

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

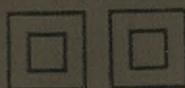


L. inw.

2547

GRAPHIE

□ □ OHNE DRAHT



Von

Ingenieur ADOLF PRASCH.

Mit 202 Abbildungen.

A.Hartleben's Verlag.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000297312

xx  
430



# DIE TELEGRAPHIE

OHNE DRAHT.

*F. Nr. 24748*



*F. 6  
48*



# DIE TELEGRAPHIE

OHNE DRAHT.

VON

INGENIEUR ADOLF PRASCH.

==== MIT 202 ABBILDUNGEN. ====



WIEN. PEST. LEIPZIG.

A. HARTLEBEN'S VERLAG.

1902.

(ALLE RECHTE VORBEHALTEN.)

XX  
430

DIE TELEGRAPHIE

OHNE DRAHT

VERFASST VON ADOLF TRASCHE

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

11 2547



DRUCK VON FRIEDRICH JASPER IN WIEN.

Akc. Nr. 1555/49

## VORWORT.

Das große Interesse, welches der neuesten Errungenschaft auf dem Gebiete der angewandten Elektrizität, nämlich der Nachrichtenvermittlung durch den Raum ohne Anwendung eines künstlichen Leiters, nicht nur seitens der Fachwelt, sondern auch seitens der Allgemeinheit entgegengebracht wird, läßt das Bestreben nach Aufklärung, über dieses fast unfaßlich erscheinende Gebiet, als vollkommen erklärlich erscheinen.

Mit dem vorliegenden Werke soll nun der Versuch gewagt werden, nicht nur die für diese Art der Telegraphie erdachten Vorrichtungen beschreibend vorzuführen, sondern auch die deren Wirkungen zugrunde liegenden physikalischen Gesetze in möglichst einfacher und leicht verständlicher, dabei doch halbwegs wissenschaftlicher Form zu erläutern, daß sowohl der Laie als auch der Fachmann, welcher nicht die Zeit und Gelegenheit hat, sich mit diesem Gegenstande eingehender zu befassen, die gewünschte Aufklärung findet.

Es wurde daher dem physikalischen Teile, welcher die Entstehung und Fortpflanzung der elektrischen Wellen erklären soll, vielleicht ein breiterer Raum gewidmet, als dies mit dem ganzen Umfange des Werkes im Einklang steht. Nichtsdestoweniger ist sich Verfasser bewußt, wie wohl er sich an bewährte Vorbilder, namentlich an Fleming anlehnte, nichts Vollkommenes gebracht zu haben, weil er mit Rücksicht auf die durch den Umfang des Werkes gebotene Beschränkung manches unterdrücken und auf eine instruktivere eingehende mathematische Behandlung verzichten mußte, was für diesen Zweck von großem Vorteile gewesen wäre. So wurden die Grundlagen für die Entwicklung des theoretischen Teiles, das sind die allgemeinen Gesetze der Wellenbewegung, als bekannt vorausgesetzt, und muß es, falls

dies nicht allseitig zutrifft, dem Leser überlassen bleiben, über dieselben aus anderen Werken Belehrung zu schöpfen.

Der historische Teil dürfte wohl vielfach als etwas zu eingehend behandelt erscheinen. Da ein derartiges Werk jedoch das ganze Gebiet möglichst abschließend in den Kreis der Betrachtungen einbeziehen soll und andererseits auch die Verdienste jener Männer, welche sich vor Marconi mit dieser eminent wichtigen Frage beschäftigt haben, gerechte Würdigung verdienen, so ergibt sich hierfür die Begründung von selbst.

An Literaturbehelfen für dieses Werk wurden benützt *a)* an Werken: Slaby, Die Funkentelegraphie. Braun, Drahtlose Telegraphie durch Wasser und Luft. André Broca, La télégraphie sans fils. Albert Turpain, Les applications pratiques des ondes électriques, und J. J. Fahie, A history of wireless telegraphie; *b)* an Zeitschriften: Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin. Dingers Polytechnisches Journal, Stuttgart. L'éclairage électrique, Paris. The electricien London, The electrical review, London, und Electrical world and engineer New-York u. a. m.

