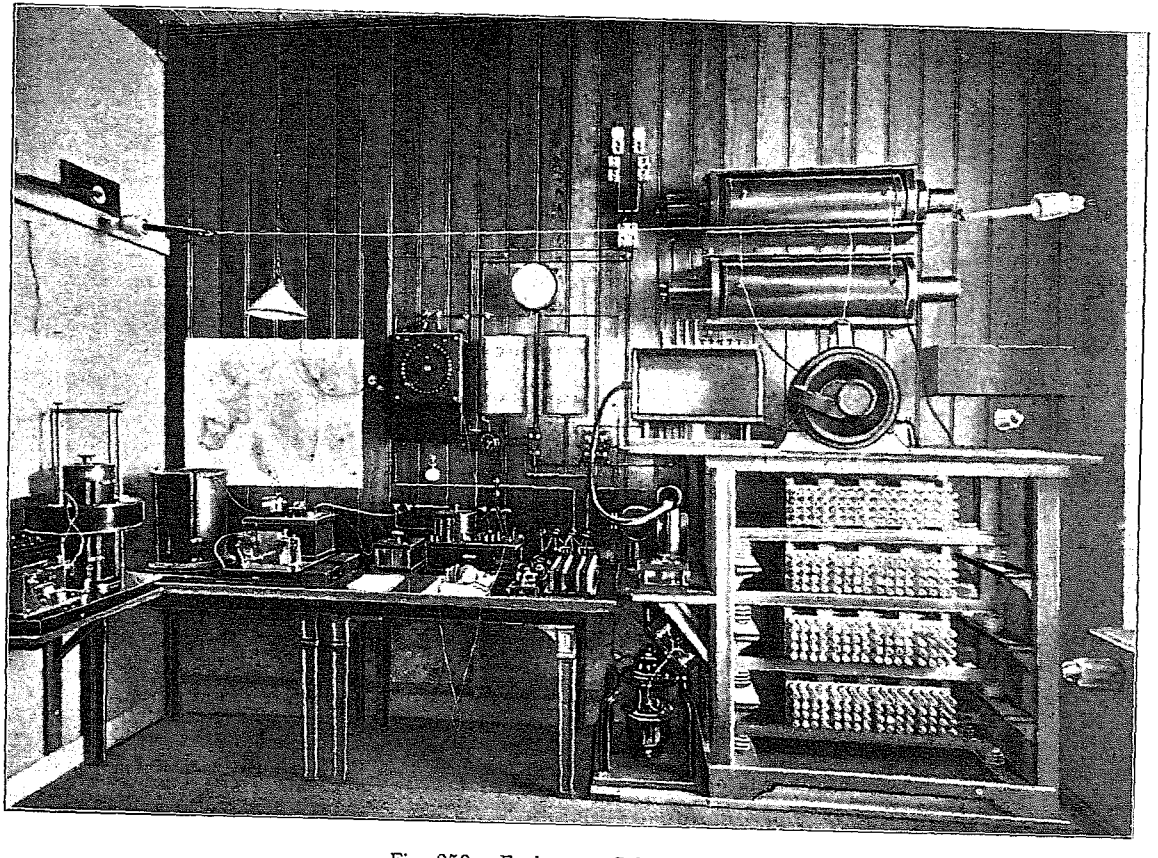


Fig. 359. Funkenamt Scheveningen.

besonders gut zur schnellen Einstellung auf die richtige Wellenlänge. Auch der Zelle liegt ein Condensator parallel, aber mit anderem Zweck, als beim Fritter. Die Zelle würde mit ihrem beträchtlichen Ohmschen Widerstande, wie eine schlechte Erde, den Schwingungskreis dämpfen, was durch den ihr parallelen Condensator verhindert wird.

Neuerdings hat man übrigens Geber und Empfänger, zu einem Ganzen vereinigt, in und auf einem Schreibtisch-artigen Aufbau untergebracht. Nur der Ruhmkorff bleibt an der Wand.

Hier sehen Sie noch das Funkenamt Scheveningen (Fig. 359) und die in unserem Heere eingeführten zweiteiligen Funkenwagen (Fig. 360), abgeprotzt und bei der Arbeit auf eine durchschnittliche Entfernung von vierzig bis funfzig Kilometer. Links steht der Hinterwagen, in ihm Ruhmkorff und Leydener Batterie sichtbar, rechts der Vorderwagen mit dem Empfangsapparat. Den Luftdraht führte man früher durch Wasserstoffballon oder Drachen hoch. Jetzt wird dazu eine Eisenkonstruktion, in Verbindung mit dem Tretgenerator sogar nur ein auf etwa 15 m auseinander schiebbares Magnaliumrohr verwendet.

Zum Schluss möchte ich noch einige Worte über die Verwendung der Funkentelegraphie hinzufügen. Man wird niemals dort drahtlos telegraphieren, wo man zuverlässiger und schneller, geheim und ohne die Möglichkeit, durch fremde Zeichen gestört zu werden, über einen Draht oder ein Kabel geben kann. Es bleiben demnach die Fälle übrig, in denen Geber und Empfänger ihre gegenseitige Entfernung ändern oder ein zwischen ihnen liegendes Hindernis oder Mangel an Zeit die Herstellung von Leitungen verbietet. Im Frieden verkehren Funkentelegramme hauptsächlich über See. Zwischen Schiffen unter einander und zwischen Schiffen und Küsten oder Inseln tragen sie Nachrichten, warnen besonders vor Gefahr. Im Kriege geben sie Meldungen aufklärender Schiffe oder Kavallerie zurück und vermeiden dabei Zeitverlust und Aufgabe der Beobachtung, die mit dem früher notwendigen Rückmarsch verknüpft waren. Zu Wasser und zu Lande tragen sie auch bei Nacht und Nebel Befehle des Führers und Besprechungen mit den Unterführern und ermöglichen damit erst, die Leitung der heutigen Flotten und Riesenheere in einer Hand zusammenzufassen.

So scheint die Funkentelegraphie, wie der ältere Funke des Feuers, erhaltend und zerstörend zugleich, zunächst für den Krieg grössere Bedeutung, als für den Frieden zu haben.

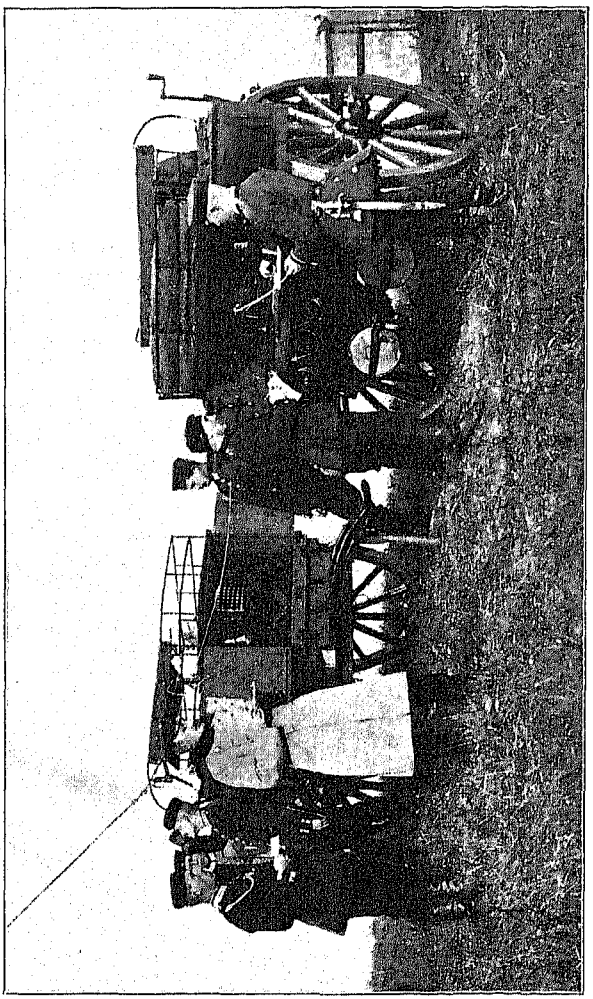


Fig. 360. Funkenwagen beim Empfang.