Wenn auch mit Bezug auf das Vorgesagte mit diesem Werke nichts Vollständiges geliefert werden konnte, glaubt der Verfasser, auf Grund seiner eingehenden Studien und seiner bisherigen anerkannten Veröffentlichungen auf dem in Rede stehenden Gebiete, doch etwas Brauchbares geschaffen zu haben und bringt nur die Hoffnung zum Ausdruck, daß diese seine Ansicht auch von den Lesern desselben geteilt werden möge.

**Der Verfasser.**

## INHALTS-VERZEICHNIS.

Vorwort . . . . .	Seite V
Inhaltsverzeichnis . . . . .	VII
Illustrationsverzeichnis . . . . .	XI

### I. Abschnitt

#### Die drahtlose Telegraphie vor Marconi.

A. Einleitung . . . . .	1
B. Die verschiedenen Methoden der drahtlosen Telegraphie . . . . .	5
C. Historisches . . . . .	7
D. Die verschiedenen Leitungs- und Induktionsmethoden zur Durchführung der drahtlosen Telegraphie . . . . .	17
1. Leitungsmethoden . . . . .	17
Die Methode von Lindsay . . . . .	17
Die Methoden von Schwendler, Johnston und Melhuish . . . . .	18
Die Versuche von Bell . . . . .	19
Die Methode von Smith . . . . .	20
Die Methode von Rathenau . . . . .	21
Die Methode von MichéI . . . . .	23
2. Induktionsmethoden . . . . .	24
a) Die elektromagnetischen Induktionsmethoden . . . . .	24
Einleitendes . . . . .	24
Die Versuche von Trowbridge . . . . .	26
Die Methoden von Phelps, Wood und Adler . . . . .	29
Die Methode von Preece . . . . .	30
Die drahtlose Telephonie nach Preece . . . . .	39
Das System von Stevenson . . . . .	42
Die Methode von Evershed . . . . .	43
Die Methode von Somzee . . . . .	44
Erklärung der Wirkung der elektromagnetischen Induktionsmethoden nach Bissing . . . . .	45
b) Die elektrostatischen Induktionsmethoden . . . . .	45

	Seite
Die Methode von Smith . . . . .	45
Die Methode von Edison . . . . .	46
Die Methode von Dolbear . . . . .	51
Die Methode von Edison zur Vermittelung von Nachrichten auf größere Entfernungen . . . . .	53
Die Methode von Kitsee . . . . .	55
3. Die indirekten Methoden zur drahtlosen Telegraphie und Tele- phonie . . . . .	56
Die Radiophonie . . . . .	56
Die lichtelektrische Telegraphie von Zickler . . . . .	59
Vorschläge zur drahtlosen Telegraphie mittels dunkler Wärmewellen .	64

## II. Abschnitt.

### Die Wellentelegraphie.

A. Einleitung . . . . .	65
Die Versuche von Hughes . . . . .	68
Vorschläge von Crookes . . . . .	72
Die Einrichtung von Popoff . . . . .	73
B. Die ersten Einrichtungen von Marconi zur Wellentelegraphie .	75
C. Erklärung und Entstehung elektrischer Oszillationen . . . . .	80
Erklärung und Erzeugung oszillatorischer Ströme . . . . .	80
Mechanische Analogien . . . . .	81
Oszillatorische Entladung von Leydenerflaschen . . . . .	83
Erklärung durch ein hydraulisches Beispiel . . . . .	85
Bedingungen, unter welchen eine oszillatorische Entladung der Leydener- flaschen erfolgt . . . . .	88
Einfluß des Widerstandes auf die Wirkung der Kondensatoren, bezie- hungsweise auf deren Entladung . . . . .	90
Wirkung des Dielektrikums . . . . .	91
Verfolgung des Vorganges bei der Entladung von Leydenerflaschen oder Kondensatoren . . . . .	93
Bestimmung der Frequenz der elektrischen Oszillationen . . . . .	94
Die Erzeugung sekundärer elektrischer Schwingungen . . . . .	96
Schirmwirkung . . . . .	98
Skineneffekt . . . . .	99
Entstehen der Induktanz . . . . .	101
Beziehung zwischen Skineneffekt und allmählich abnehmenden elektrischen Oszillationen . . . . .	102
Einfluß der Induktanz des sekundären Stromkreises . . . . .	103
Die Magnetisierung von Eisen durch oszillatorische Ströme . . . . .	103
Die Oszillationsperiode . . . . .	106