Aber sie vermehrt die Waffenrüstung und damit die Besorgnis der Gegner und hilft so vielleicht mittelbar den Abschnitt friedlicher Kultur zu verlängern, dem sie ihr Dasein verdankt.

Hiermit sind wir am Ende unserer Vorlesungen angelangt. Ob Sie das Gelernte in Ihrem Berufe fördert oder nicht, mit gleicher Ausdauer sind Sie mir Vorlesung auf Vorlesung über das ganze grosse Gebiet gefolgt. Haben Sie dafür freundlichen Dank. Sei nun mehr die That oder mehr das Denken Ihr Métier, Sie werden sich aufs Neue von der heute manchmal vergessenen Wahrheit überzeugt haben, dass trotz aller Jagd nach Erfolg und allem Schein und aller Selbstanpreisung jedes einzelnen, der Nationen und der Menschheit wahrer Fortschritt in dem Treiben einer Sache um ihrer selbst willen und im liebevollen, gründlichen Versenken in sie liegt. Das ist es auch, was mir immer als im vornehmsten Sinne deutsch gegolten hat.

Register.

	Seite
Ableitungselektrode	129
Ablenkende Kraft	48
Ablenkung einer Magnetnadel	45
Ablenkung eines Stromführenden Leiters	47
Abschmelzsicherungen	32
Abstimmung	543—550
Abstossung von Kraftlinien	56
-Spulen	55
-Stromleitern	55
Aether	518
Akkumulatoren	175—203
Akkum. F. A. G.	185. 203
Aräometer	192
Bahnpostbeleuchtung	183
Boesesche Platte	182
Chemie, Constanten Betriebsvorschriften	185—203
Entladung	178
Fauresches Verfahren	180
Formierung	180
Gewebte Platte	185
Gitterplatten	182
Gülchersche Platte	183
Hagener Platte	184
Innerer Wdstd.	199. 303. 382
Ladung	178. 307—311
Masseplatten	183
Plantésches Verfahren	180
Prinzip	175—179
Pollaksche Platte	179
Rahmenplatte	182
Technische Ausführung	179—186
Im Telegraphenbetr.	303—311
Aktive Masse	182
Amalgamiertes Zink	145
Amerikanische Morsezeichen	231
Amerikanischer Ruhestrom	323
Amerikanisches Element	154
Ampere	15. 18
Definition nach dem Reichsgesetz	130
Amperemeter = Stromzeiger oder Strommesser	20. 48. 129
Ampèresche Schwimmregel	46. 48. 267
Amplitude	206
Antennen	524
Antrieb des Hughes	350
Anziehung von Kraftlinien	56
Anziehung von Spulen	55
-Stromleitern	55
Ampèresches Gestell	47
Amperestunden	19
Amperesekunde	19
Amperewindungen	48. 239
Anker	34
des Farbschreibers	238
des Hughes	349
des Hughesmotors	351
des Klopfers	259
des Magnetinduktors	494
Ankerachse des Hughes	352
Ankerinduktion	67
Anode	123
Antennen	522. 544
Aperiodisches Galvanoskop	115. 135
Apparatfarbe	255
Apparatetisch	270. 323
Aräometer	192
Arbeit	22
Arbeitsquelle der galvanischen Elemente	158
Arbeitsstrom	
Batteriebeanspruchung	315
Betriebseigenschaften	322
Capacität d. Kreises	374
Schaltregel	314. 392
Schaltungen	263. 313 Tafel I. 324
Schreibhebel	246
Taste	324
Arbeitsübertragung	29. 83. 274
Argentinische Telegraphenverwaltung	255
D'Arsonval	478
Asphalt	375
Astasie	408
Asynchron	402 Fussnote
Aufnahmen von Telegraphierströmen	370
Aufspeicherungsvermögen	185
Ausbiegung	206
Ausbreitungswiderstand	441
Ausgleichswiderstände	272. 298. 326
Auslösung der Druckachse	Fig. 235 auf S. 349
Auslösehebel	Fig. 235 auf S. 349. 353
Ausschalter	10
Automat	512

Seite

Automatische Zeichengebung 331. 332. 406
Azoren 417

Bahnpostbeleuchtung 183
Bahnströme.
Grösse 16
Störung durch — 465
Ballonelement 161
Batteriebeanspruchung . . . 299
Batteriebemessung 314
-beim Differential-Gegensprechen . . 430 Fussnote
Baudotprinzip 421
Beanspruchung einer Telegraphierbatterie 299
Berlin 16. 186. 339. 368. 475 Fussnote
Berliner Elektricitäts-Werke . 24
Berliner Strassenbahnwagen 16. 198
Berlin-Magdeburg 17
Berlinersches Mikrophon . 483. 224
Bernstein 86
Besteigung des Faulhorns . . 22
Betriebseigenschaften von Arbeits- und Ruhestrom . . . 322
Bifilare Wicklung 75. 427 Fussnote
Bismarck 475
Bittersalz 162
Blanktasten 342. 355
Bleiacetat 121
Bleibaum 121
Bleiglätte 180
Bleimantel 375. 470
Bleisulfat 195
Bleisuperoxyd 178
Blitz 97. 274
Blitzableiter.
Gebäude- 97
Telegraphische- 274. 323 Fussnote
Telephonische- 485
Börsendrucker 368
Boesesche Platte 182
Bobines Godfroy 398
Braunstein 163
Breisig 401. 473
Bremerhafen 368
Bremsregulator 357
Bronzedraht 18. 28. 463
Brown 418
Brückengegensprechen . 431—434
Brückengesetz 432
Brückenschaltung 431
Buchstabenweiss . . . . 343. 355 Fig. 243 auf 356

Callaudisches Element 151
Calorie 22
Canso-Waterwille . . . 403. 417

Seite

Capacität (electrochemische) 185. 305
Capacität (electrostatische) 100. 102
telegraphisch 371
telephonisch 468
von Leydener Flaschen . 103
von Telegraphenkabeln . 375
von Fernsprechkabeln . . 468
Capacitätsgegengewicht . . . 544
Chatterton Compound 375
Chemische Stromerzeugung 135—174
ChemischeStromspeicherung 175—203
Chemische Stromwirkung 119—134
Chemnitz 515
Chlornatriumlösung 133
Chromsäureelement 149
Code 295
Coërcitivkraft 39. 61
Cohärer (= Fritter) . . . 521. 530
Compounddraht 464
Condensator . . . . . 98—111
am Ruhmkorff 79
Condensatorabschluss 403
Condensator-Rückstand 99. 110. 116
Consonanten 228
Contakthebel 347
Contaktschlitten 345
Contaktstifte des Hughes 344. 347 Fussnote
Constante Elemente . . 149—167
Contaktkammer 481
Correctionsdaumen . . . 360. 364
Correktionsrad 355. Fig. 243 auf 356
Coulomb 18
Coulombsches Gesetz
magnetisches 35
statisches 88
CW . . . 385. 403. 417. 468. 471

Dämpfung 228. 481. 533
Dämpfungsruder 408. 411
D'Arsonval 478
Dauer des Hughesstromes . . 364
Dauermagnet 37
Deklination 34
Depolarisation 148
Deutsches Relais . 283. 403 Fussn.
Dielektricitätsconstante . . . 106
Dielektrikum 106
Differentialgalvanoskop . . . 424
Differential-Gegensprechen 423—431
Differentialrelais 424
Diplexbetrieb 423
Dissociation der Elektrolyte . 133
Dolezalek . . . 194. 470. 473. 474
Doppeldraht 464
Doppelglocke 313
Doppelleitung 464
Doppelsprechen 423

Seite

Doppel-T-Anker 496
Doppeltaste 406
Drahtlose Telegraphie 517—559. 520
Drehspule 411
Doscnrelais . . . . 289 Fussnote
Dreiecksschrank 516
Dreifingerhebel 357
Drei Hughesleitungen an einer Batterie 365. 298
Druckfehler . . . . . 573—576
Druckachse 353
Druckdaumen 354. 360
Druckhebel 354
Duplexbetrieb . . . . . 423—434
Durchmesser von Telegraphenleitungen 312
Dynamomaschinen als telegr. Stromquelle 311

Ebeling 470. 473. 474
Eigenton 225. 538. 547
Eisenbahntelegraphie 317
Eisendraht 17. 312. 462
Eisenfeile 33
Elektricial Pover Storage Co. . 305
Elektrician . . 417. 485 Fussnoten
Elektricitätsmenge . . 3. 18. 130
Elektricitätswerk 2. 307
Elektrische Arbeit 23. 24
Elektrische Auslösung des Hughes 347
Elektrische Ladung 87
Elektrische Leistung 23
Elektrische Leitfähigkeit . . . 3
Elektrischer Funken . 77. 92. 520
Elektrischer Strom . . . . 1—14
Elektrischer Widerstand . . . 5
Elektrische Schirmwirkung . . 90
Elektrische Spannung 2
Elektrisches Wärmeäquivalent 22. 27
Elektr. Wärmewirkung 2. 25—32. 71
Elektrische Wellen . . . 519—528
Elektrischwerden durch Reibung 87
— durch Influenz 90
Elektrisiermaschinen . . . 91. 414
Elektrochemie . . . . . 119—203
Elektrochemisches Aequivalent 132
Elektrode 123
Elektrodynamik 55
Elektrolyse . . . . . 123—134
von Bleiacetat 121
von Kupfersulfat . . 120. 124
von verd. Schwefels. 125. 175. 178
von Natriumsulfat unter Lackmuszusatz 128
Elektrolyte 123. 133
Elektrolytische Dissociation . . 133
Elektrolyt. Galvanometer . 137. 178
Elektrolytische Zelle 532

Seite

Elektromagnet 48
des Farbschreibers . . . 235
des Hughes 348
Elektromagnetismus . . . 45—64
Elektromotorische Gegenkraft 82. 148
Elektromotorische Kraft . . . 3
Berechnung bei galvanischen Elementen 159
Elektron 132
Elektroskop 89. 95. 112
Elektrostatik . . . . . 86—118
Elektrostasische Influenz . . . 90
Elektrostatisches Grundgesetz . 88
Elektrotechnische Zeitschrift . 440 Fussnote
Elementarmagnete 38
Elemente . . . . . 135—174
Elementenschaltung 168
Elementenschrank 297
Emden-New York 417
Empfindlichkeit eines Galvanometers 409
— eines Telephons . . . 437
Endämter 313
Endstelle 313
Arbeitsstrom . . 324. Fig. 210
Arbeitsstrom mit Relais . 325 Fig. 211
Ruhestrom . . 329. Fig. 215
Energie 22
Englisches Aräometer 193
— Telephon 477
— Telephongehäuse 507
— Walzenmikrophon 481
Engl. Schaltung paralleler Leitung 298
Entfrittung . . . . 521. 524. 529 530 Fussnote. 556
Entkupferung 124. 152
Entladestrom eines Condensators 116. 371. 377
Entladung von Akkumulatoren 178
Erdrückleitung 117. 464
Erdschluss 305
Erfurt-Fulda 320
Erfurt-Giessen 321
Erhaltung der Energie 22. 26. 69. 70 85. 158. 443. 460. 493
Erhöhung der Telegraphiergeschwindigkeit 260. 331. 335. 392
Erholen der Spannung . . . 187

Fabrikation der Mikrophonkohle 448
Farad 102
Faradaysches Gesetz 128
Faradaysches Rouleau 94
Farbschreiber . . . . . 235—256
Amperewindungen . . . 239
Anker 238

Seite

Anziehung 241
Auslösung 250
Einstellung 244
Elektromagnet . . . 235—245
Farbkasten 254
Farbrad 245
Feder 250
Französischer- 256
Funkentelegraphischer . . 554
Hebel 245
Hemmung 250
Kerne 238. 245
Magnet . . . . . 235—245
Papier 253
Polarisierter- 331
Schublade 253
Selbstauslösung 251
Spulen . . . . . 235—244
Streuung 241
Taste 256. 322. 324
Übertragung . 295. 327 (No. 5)
Uhrwerk 247
Windfang 248
Fassungsvermögen 185
Faulhorn 22
Faure 180
Faustregel über Batteriebemessung 314
Feinsicherung 486
Feldstärke 42
Ferndrucker 367
Ferndruckeramt 368
Fernhörer 438
Fernsprech-Amt . . . . 514—518
-Automat 512
-Blitzableiter 485
-Draht 32. 462
-Gehäuse . . . . . 501—511
-Gehilfinnen 219. 452
-Kabel 467
-Kabine 228
-Klinke 516
-Leitung 462
-Schaltung, Princip . . . 461
-Sicherungen 485
-Stöpsel 516
Fernsprecher . . . 438 Fussnote
Nachteile des Fernsprechers 367
Ferraris 112
Festigkeit 463
Figurenwechsel 343. 355
Film 333
Fleischersches Element . . . 163
Formierung 180
Fortissimo 219
Franke 370. 377. 381. 384. 385. 400
Frankfurter Ausstellung . . 16. 261

Seite

Franklinsche Tafel 101
Französischer Farbschreiber . 256
Französisches Mikrophon . . 480
Freie Schwingung . 225. 538. 547
Freileitungen . . 278. 312. 318. 463
Frictionsrad 356
Fritter 521. 530
Fritter mit Keilspalt 531
Fulda . . . . . 329 (No. 7)
Fulda-Erfurt 320
Fünf Morseleitungen an einer Batterie 299
Funken 77. 92. 520
Funkenamt Scheveningen . . 557
Funkendiagramm 93
Funkeninduktor 76
Funkenspannungen 16. 537
Funkenstrecke 92. 536. 554
Funkentelegraphie . . . 517—559
Abfangen 543. 549
Abstimmung . . . . 543—550
Amt Scheveningen . . . 557
Antennen 522. 544
Anwendung 558
Apparate . . . . . 550—558
Dämpfung . . . . . 533—537
Elektrolytische Zelle . . . 532
Empfänger 554
Entfrittung . . 521. 524. 529
530 Fussnote. 556
Fritter 521. 530
Funkenstrecke . . . 536. 554
Geber 553
Gegengewicht 544
Gesellschaft für drahtlose Telegraphie . 550 Fussnote
Hertzsche Versuche . 523—528
Inaktiver Funken 536
Kupplung . . . . . 546—549
Leydener Flaschen . . . 553
Marconistation 544
Namen 520
Resonanz . . . . . 538—542
Schaltungen 546. 556
Stören 543. 549
Stromquelle 550
Systeme . . . 550 Fussnote
Taste 551
Tretgenerator 551
Wellenzeiger . . . 521. 530
Funkenwagen 558
Funkenwiderstand 536
Fürst Bismarck 475