	Seite
Elektrische Radiatoren . . . . .	108
Elektrische Resonanz . . . . .	109
Bestimmung der Oszillationsdauer der Radiatoren . . . . .	112
Bedingungen für die Konstruktion der Oszillatoren. . . . .	114
Gegenseitige Abstimmung zweier Stromkreise und die Methoden zur Anzeige derselben . . . . .	116
Stationäre elektrische Oszillationen im offenen Stromkreise. . . . .	118
Elektrische Absorption . . . . .	119
Das elektromagnetische Medium . . . . .	120
Der Brechungsindex . . . . .	129
Die Bestimmung der Dielektrizitätskonstante . . . . .	131
Feststellung der Beziehungen zwischen dem Brechungsindex und der Dielektrizitätskonstante . . . . .	133
Die Rolle des Äthers, Elektronen. . . . .	137
Die verschiedenen Wellenformen. . . . .	139
Die Natur der elektrischen Wellen . . . . .	143
Die Versuche von Hertz . . . . .	146
Der Kohärer . . . . .	157
Die Eigenschaften der elektrischen Wellen . . . . .	160
Konzentration der elektrischen Strahlen durch Linsen . . . . .	163
Schirmwirkung . . . . .	164
Erklärung der Ursachen der teilweisen Nichtübereinstimmung des Ver- hältnisses zwischen Brechungsindex und Dielektrizitätskonstante für elektrische und Lichtwellen bei einzelnen Dielektrika . . . . .	165
Approximative Anzahl der Wellen in der Sekunde . . . . .	168
<b>D. Die verschiedenen Formen der Erreger oder Oszillatoren . . . . .</b>	<b>168</b>
Der Oszillator von Sarazin und de la Rive . . . . .	169
Der Oszillator von Blondlot . . . . .	170
Der Erreger von Righi . . . . .	170
Der Erreger oder Oszillator von Lebedew . . . . .	171
Der Erreger von Bose . . . . .	171
Erreger für Mehrfachtelegraphie . . . . .	172
<b>E. Die verschiedenen Apparate zum Aufnehmen der elektrischen Wellen . . . . .</b>	<b>172</b>
Der Resonator von Hertz . . . . .	172
Der Resonator von Blondlot . . . . .	173
Der unterbrochene Hertzsche Resonator . . . . .	173
Der Kohärer von Popoff. . . . .	174
Der Kohärer von Branly . . . . .	175
Der Kohärer von Marconi . . . . .	175
Der regenerierbare Kohärer von Blondel . . . . .	176
Selbstregenerierender Kohärer von Tommasina . . . . .	177