Galvanische Elemente . . 135—174
Galvanometrischer Empfang . 407
Galvanoskop 65

Seite
Galvanoskvp, aperiodisches 115. 135
telegraphiscbes 266. 412 Fussnote
Gasmotor 310
Gassnersches Trockenelement . 166
Gedämpfte Schwingung . . 93. 229
Gedämpftes Galvanoskop . 115. 135
Gefährlichkeit der Elektricität . 16
Gegenspannung . . . 73. 148. 444
Gegengewicht 544
Gegensprechen . . . . 423—434
Gehäuse . . . . . 501—511
Gekrümmter Finger 354
General Post Office . 294. 305. 480
Geräusch 218
Geschwindigkeit elektrischer
Wellen 520
— des Farbschreiberpapiers . 253
— von Wellen 209
— von Lichtwellen 519
Gesellschaft für Drahtlose Tele-
graphie . . . . . 550 Fussnote
Gewebte Platte 185
Gewichtsantrieb 350
Gewitter 97
Gewöhnliches Relais 282
Giessen-Erfurt 321
Gitterplatten 182
Glaswolle 185
Gleichheitszeichen bei Hughes-
telegrammen . . 343 Fussnote
Gleichstromgenerator 309
Gleichstrommotor des Hughes 351
Godfroy 398
Gower 479
Graphische Darstellung . . 12
Gravity cell 151
Grobsicherung 486
Gülcher 185
Günstigste Windungszahl von
Spulen 242
Guttapercha 4. 375

Haarwood-Schaltung 434
Hagener Platten 184
Hakenumschalter 501
Handapparate 509
Hanf 375
Hartblei 182
Hauptleitungen 312
Haupttelegraphenamt Berlin 25. 339
368. 476 Fussnote
Hauteffekt 462
Heberschreiber . . . . 412—417
Heberschrift 415
Hellesenelement 166
Hertz 523
Hertzsche Versuche . . 523—528

Seite
Heutige Anschauungsweise der
magnetischen Erscheinungen 40
der statischen Erscheinungen 104
Hilfsapparate
telegraphische . . . 266—296
telephonische . . . 484—501
Hilfshebel der Klopfertaste . . 262
Hinkender Elektromagnet . . 58
Hintereinander-Schaltung . 22. 168
Hofmannscher Apparat . . . 127
Höhe eines Tones 219
Hohlspiegel 221. 525
Horchlöffel 480
Hörer 438
Horta 417
Hufeisenmagnet 34. 49
Hughesapparat:
Abdruck der Type . . . 353
Anker 349
Ankerachse 352
Antrieb 350
Auslösehebel Fig. 235 auf 349. 353
Auslösung d. Druckachse . 353
Ausnutzung jedes Schlitten-
umlaufes 362
Blanktasten 342. 355
Bremsregulator 357
Buchstabenweiss . . 343. 355
Fig. 243 auf 356
Contakthebel 347
Contaktschlitten 345
Contaktstifte 344. 347 Fussnote
Correktionsdaumen . 360. 364
Correktionsrad 355
Fig. 243 auf 356
Dreifingerhebel 357
Druckachse 353
Druckdaumen . . . 354. 360
Druckhebel 354
Elektromagnet 348
Empfangsteile . . . 348—355
Elektrische Auslösung . . 347
Erzeugung d. Stromstosses
342—347
Figurenwechsel . . 343. 355
Frictionsrad 356
Gekrümmter Finger . . . 354
Gewichtsantrieb 350
Gleichstrommotor 351
Herstellmg d. Synchronismus 359
Klaviatur 342
Kontakthebel 347
Kontaktschlitten 345
Kontaktstifte 344. 347 Fussnote
Korrektionsdaumen . 360. 364
Korrektionsrad 355
Fig. 243 auf 356

Seite

Kupplung . . . 353. 357. 363
Magnet 348
Mechanische Auslösung . 347
Motor 351
Regel d. fünften Taste . . 362
Schlitten 345
Schaltung 364
Schwächungsanker . . . 349
Schwungrad 353
Schwungradachse 353
Stromdauer 364
Stromverlauf 400
Synchronismus 341. 359. 402 Fussn.
Tastenhebel 344
Telegraphiergeschwindigkeit 336
Triebwerk 351
Typen 336
Typendruck 353
Typenfeld 355
Typenrad 340. 355
Wechselblatt 356
Wechselhebel 356
Ziffernweiss 343. 355
Fig. 243 auf 356
Hughesrelais . . 283. 403 Fussnote
Human translation . . . 295. 417
Hydraulisches Bild d. Stromes 8. 113
— des Telegraphierens über eine Capacität 378
Hysteresis 60
Hysteresiskurve 62
Identität von statischer- und Stromelektricität 112
Inaktiver Funke 536
Inconstante Elemente 146
Indoeuropäische Telegraphenlinie 294
Induktanz 82
Induktanzrolle . . . . . 395—400
Induktion . . . . . 65—85
Induktion von Telephonleitungen 464
Induktionsgesetz 70
Induktionsrolle . . . . 457—462
Induktor 76. 487
Influenz 37. 90
Innerer Widerstand von Elementen . 138. 150. 153. 154. 161 163. 165. 167. 298
— von Akkumulatoren 199. 382. 303
Intensität eines Stromes . . . 3
eines Tones 218
Interferenz 214
Joch 50
Ionen 123. 133
Ionenwanderung 123
Isochron 360
Isolierte Feder 364. 365
Isolationsfehler d. Freileitung 278. 318

Seite

Joulesches Gesetz . . . . 25—32
Iridium 419
Jungfräuliche Magnetisierungskurven 62
Jute 375

Kabel:
Telegraphen- 374
Telephon- 467
Kabelader 375
Kabel als Leydener Flaschen 101. 375
Kabelbetrieb . . . . . 387—420
Kabelcapacität 375. 468
Kabelgalvanometer 407
Kabelmuffen 473
Kabelpanzer 375
Kabelrelais 418
Kabelseele 374
Kabelströme . . . . . 369—386
Kabelübertragung 417
Kalorie 22
Kammerton 219
Kapacität (electrochem.) . 185. 305
Kapacität (electrostatische) 100. 102
telegraphisch 371
telephonisch 468
Kapacität von Leydener Flaschen 103
von Telegraphenkabeln . 375
von Fernsprechkabeln . . 468
Kapacität von Telegraphenakkumulatoren 186. 305
Kapacitätsgegengewicht . . . 544
Kapseltelephone . . 478. Tafel III
Kathode 123
Kehlkopf 228
Kehrelement 191
Kelvin 408
Kilowatt 24
Kilowattstunde 24
Kirchhoffsche Gesetze . . . 19—22
Klangfarbe 220. 451
Klappe 514
Klappern 257
Klaviatur 342
Klemmenbezeichnung 115
— bei Akkumulatoren . . 191
Klemmenspannung galvanischer Elemente 139
Klettern von Lösungen . . . 157
Klopfer . . . . . 258—261
Klopferschallkammer 221
Klopfertaste 262
Knallgasvoltameter 127
Koërcitivkraft 39. 61
Kohärer (Fritter) . . . 521. 530
Kohlenelement 163
Kohlenkörner 481

Seite

Kohlenstoff als mikrophonisches Material 448
Kohlenwalzen 444
Kompass 34
Kondensator im Ruhmkorff . . 79
Kondensatorabschluss 403
Konsonanten 228
Kontaktschlitten 345
Kontakthebel des Hughes . . 347
Kontaktstifte des Hughes 344. 347 Fussnote
Korrektionsdaumen . . . 360. 364
Korrektionsrad 355. Fig. 243 auf 356
Kraftfeld 40
Kraftfluss 57
Kraftlinien elektrische . . 110. 372
Kraftlinien magnetische:
benachbarter Pole . . . 56
Bilder 40. 42. 51. 52
Definition 41
einer Spule 52. 54
einer Windung 51
eines Leiters 51
eines Magneten 40
im Dauermagneten . . . 55
Kraftlinienänderung 70
Kraftliniendichte 42. 53
Kraftlinienzahl 57
Kraftwerk 2. 307
Kriechen v. Lösungen 157
Künstliche Widerstände . 272. 326
Kupferblech von Strom durchflossen 440
Kupplung der Hughesachsen 353. 357
Kupplung in der Funkentelegraphie . . . . . 546—549
Kurbelinduktor 487
Kurbelumschalter 268
Kurbelwiderstände . . 46 Fussnote 427 Fussnote
Kurzschluss 30. 286

Ladestrom eines Condensators 115. 371. 375
— eines Kabels 381
Lackmustinktur 128
Ladung von Akkumulatoren 190. 178
im Telegraphenbetriebe 307—311
Lahnlitze 477
Längswellen 217
Leclanché 163
Leichte Leitung 312
Leistung 22
Leiter 4
Leiter zweiter Ordnung . . . 123
Leiterschaltung 302
Leitfähigkeit 3
Spezifische — 4

Seite

Leitungen für den ausländischen Verkehr 312
Leitungsdurchmesser 312
Leitungsundichtigkeiten . 278. 318
Lenzsches Gesetz 69. 443
Leydener Flaschen . . 98. 104. 553
Lichtaether 518
Lichtgeschwindigkeit 519
Linienstrom 280
Linienbatterie 314
Linienwähler 270
Lippenpfeifen 226
Litze 375. 477
Lochstreifen 331. 406
Lodge 112
Lord Kelvin 408
Lokalaktionen 161. 197
London—Berlin—Teheran . . 294
Lösbare Kuppelung der Hughesachsen 353, 357
Löslichkeit von Zink in Schwefelsäure 145
Lösungselektrode 129
Luftbrücken 57. 435
Luftdraht 522. 544
Luftwiderstand 58
Lüpke 134

Magnesiumsulfat 162
Magnetinduktion 65
Magnetinduktor . . . . 487—501
Magnetische Achse 34
Magnetische Arbeit 60
Magnetische Influenz 37
Magnetischer Kreis 56. 238
Magnetischer Kurzschluss . . 286
Magnetischer Meridian . . 34. 45
Magnetischer Nebenschluss 286. 349
Magnetischer Nordpol der Erde 36
Magnetischer Widerstand . . 57
Magnetisches Feld 40
Magnetisches Grundgesetz . . 35
Magnetisches Kleben 241
Magnetisches Magazin 34
Magnetische Streuung 241
Magnetische Verzweigung . . 240
Magnetische Wärmewirkung . 61
Magnetisierende Kraft 44
Magnetisierung 44
Magnetisierung durch d. Funken 113
durch Streichen 37
durch Gleichstrom . . . 48
durch Wechselstrom . . 60
Magnetisierungsarbeit 60
Magnetisierungskurve 62
Magnetismus . . . . . 33—44
Magnetnadel 34

Seite

Magnetpole 33
Magnetstab 33
Manganin 5. 274. 427
Mangansuperoxyd 163
Marconistation 544
Masseinheiten 15—19. 22—25. 102
385 Fussnote. 535 Fussnote
Massenwirkung 550
Masseplatten 183
Mechanische Auslösung d. Hughes 347
Meidingersches Element . . . 161
Megohm . . . . . 385 Fussnote
Meiningen . . 320. 321. 329 (VII)
Mennige 180
Menschliches Stimmorgan . . 227
Meterkilogramm 22
MF 102
Mikrofarad 102
Mikrophon . . 438—449. 480—484
Berlinersches — 483
Contaktanzahl 447
Contaktvermehrung . . . 446
Englisches- 481
Französisches- 480
— Kohle 448. 482
Körner — . . . . . 481—484
Kreis 458
Mix & Genestsches — . . . 484
Modell 438
Siemens & Halskesches . 488
Strombelastung 446
Stromschwankungen . 439—442
452—459
Verstellbarer Arm . . . 504
Walzen 444. 480
Widerstandsschwankungen
439—442. 452—458
Wirkungsweise 439
Milliampere 16
Mix & Genest 484. 515. 518
mkg 22
Modellmikrophon 438
Modelltelephon 435
Morseapparat 230
Morsebetrieb . . . . . 312—334
Morseempfänger 230
Morseschaltungen 263—265. 313—330
Tafel I
Arbeitsstrom:
I. Endstelle 324
II. Endstelle mit Relais . . 325
III. Trennstelle 326
IV. Übertragung mit Relais . 327
V. Übertragung mit Farbschreibern 327
VIII. Endstelle mit Induktanzrolle nnd Erdung . . . 394

Seite

Ruhestrom:
VI. Endstelle 329
VII. Trennstelle 329
Morseschnellbetrieb 331
Morseschrift . . . . . 231—233
Morsestrom:
Grösse 173. 239
Verlauf . . . 381. 384. 385. 390
Morsetaste:
Zweck und Bau 256
Klopfertaste 262
Platinierung 322
Schaltung 324
Doppeltaste 406
Morsezeichen . . . 231—233. 405
Motor des Hughes 351
Motorgenerator 308

Natriumsulfat 127
Nebeneinander-Schaltung . . . 22
— von Elementen . . . 168
— v. Telegraphenleitungen 297
— von Telegraphenzellen . 302
Nebenleitungen 312
Nebenschluss 22
Neckarfall in Lauffen 16
Negative Elektricität 88
Negative Klemme 115
Neues deutsches Relais . . . 290
Neues Relais von Siemens & Halske 294
Neusilber 5
New York-Emden 417
Nickelin 5
Nullwertsschwankungen . 406. 415
Nürnberg 270. 304
Nutzfeld 241

Obertöne 220
Öffnungsfunken 77
Oersteds Versuch 45
Ohm 15. 17
Ohmsches Dreieck 139. 174. 273. 301
Ohmsches Gesetz . . . . 4—10
Ohmsches Gesetz d. Magnetismus 57
Ohmsches Gesetz giltig für Elektrolyte 119
Ohmsches Gesetz in Anwendung auf galvanische Elemente 138. 171
auf Telegraphierbatterien 298—303
Ohmsches Gesetz ungiltig für veränderliche Ströme . . 82. 369
Omnibusleitungen 317
Ortsbatterie 280
Ortsstromkreis 280

Papierhaspel 254. 255
Papierkabel 469
Parabelspiegel 221

Seite

Paraffin 107
Parallele Leitungen 298
Parallelschaltung 22
— von Elementen 168
Patrouillen-Apparate 509. 510. 551. 558
Pb $(C_2 H_3 O_2)_2$ 121
Pb O 180
Pb O_2 178
$Pb_3 O_4$ 180
Pb S O_4 195
Periode 81. 207
Permeabilität 41. 43. 52
Pfeifen 226
Pfeifen der Strassenbahnmotoren 219
Pferdestärke 23
Phase . 207. 342. 360. 402 Fussnote
Phasenverschiebung . 208. 210. 211
Phosphorbronze 419
Photographischer Film . . . 333
Physikalische Zeitschrift 473 Fussnote
Piano 219
Planté 180
Platinierung 257. 258. 289. 292. 322. 347
Platinsilberkette 28
Plattenblitzableiter 275
Pluszeichen bei Hughestelegrammen . . . . . 343 Fussn.
Polarisation 147
Polarisationsstrom 176
Polarisationszellen 176
Polarisierte Relais . . . 283—294
Anwendung 393
Deutsches . . . 283. 403 Fussn.
Hughes . 283. 403 Fussnote
Kabel 418
Mit drehbar. Kernen . . . 290
Neues deutsches — . . . 290
Neues — v. S. & H. . . . 294
Siemenssches- 287
Trommel- 418
Vorzug vor Weicheisen — 286
Polarisierter Elektromagnet . . 58
Polarität der Elektromagnete . 48
Pollaksche Platte 179
Pollak und Viràg 332
Polschuhe 58
Polstärke 88
Porzellandoppelglocke 313
Porzellanisolator 313
Positive Elektricität 88
Positive Klemme 115
Postmuseum . . . 340 Fussnote
Post Office 294. 306. 480
Post Office Standard Relais . 294
Preece 261
P. S. 23
Pultgehäuse 502