	Seite
Der Kohärer von Tissot . . . . .	178
Der Empfänger von Orling und Braunerhjelm . . . . .	179
Empfangsapparat von Schaffer, Renz und Lippold . . . . .	180
Der Kohärer von Ducretet . . . . .	181
Der Wellenanzeiger von Righi . . . . .	182
Der Wellenanzeiger von Blondel . . . . .	182
Der einfachste Wellenanzeiger . . . . .	182
F. Die Wirkungsweise des Kohärers . . . . .	183
G. Die Elektrizitätserzeuger . . . . .	188
H. Die verschiedenen Systeme der Wellentelegraphie . . . . .	189
Das System von Marconi . . . . .	189
Die Sendeeinrichtung . . . . .	189
Die Empfangseinrichtung . . . . .	192
Marconis Anordnungen für eine syntonierte oder abgestimmte Wellentelegraphie . . . . .	198
Guarinis selbsttätiger Wellenübertrager . . . . .	210
Das System der abgestimmten drahtlosen Telegraphie von Lodge und Muirhead . . . . .	219
Das System der abgestimmten und mehrfachen Wellentelegraphie von Slaby . . . . .	225
Das System der drahtlosen Wellentelegraphie von Braun. I. Die Hydrotelegraphie . . . . .	230
II. Die Wellentelegraphie . . . . .	235
Die Verbesserungen in der Verbindung der Apparate für die drahtlose Telegraphie von Wilson . . . . .	244
Vielfach-Apparat für drahtlose Telegraphie von Cohen und Cole . . . . .	246
Übertragungseinrichtung für die Wellentelegraphie von Cole und Cohen . . . . .	251
Methode zur Dirigierung eines Steuerruders mittels elektrischer Wellen von Orling und Braunerhjelm . . . . .	252
<b>I. Erklärung der Wirkungsweise der Antenne . . . . .</b>	<b>254</b>
Länge der Antenne . . . . .	255
Richtung der Antenne . . . . .	255
Verbindung der Antenne mit der Erde . . . . .	256
Isolierung der Antenne . . . . .	256
Natur, Form und Kapazität der Antenne . . . . .	257
Verschiedene Erklärungen über die Wirkungsweise der Antennen . . . . .	257
<b>K. Schlußbemerkungen . . . . .</b>	<b>261</b>

## ILLUSTRATIONS-VERZEICHNIS.

Figur	Seite
1. Das Leitungssystem von Morse . . . . .	10
2. Das Leitungssystem von Lindsay . . . . .	17
3. Die Leitungsmethoden von Schwendler, Johnston und Melhuish . . . . .	19
4. Situation der Verbindung zwischen Crookhaven und Fastnetfelsen . . . . .	21
5. Das Leitungssystem von Rathenau . . . . .	22
6. Die Methode von Michél . . . . .	23
7. Die Induktions-Übertragung von Trowbridge . . . . .	28
8 und 9. Verteilung der Stromlinien und resultierender Leiter nach Preece . . . . .	33, 34
10, 11, 12 und 13. Induktive Einwirkung zweier Stromkreise nach Preece . . . . .	36, 37, 38
14. Das elektromagnetische Induktionssystem von Preece . . . . .	39
15. Situation der Verbindung zwischen Anglesey und the Skerries . . . . .	40
16. Anordnung für drahtlose Telephonie nach Preece . . . . .	41
17. Leitungsverbindung für die drahtlose Telephonie auf Schiffen . . . . .	41
18. Das elektromagnetische Induktionssystem von Evershed . . . . .	43
19. Die Induktionswage auf Schiffen, Anordnung von Somzee . . . . .	44
20. Elektrostatistisches Induktionssystem von Edison, ältere Anordnung . . . . .	46
21, 21 a und 22. Elektrostatistisches Induktionssystem von Edison für den Verkehr zwischen Stationen und rollenden Zügen . . . . .	48, 50
23 und 24. Elektrostatistisches Induktionssystem von Dolbear . . . . .	52
25 und 26. Elektrostatistisches Induktionssystem von Edison für den Verkehr über größere Entfernungen . . . . .	54
27. Elektrostatistisches Induktionssystem von Kitsee . . . . .	55
28, 29 und 30. Einrichtungen für die Radiophonie . . . . .	57, 58, 59
31, 32 und 33. Einrichtungen für die lichtelektrische Telegraphie von Zickler . . . . .	60, 61, 62
34. Schematische Darstellung der Einrichtung von Onesti zur Untersuchung der Kohärenz von Metallspänen unter der Einwirkung elektrischer Ströme . . . . .	67
35. Kohärer von Lodge . . . . .	68

Figur	Seite
36—40. Anordnungen von Hughes zur drahtlosen Wellentelegraphie . . . . .	69, 70, 71, 72
41. Anordnung von Popoff zum Studium der atmosphärischen Elektrizität . . . . .	74
42. Sendestation für drahtlose Telegraphie von Marconi, ältere Anordnung . . . . .	76
43. Erreger von Marconi . . . . .	77
44. Empfangsstation für drahtlose Telegraphie von Marconi, ältere Anordnung . . . . .	78
45. Sende- und Empfangsstation für drahtlose Telegraphie von Marconi mit Auffangplatten und Erdung . . . . .	79
46. Kommunizierendes Gefäß mit Hahn zur Erklärung der Wellentstehung . . . . .	81
47. Graphische Darstellung des Entladungsverlaufes einer Leydenerflasche ohne oszillatorischen Charakter . . . . .	84
48. Graphische Darstellung des Entladungsverlaufes einer Leydenerflasche mit oszillatorischem Charakter . . . . .	84
49. Schematische Darstellung eines Induktoriums in Verbindung mit einer Funkenstrecke und einem Kondensator . . . . .	85
50. Wasserröhrensystem mit Pumpe zur Erklärung des Entstehens elektrischer Oszillationen . . . . .	86
51. Schematische Darstellung eines Induktoriums in Verbindung mit einer Funkenstrecke, Kondensatoren, Transformator und Glühlampe . . . . .	90
52. Schematische Anordnung zur Erklärung des Vorganges bei Entladung von Kondensatoren . . . . .	93
53. Schematische Anordnung eines Transformators zur Oszillationsübertragung auf einen sekundären Leiter, mit Glühlampe . . . . .	97
54. Oszillationsübertragung auf verdünntes Gas in einer Glasröhre . . . . .	98
55. Schematische Anordnung eines Oszillators zur Nachweise der magnetisierenden Wirkungen oszillatorischer Ströme . . . . .	105
56. Oszillator mit Transformator und Funkenstrecke in der Sekundären . . . . .	110
57. Oszillator mit Transformator und Glühlampe, Kondensator und Induktanz in der Sekundären . . . . .	111
58. Oszillator von Hertz . . . . .	113
59. Oszillator mit Transformator und Einrichtung in der Sekundären zur gegenseitigen Abstimmung . . . . .	117
60. Anordnung von Lecher zur Übertragung elektrischer Oszillationen auf langgestreckte Drähte . . . . .	118
61. Schematische Darstellung der Einwirkung eines magnetischen Feldes auf einen Resonator . . . . .	119

Figur	Seite
62 und 63. Schematische Darstellungen zur Erklärung des Vektorpotentials von Maxwell . . . . .	122, 125
64. Schematische Darstellung der Einrichtung zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstante . . . . .	131
65. Kondensator zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstante einer Flüssigkeit . . . . .	133
66. Schematische Darstellung zur Erklärung des Entstehens von Wellen in festen Körpern* . . . . .	144
67. Schematische Darstellung zur Erklärung des Entstehens elektrischer Wellen im Dielektrikum . . . . .	145
68. Oszillator von Hertz mit Induktorium . . . . .	146
69, 70, 71 a und 71 b. Verschiedene Lagen und Anordnungen des Resonators von Hertz . . . . .	148, 149
72. Schematische Darstellung des Verlaufes elektrischer Wellen im Radiator und Resonator . . . . .	152
73. Anordnung zur Bestimmung des Spannungsunterschiedes in den verschiedenen Punkten eines von stehenden elektrischen Wellen durchflossenen geradlinigen Leiters . . . . .	155
74. Röhre von Arons . . . . .	156
75. Kohärer . . . . .	160
76—82. Vorrichtungen zur experimentellen Darstellung der Eigenschaften elektrischer Wellen . . . . .	161, 162, 163, 164, 165
83. Oszillator von Sarazin und de la Rive . . . . .	169
84 und 85. Oszillator von Blondlot . . . . .	170
86. Erreger von Righi . . . . .	171
87. Erreger von Lebedew . . . . .	171
88. Erreger von Bose . . . . .	171
89. Erreger für Mehrfachtelegraphie . . . . .	172
90, 91 und 92. Resonator von Hertz mit regulierbarer Funkenstrecke . . . . .	173
93. Resonator von Blondlot . . . . .	173
94. Unterbrochener Resonator von Hertz . . . . .	173
95 und 96. Kohärer von Popoff . . . . .	174
97. Regulierung des Köhärers nach Branly . . . . .	175
98. Kohärer von Marconi . . . . .	175
99. Kohärer von Blondel . . . . .	177
100. Kohärer von Tommasina . . . . .	178
101. Kohärer von Tissot . . . . .	178
102—104. Empfänger von Orling und Braunerhjelm . . . . .	179, 180
105 und 106. Empfangsapparat von Schaffer, Renz und Lippold . . . . .	180, 181
107 und 108. Kohärer von Ducretet . . . . .	181, 182
109. Wellenanzeiger von Righi . . . . .	182