Seite

Pupinspulen . . . . . 472—474
Pyramidenschaltung 302

Querwellen 217

Rahmenplatten 182
Reagenskästchen 198
Reduktion 158
Regel der fünften Taste . . . 362
Regulierwiderstände 46
Reichspostmuseum . 340 Fussnote
Reihenschaltung 22
— von Elementen 168
Reissen eines Fernsprechdrahtes 32
Relais . . . . 278—295. 325 (No. 2)
Anker 280
Anwendung 278
Deutsches — 283
Differential — 424
Einstellung 281. 284
Gewöhnliches — 282
Hebel 280
Hughes — . . 283. 403 Fussnote
Kabel — 418
Klemmen 281
Mit drehb. Kernen . . . 290
Neues deutsches — . . . 290
Neues — v. S. & H. . . . 294
Polarisierte — . . . . 283—294
Post Office Standard — . 294
Prinzip 280
Schwanenhals — 282
Siemenssches — 287
Trommel — 418
Übertragung . . 294. 327 (No. 4)
Weicheisen — 282
Zunge 281
Reliefschreiber 234
Remanenz 59. 61
Rempp 536
Resonanz . 216. 224. 524. 538—542
Resonanzboden 224
Resonanzkurve 539
Richtmagnet 409
Richtung des induzierten Stromes 68
Richtung des Telegraphierstromes 392
Rot 521
Rückstand 99. 110. 116
Rückstrom 116. 176
Ruhestrom
Amerikanischer — . . 323. 374
Ämterkreis 315
Batterieanordnung 317
— beanspr. 315
Betriebseigenschaften . . 322
Beispiele 320
Capac. d. Kreises gering . 374
Schaltungen . . . 264. 317. 329

Seite

Schreibhebel 246
Selbstind. d. Kreises . . . 321
Stromdifferenzen 317
Taste 324. 321
Zweck 315
Ruhmkorff 76
Rylander und Rudolphs . 449. 482

Salmiaklösung 163
Schall . . . . . 218—229
Schallgeschwindigkeit 219
Schallintensität 222
Schallkammer des Klopfers . . 221
Schallsichere Fernsprechzelle . 228
Schalltrichter 223
Schaltregel für Arbeitsstrombatterien 314. 392
— für Ruhestrombatterien 320
Scheinbarer Widerstand . . . 82
Schieberwiderstände 427 Fussnote
Schirmwirkung 90
Schleifenleitung 465
Schlitten 345
Schmelzsicherungen 32
Schmieren von Akkumulatorenplatten 185
Schnelltelegraph 332
Schrankgehäuse 501
Schreibhebel . . . 230. 245. 296
Schuchardt & Co. 488
Schutzwiderstand . . . 305. 383
Schwachstromtechnik 16
Schwächungsanker
des Hughesapparates . . 349
des Hughesrelais 286
Schwanenhalsrelais 282
Schwankender Nullwert . 406. 415
Schwedische Mikrophonkohlen 482
Schwimmregel 46
Schwingende Natur d. Funkens 92. 113
Schwingungsdauer 209
Schwingungsform . . . 220. 452
Schwingungsformel 540
Schwingungsphase 207
Schwingungszahl . . . 209. 537
Schwungrad 353
Schwungradachse 353
Selbstauslösung des Farbschreibers 252
Selbstentladung 198
Seilwellen 205
Sekundärelement 178
Selbstinduktion . . . . . 73—76
Einheit . . . . . 535 Fussnote
Selbsttätige Auslösung des Farbschreibers 252
Sicherungen 32. 485
Sicherungskästchen . . 485. Tafel IV

Seite

Siemens & Halske 166. 287. 289. 294 484
Siemensscbes Polarisiertes Relais 287
Siemens-Einheit 17
Siliciumbronze 28. 463
Sinuskurve 81. 453
Siphonrecorder . . . . 412—417
Sitz der statischen Elektricität auf der Oberfläche 94
Skineffect 462
Sömmering 533
Spannungsabfall 12. 300
Spannungslinien 440
Spannungssprung 141
Spannungsunterschied 2
Spezifischer Widerstand . . . 5
Spezifisches Gewicht von Kupfer- und Zinksulfat . . 143
— von Schwefelsäure . . . 192
Spezifisches Leitvermögen . . 4
Spezifische Wärme 28
Spiegelgalvanometer . 68. 332. 407
Spiegelung 212. 527
Spitzenwirkung . . . 96. 275. 486
Sprachrohr 224
Springzeichen 514
Spule als Magnetnadel . . . 54
Spulen des Farbschreibers . . 235
— des Hughesapparates . . 348
— des Hughesrelais . . . 287
— des Klopfers 259
— des Telephons 480
— des Weicheisenrelais . . 282
Günstigste Windungszahl . 242
Verwendungszweck . . 47. 494
Stabmagnet 33
Stangenblitzableiter 278
Starkstromtechnik 16
Statik . . . . . 86—118
Statische Influenz 90
Statisches Grundgesetz . . . 88
Steilheit der Stromkurve . . . 389
Stehende Wellen . . . 213—
Stephan 475. 512
Stiftbüchse 344
Stimmbänder 227
Stimmgabel 225
Stimmorgan 227
Stimmritze 228
Stöpselumschalter 268
Stöpselwiderstände . 426 Fussnote
Störung von Funkentelegrammen 543. 550
Strahl 217
Streufeld 241
Streuung 241. 548
Strom aus statischer Quelle . 112

Seite
Stromfäden 440
Stromfeinzeiger 268
Stromlinien 440
Strommesser 20. 48. 129
Stromstärke 3
Stromverluste 278
Stromverzweigung . . . . 19—21
Stromwärme 27
Stromzeiger 20. 48. 65. 129. 266. 412 Fussnote
Sulfatieren 195
Synchron 341. 359. 368. 402 Fussn. 422
Taste.
Zweck und Bau 256
Funkentelegraphische— . . 551
Klopfertaste 262
Platinierung der Ruhestifte 322
Schaltung 324
Doppeltaste 406
Tastenhebel des Hughes . . . 344
Tastenwerk des Hughes . . . 344
Tauchelement 150
Technisches Museum in München 342 Fussnote
Teheran 294
Telegraphenämter 313
Telegraphenamt Nürnberg 270. 304
Telegraphenelement . . 154. 297
Telegraphenkabel 374
Telegraphenleitung 312
Telegraphenumschalter . . . 268
Telegraphie als Arbeitsübertragung 274
Telegraphierbatterien . . 297—311
Telegraphiergeschwindigkeit 260. 331. 335
Gesetz 384
Telegraphische Hilfsapparate 266—296
Telegraphische Stromquelle 297—311
Telephon.
Allgemeines . . . . 435—438
Amt 512
Automat 512
Blitzableiter 485
Draht 32. 462
Element 163
Gehäuse . . . . . 501—511
Kabel 467
Knacken 436
Kreis 458
Leitung 462
Magnet . . 435. 436. 476—480
Modell 435
Schallplatte . . . . 435—437
Schaltung . . . 461. 503. 508
Sicherungen 485
Strom 437
Seite
Telephonische Übertragung 450—474
Thermisches Bild des Stromes 9
Tischblitzableiter 275
Tischgehäuse . . . . . 505—509
Ton 218
Tönende Luftsäulen 226
Tonhöhe 219. 450
Tonstärke 218. 451
Transformation . . . 29. 83. 459
Transformator 76. 281
Telephonischer— . . . 457—462
Trennämter 313. 320. 321
Trennstelle 313. 320
Arbeitsstrom . . 326. Fig 212
Gleichzeitig Übertragung 327. Fig. 214
Ruhestrom . . 329. Fig. 216
Tretgenerator 551
Triebwerk des Farbschreibers 247
Triebwerk des Hughes . . . 351
Fig. 238 auf 352
Trockenelemente 165
Trommelrelais 418
Typendruck 353
Typendrucker s. Hughesapparat u. Ferndrucker.
Typenfeld 355
Typenrad 340. 355