Figur	Seite
110. Schematische Anordnung zur Erklärung der Selbstregenerierung gewisser Kohärer . . . . .	187
111—113. Schematische Darstellungen einer Sendestation mit Antenne, System Marconi . . . . .	190, 191
114. Schematische Darstellung einer kombinierten Sende- und Empfangsstation mit Antenne, System Marconi . . . . .	192
115. Schematische Darstellung der Schaltung einer Empfangsstation mit Antenne, System Marconi . . . . .	193
116. Klopfer . . . . .	193
117. Detailschaltung der Empfangseinrichtung, System Marconi . . . . .	194
118. Detailschaltung einer kombinierten Sende- und Empfangseinrichtung, System Marconi . . . . .	195
119. Sendeeinrichtung von Marconi für große Entfernungen . . . . .	195
120. Sendeeinrichtung von Marconi mit Reflektor . . . . .	196
121. Empfangseinrichtung von Marconi mit Antenne . . . . .	196
122. Empfangseinrichtung von Marconi mit parabolischem Auffangschirm . . . . .	197
123 und 124. Anordnungen mit Übertragung der einlangenden elektrischen Wellen auf einen Sekundärstromkreis . . . . .	199, 200
125—129. Verschiedene Wickelungsarten der Transformatoren . . . . .	201, 202
130. Empfangsschaltung mit Übertragung und geteilter Sekundärspule . . . . .	203
131. Wickelung des Transformators mit geteilter Sekundärspule . . . . .	203
132. Schematische Anordnung einer Sendestation mit zwei Antennen . . . . .	204
133. Sendestation mit Transformator und zylinderförmiger Antenne . . . . .	205
134. Geschlossener Stromkreis mit Kapazität . . . . .	206
135. Sendeeinrichtung mit Kapazität im primären Kreise . . . . .	206
136. Sendeeinrichtung mit Übertragung und regulierbarer Kapazität und Induktanz . . . . .	207
137. Empfangseinrichtung mit Übertragung und regulierbarer Induktanz der Antenne . . . . .	207
138. Empfangseinrichtung mit doppelter Antenne und regulierbarer Induktanz . . . . .	208
139. Empfangseinrichtung mit regulierbarer Kapazität und Induktanz . . . . .	208
140. Kombinierte Sendeeinrichtung mit regulierbarer Kapazität und Induktanz zur Entsendung verschiedener Wellenlängen durch die gemeinsame Antenne . . . . .	209
141. Kombinierte Empfangsstation mit regulierbarer Kapazität und Induktanz . . . . .	210
142. Sendestation mit Zylinder-Antenne und regulierbarer Kapazität und Induktanz . . . . .	211

Figur	Seite
143 und 144. Schematische Darstellung des Verlaufes elektrischer Wellen über Wasser . . . . .	212
145—148. Verschiedene von Guarini versuchte Anordnungen zum abwechselnden Ein- und Ausschalten des Kohärerstromkreises . .	213
149. Schematische Darstellung des selbsttätigen Wellenübertragers von Guarini . . . . .	214
150. Relais von Guarini . . . . .	216
151. Unterbrecher von Guarini . . . . .	217
152. Hochempfindliches Relais . . . . .	218
153 und 154. Kohärer von Guarini . . . . .	218, 219
155. Antenne nach Guarini . . . . .	219
156—159. Allgemeine Anordnungen des Senders von Lodge und Muishead . . . . .	220, 221
160—164. Details der Senderanordnungen von Lodge und Muirhead . . . . .	222, 223, 224
165. Kohärer von Lodge mit einem Kontakt . . . . .	225
166. Empfangsanordnung von Lodge und Muirhead . . . . .	225
167 und 168. Senderanordnungen von Slaby . . . . .	229
169 und 170. Empfängeranordnungen von Slaby . . . . .	230, 231
171—178. Senderanordnungen für die Hydrotelegraphie von Braun	232, 233
179 und 180. Empfängeranordnungen für die Hydrotelegraphie von Braun . . . . .	233
181. Situationsskizze über das Versuchsgebiet von Braun für dessen Hydrotelegraphie . . . . .	234
182—184. Kaskadenschaltung der Leydenerflaschen nach Braun	238, 239
185—189. Schematische Senderanordnungen von Braun für die Wellentelegraphie . . . . .	239, 240, 241
190. Senderanordnung von Braun für die Versuche in Cuxhaven . .	242
191. Empfängeranordnung von Braun für die Versuche in Cuxhaven	243
192 und 193. Kohärer von Braun . . . . .	244
194 und 195. Sender von Wilson . . . . .	245
196 und 197. Stationswähler mit Uhrwerk von Cohen und Cole . .	247
198. Stationswähler mit Quecksilber und Schaltungsanordnung von Cohen und Cole . . . . .	248
199—201. Anordnungen von Cole und Cohen zur Übertragung elektrischer Wellen mittels Relaisstationen . . . . .	252, 253
202. Vorrichtung zur Dirigierung eines Steuerruders von Orling und Braunerhjelm . . . . .	254



## I. ABSCHNITT.

### Die drahtlose Telegraphie vor Marconi.

#### A. Einleitung.

Kaum auf irgend einem Gebiete der physikalischen und technischen Forschung sind solche Fortschritte zu verzeichnen, wie auf dem Gebiete der Elektrizitätslehre und der Elektrotechnik. Die geheimnisvolle Naturkraft, die wir mit dem Namen Elektrizität bezeichnen, bietet eben nicht nur für den Forscher sondern auch für den gebildeten Laien eine unendliche Fülle stets neuer Anregung, indem fortwährend neue Erscheinungen, deren Wesen an das Wunderbare zu grenzen scheint, das lähmende Interesse immer und immer wieder von neuem zu fesseln wissen.

Das unsichtbare Wirken dieser Naturkraft ist es vor allem, welche dieselbe so rätselhaft erscheinen läßt. Wen mag es nicht wundernehmen, daß durch einen dünnen Draht, dessen Festigkeit kaum einem hundertsten Teile jener Energie entspricht, die durch denselben durchgeleitet wird, Tausende von Pferdekraften auf Entfernungen von Hunderten von Kilometern weitertransportiert zu werden vermögen, um an der Endstelle nutzbringende Arbeit zu leisten. Und dabei spielt sich der ganze Vorgang in einer für unsere Sinne absolut unmerklichen Weise ab, so daß wir erst durch die Wirkungen auf das stille Walten aufmerksam werden.

Nun ist allerdings die Elektrizität des dunklen Nimbus, welcher sie umgab, entkleidet worden, indem es dem unermüdeten Forschungstrieb gelang, den Schleier zu lösen, diese Naturkraft in die Fesseln zu zwingen und zu allgemein nutzbringender Arbeit zu verhalten.

In unserer raschlebigen Zeit hat man sich nun bereits an die allgemeine Verwertung elektrischer Einrichtungen in einer Weise gewöhnt, daß das Geheimnisvolle teilweise ge-

schwunden erscheint, das Bestehende bereits als eine Notwendigkeit angesehen und über die Genesis kaum mehr nachgegrübelt wird. Trotzdem finden sich stets neue Erscheinungen, die immer und immer wieder neue Rätsel in sich zu bergen scheinen.