Übergangswiderstand 442
Überladung 194
Übersetzungsverhältnis . . 83. 460
Übertrager 467
Übertragung bei Kabeln . . . 417
— durch Beamte . . . 295. 417
— durch Farbschreiber 295. 327 (No. 5)
— durch Relais 294. 327 (No. 4)
Notwendigkeit 279
Übertragungsschreibhebel . . 296
Übungsmorse 234
Uhrzeigerregel 49
Umformer 308
Ummagnetisierung 60
Umschalter, telegraphische . . 268
telephonische— . . . 496—501
Undichtigkeit der Freileitung 278. 318
Unruhe 248. 360
Unterbrecher 78
Unterseekabel . . . . . 403—420
Unterteilung der Funkenstrecke 536 554
Unterteilung der Telegraphierstrecke 392. 417
Unterteilung von Spulenkernen 72

Variable zero 415
Verbesserungen . . . . 573—576

Seite

Verbrauch galvanischen Materiales 156—161. 164. 197. 315. 322
Verbrennung von Zink . . . 158
— von Wasserstoff 149
Verlauf des Morsestromes 381. 384. 385. 390
— Hughesstromes 400
Verluste im Transformator . . 85
Verquicktes Zink 145
Verriegelung von Gleichstrom . 176
von Wechselstrom . 176. 274
Verschiebungsstrom 373
Verteiler 422
Verzerrung der Sprache . 463. 472
Verzinkter Eisendraht 312
Verzweigungsgesetz . 19—21. 240
Vielfachbetrieb der Telegraphenleitungen . . . . . 421—434
Vielfachschaltung der Fernsprechämter 514
Violett 521
Vokale 228
Volt 15. 18
Voltainduktion 67
Voltameter 126
Voltampere 23
Voltcoulomb 23

Wagnerscher Hammer . . 78. 216
Walzenmikrophon . . . 444. 480
Warburg 60
Wärmewirkung der Magnetisierung 61
Wärmewirkungen des Stromes 1. 22. 26—32
Wasserstoffablagerung . . . 147
Wasserwellen 204
Waterville-Canso . . . 403. 417
Watt 23
Wattsekunde 24
Wechsel (halbe Periode) . . . 81
Wechsel (Umschalter) 268
Wechselblatt 356
Wechselhebel 356
Wechselspannung 80
Wechselstromartige Natur des Funkens 92. 113. 522
Wechselstrom . 60. 68. 79. 308. 492
Wechselstrommotor 309
Wechselstromwecker 488
Wechselstromwiderstand 82. 370. 538
Wecker 487
Weibliche Angestellte im Fernsprechdienst 219. 452
Weicheisen-Dosenrelais 289 Fussnote
Weicheisen-Relais 282

Seite

Wellen . . . . . 204—229
Wellenberg 208
Wellenlänge 207. 541
Wellenschrift 331. 415
Wellenstrahl 217
Wellental 208
Wellenzeiger 521. 530
Wheatstonesche Brücke . . . 431
Wheatstonescher Automat . . 331
292 Fussnote
Wicklung von Elektromagneten 50
Widerstand 5
Widerstand durch Selbstinduktion 82
Widerstand pro Kilometer . . 313
Widerstand und Temperatur . 217
Widerstand von Fernsprechleitungen 462
Widerstand von Telegraphenleitungen 313
Widerstände 46
Ausgleichs— 272
Künstliche— 272
Kurbel— . . . . 46 Fussnote
Regulier— . . . . 46 Fussnote
Stöpsel— . . . . 426 Fussnote
Widerstandskasten . . 426 Fussnote
Widerstandsschwankungen des Mikrophons 439. 452
Windfang 248
Windungszahl von Spulen . . 242
Winkelgeschwindigkeit . . . 341
Winkelmagnet 267
Wirbelströme . . . . . 70—73
Wirkungsgrad von Akkumulatoren 197
— d. telegraphischen Übertragung 274
— des Postmuseums 342 Fussn.
Wislicenus 22
Witterungseinflüsse . . 279. 318. 485
Wollfsche Depeschen 368
Woodsches Metall 486

Zeitschrift für Elektrochemie 137 Fussnote
Zenneck . . 534. 539. 550 Fussnote
Ziffernweiss 343. 355
Fig. 243 auf S. 356
Zinksulfat 151
Zink und Kupfer in verdünnter Schwefelsäure 135
Zungenpfeifen 227
Zurückgeworfene Welle 212. 221. 227
Zwischenämter 313
Zwischenstelle 313 abgeänderte Schältung VI. 329

Verbesserungen und Zusätze.

Seite

1 In Fig. 1 ist der Schalter doppelt so gross gezeichnet zu denken.

2 Zeile 5 von unten statt der Telephoninduktoren: des Telephoninduktors.

3 Zweiter Absatz Z. 2 statt mit: von.

4 Z. 14 zwischen endlich und Gespinste: Papier und.

7 Z. 4 nach befriedigendere: und doch leicht verständliche.
Z. 18 v. u. statt schnell: viel Wasser durch den Querschnitt.

10 Die Fussnote fällt fort.

11 Z. 1 statt Kommenden: kommenden.

15 Z. 5 des Textes statt nach Volta: zu Ehren Voltas.

21 Ende des ersten Absatzes hinzuzufügen: , und jeder ist halb so gross, als der Gesamtstrom.

22 Z. 10 v. u. statt und Wärmcarbeit: , Wärme- und Lichtarbeit.

24 Z. 11 statt drei Vierteln: vier Dritteln.
Z. 12 muss es seit dem 1. April 1904 heissen: der Statistik zu etwas über 500 000 Kilowatt angegebene Leistung von ungefähr 1000 . . . . würde etwa 700 000 PS ausmachen.
Z. 15 statt 64000: 100000.

25 Z. 11 statt Höhe: Fallhöhe.

26 Vorletzte Z. des 1. Absatzes statt Watt: Wattsekunde.

30 Z. 4 statt rechte: linke.

32 Zweiter Absatz Z. 3 statt in der Vorlesung über die: unter den.

35 Z. 7 statt Kork: Korken.
Z. 16 nach Grundgesetz einschieben: das Coulombsche Gesetz.

38 Z. 9 zu streichen: Ende.

42 Unter Fig. 24 statt Eisenstäbe: Eisenscheibe.

48 Ende des ersten Absatzes: statt der . . . . wird: denn es ist klar, dass man aus dem Ausschlag einer Magnetnadel auf die Anzahl der ablenkenden Ampere wird schliessen können.

49 Z. 2 v. u. zwischen ist und den: praktisch.

55 Die Fussnote fällt fort.

58 In Fig. 41 dürfen die Kernenden, die oben und unten aus der Spule herausragen, nicht gestrichelt sein. Sie sind ausgezogen zu denken.

60 Z. 13 bis 18. Der Vergleich mit der Waldestemperatur ist zwar poetisch, aber, wie Herr Dr. Brion von der Technischen Hochschule Dresden mich freundlichst aufmerksam macht, hinkt er doch stark und ist zu streichen.
Z. 20. Statt Professor . . . . Universität: Präsidenten der Reichsanstalt.
Z. 4 des 2. Absatzes nach Hervorrufen: (allgemein zur Änderung).

Seite

62 Z. 8 v. u. statt Fig. 43: 44.

63 Z. 3 v. u. Das Seepferd hat ein e zu viel.

67 Z. 4 und 5. Statt Auf . . . . deshalb: Diese Art der Induktion kann.

70 Z. 9 nach Leiter: (oder werden Kraftlinien wechselnder Anzahl von einem Leiter umschlungen).

71 Das Objekt der Fig. 47 steht Kopf. Die Grundplatte gehört natürlich nach unten.

73 Schluss des 1. Absatzes: Der magnetische Widerstand wird allerdings insofern erhöht, als die isolierenden Schichten den Eisenquerschnitt verkleinern.

82 Z. 1 zwischen ist und derselbe: praktisch.
Letzte Zeilen statt hat man angefangen zu beschicken: beschickt man.

85 Z. 7 statt Okonomie: Ökonomie oder zu deutsch: Haushalt.

87 Z. 10 des 2. Absatzes nach Glas: mit Seide.
Z. 11 des 2. Absatzes nach Siegellack: mit Wolle.

97 Z. 9 nach sie: ,

103 Z. 10 v. u. nach Condensator: häufig.

108 Z. 6. Wie das Archiv für Post und Telegraphie vom April 1904 richtig bemerkt, ist auch hier die Capacität natürlich der Schichtendicke des Dielektrikums umgekehrt proportional.

109 In Folge dessen lautet die Ausgangsgleichung

$$C_1 : C_2 : C_3 = \frac{1}{r_1} : \frac{1}{r_2} : \frac{1}{r_3}$$

und das Schlussergebnis

$$d_2 = \frac{r_1}{r_2} \text{ und } d_3 = \frac{r_1}{r_3}$$

Auf der letzten Zeile muss es auch statt doppelt und dreimal heissen: halb und ein Drittel mal.

112 Z. über Fig. 70. Statt Erdkugel: Endkugel.

115 Z. 7 v. u. nach also: anscheinend.

121 Z. 4 v. u. des ersten Absatzes statt beiden: drei.

137 2. Fussnote statt Telegraphische Messungen bei der genaueren Beschreibung der Spiegelgalvanometer: den Kabelbetrieb.

143 Vorletzte Z. Klemmenspannung, Singular statt des Plurals.

148 Z. 8 statt gerichteten: gerichtete.

150 Z. 8 nach deshalb: jetzt.

165 Z. 10 mählich.

182 Zu Fig. 106: Boesescher Rahmen, nicht Gitter.

196 Z. 3 v. u. zwischen von und 2,5: dort bis.

199 Z. 5 des 2. Absatzes statt Physik des Fernsprechens: Kabelbetrieb.

202 Z. 1 des letzten Absatzes: Nebeneinanderschaltung.

204 Z. 6 des Textes zu streichen: Kabel- und.

204 Z. 5 des 2. Absatzes: gesandten.

208 Z. 5 und 6 des 2. Absatzes: der doppelte Maximalwert der Schwingung, die doppelte Amplitude.
In Fig. 122 ist mit Amplitude ihr doppelter Wert bezeichnet.

Seite

219 Unter den Noten statt Schw.-Sek.: Schw./Sek.

222 Z. 10 des 2. Absatzes statt mehr: mal so viel.

226 Z. 5 v. u. statt gedachte: gedackte.

235 In Fig. 143c darf der Kern nicht bis zum Grunde geschlitzt gezeichnet sein.

249 In Fig. 152b: Uhrwerks.

254 In Fig. 156 darf man die Kernschlitze nicht sehen.

269 In Fig. 170 ist Umschalter VI und VIa vertauscht.

285 Fig. 181 enthält zwar, wie ausdrücklich angegeben, beliebig angenommene Werte. Aber bei der Einstellung auf Abreissen darf die Zugkraft durch Dauerkraftlinien nicht den gleichen Wert und die durch Stromkraftlinien nicht den gleichen umgekehrten Wert haben, wie bei der Einstellung auf Anziehen. Vielmehr werden bei Abreissen — der grösseren Ankernähe wegen — die magnetische und die ihr entgegengesetzte elektromagnetische Zugkraft wesentlich grösser sein müssen, als bei Anziehen.
Zu Fig. 181 statt dem: den.

294 Z. 3 v. u. statt nur fünf: zehn.

305 Z. 5 v. u. statt müsste: muss.

311 Z. 11 v. u. nach Übertragung: noch.

316 Das Archiv für Post und Telegraphie vom April 1904 ist in einer übrigens freundlichen Besprechung mit meiner Erklärung des Ruhestromes nicht einverstanden und hält mir »die gebräuchlichen Schaltungen für Zwischenämter mit Arbeitsstrom« entgegen. Es hat mich interessiert zu erfahren, dass solche und sogar mehrere gebräuchlich sind. Bis jetzt war mir nur die Schaltung für die Berliner Quetschen, die s. g. Berliner Schaltung bekannt. Gewiss scheint sie ein Betreiben mehrerer Ämter mit Arbeitstrom zu gestatten. Das soli sie ja. Aber sie spricht garnicht gegen meine Argumentation, denn wir suchen gerade nach einem Ersatz der Gesamtbatterie auf jedem Amt; wird doch S. 315 ausdrücklich gesagt: »Der lästigen Notwendigkeit, auf jedem Amt . . . . eine besondere Zellenzahl vorrätig zu halten, ist man sofort überhoben, sobald es gelingt, eine ganze Reihe von Ämtern in einen einzigen Stromkreis zu legen . . . . Das geht, wenn es eben gelingt, ... Hier versagt der Arbeitsstrom.« Der Gedankengang geht davon aus, dass man die Gesamtbatterie auf jedem Amt loswerden möchte. Das ist die klar gedachte und, wie mir scheint, auch klar ausgesprochene Grundabsicht der ganzen Überlegung. Soweit mir bekannt ist, kann man das nur mit Ruhestrom. Ja, wie weiter ausgeführt wird, halte ich das Gegenteil für logisch unmöglich.

Sehen wir uns aber die Berliner Schaltung, die allerdings mehrere Ämter — wenn auch keinen grösseren Kreis — mit Arbeitsstrom verbindet, näher an. Ich habe sie wegen des unnützen Batterieaufwandes nie recht ernst genommen, sie vor Langem auch in der amtlichen Apparatbeschreibung, die doch für Ruhestrom drei Schaltungen für Zwischenstellen enthält, einschliesslich den Nachträgen

Seite

mehrfach vergeblich gesucht. Als ich das betreffende Kapitel schrieb, ging ich auf ein Amt, wo die Berliner Schaltung benutzt werden sollte. Man wollte es mir nicht zeigen. Auf eine Anfrage bei einem massgebenden Beamten, wie verhält es sich mit dieser Schaltung, wurde mir ausweichend geantwortet. In dem Buch von Estaunié, Télécommunication aus dem Jahre 1903 ist die Schaltung als montage théorique überschrieben und im Text als théoriquement suffisant, zu deutsch als praktisch eben nicht ausreichend bezeichnet.

Ich richte deshalb an das Archiv die freundliche Bitte, die Gelegenheit zu benutzen und die »gebräuchlichen Schaltungen für Zwischenämter mit Arbeitsstrom« in aller Gründlichkeit und mit wo und wie aus einander zu setzen und vielleicht auch die Telegraphenämter beizufügen, auf denen sie mit Erfolg in praktischer Verwendung stehen. Vorläufig aber bitte ich die Leser, bei meiner hier noch einmal präcisierten Auffassung zu bleiben.

331 Z. 7 des Textes nach Betriebsweisen: des alten Apparates.
335 Fussnote vorletzte Z. statt er: der Apparat.
341 In Fig. 223 sollten die Typen mit einem äusseren Rande umgeben sein.
347 In Fig. 232 müssen die beiden rechten Teile des Contakthebels gemeinsam um 180° gedreht werden.
368 Z. 8 v. u. Bremerhafen.
375 Z. 3 v. u. statt mm: km.
392 Überschrift: Kabelbetrieb.
395 Z. 2 statt 213: 211.
396 Z. 2 Übertragungsenden.
403 Z. 11 v. u. statt Farad. Ohm: MF. Megohm.
422 Fussnote statt 401: 402.
463 Schluss. Dieser Draht ist natürlich nicht derselbe, wie der früher (S. 18 und 29) erwähnte mit noch geringerem Siliziumgehalte und dann grösserer Leitfähigkeit und kleinerer Festigkeit.
464 Z. 5 nach Drahtes: , des Doppelbronzedrahtes.
484 Z. 9 statt Kammern: Kammer.