Forscht man der Grundursache dieses anscheinend unerforschbaren Wesens nach, so ergibt es sich von vornherein, daß derselbe nur in dem Mangel einer direkten Sinneseinwirkung gelegen ist. Das Licht, eine sicher ebenso ins Dunkel gehüllte Erscheinung, wirkt direkt auf unsere Sinne ein und erscheint uns daher, die wir von jeher zu sehen gewohnt sind, als etwas so natürliches, daß sich ein Nachdenken über dessen Wesen anscheinend gar nicht mehr verlohnt. An den Schall sind wir in gleicher Weise, weil direkt auf die Sinne einwirkend, gewöhnt und auch die Wärmewirkung ist, weil selbe direkt zur sinnlichen Wahrnehmung gelangt, anscheinend alles geheimnisvollen Reitzes bar. Würde uns ein Sinn zur direkten Wahrnehmung der Elektrizität zu Gebote stehen, so würde das Geheimnisvolle wohl ebensobald verschwinden und der allgemeine Reiz, welcher sich dermalen für nahezu jedermann ergibt, der nur einigermaßen zu denken und zu beobachten gewöhnt ist, in Kürze gewichen sein.

Da jedoch das Dasein jener Kraft, welche man als Elektrizität bezeichnet, nur mittelbar aus ihren Wirkungen und nicht unmittelbar durch unsere Sinne wahrzunehmen ist, während alle anderen Naturkräfte direkt auf unsere Sinne einzuwirken erscheinen, ist diese im allgemeinen so seltsam und unmerkbar erscheinende Wirkung der Elektrizität erklärlich. Daß sich auf allen anderen physikalischen Gebieten ähnliche Erscheinungen gleichfalls sozusagen im Verborgenen abspielen, ist zwar dem Physiker kein Geheimnis, aber die Mehrzahl dieser Erscheinungen entzieht sich im allgemeinen der Kenntnis, weil sich praktische Nutzenwendungen, wie solche in der Elektrotechnik eine bereits so große Verbreitung gefunden haben, nur in den selteneren Fällen finden.

Eine solche Nutzenwendung zeigt sich beispielsweise in der Photographie, wo ja den dunklen Strahlen, welche in hervorragender Weise chemisch wirken, die Hauptrolle zufällt, und welche sich gleichfalls der sinnlichen Wahrnehmung entziehen. Da sich jedoch die Einwirkung des Lichtes auf unsere Augen im allgemeinen sinnlich manifestiert, wird die chemische Wirkung der Lichtstrahlen als etwas mehr oder weniger selbstverständliches angesehen.

Ähnliches ließe sich von den dunklen Wärmestrahlen sagen, von deren Existenz wohl nur eine große Minderheit Kenntnis erhielt.

Der fast schon schwindende Reiz der Elektrizität erhielt nun durch die Nachricht, daß es zu deren Fortpflanzung im Raume keines Leiters mehr bedürfe und daß es daher möglich sei, Kraftwirkungen auf weite Entfernungen hin zu übertragen, ohne eines solchen künstlichen Hilfsmittels zu bedürfen, neue Nahrung.

Bisher war man geneigt, die Elektrizität als etwas Materielles zu betrachten, wozu namentlich die zur Erklärung der elektrischen Erscheinungen mit Recht herangezogenen Analogien der hydraulischen Wirkungen nicht wenig beitrugen. Die Möglichkeit der elektrischen Kraftübertragung auf weite Entfernungen ohne Zuhilfenahme eines künstlichen Leiters, läßt aber diese Annahme hinfällig werden. Wäre die Elektrizität in diesem Sinne aufzufassen, so müßte, wenn der Weiterverpflanzung der Elektrizität ein Hindernis entgegengestellt würde, sich dies durch eine sinnlich wahrnehmbare Erscheinung zur Geltung bringen. Da dies aber nicht der Fall ist und mit Rücksicht auf die hierbei in Betracht kommenden geringen Kräfte auch nicht der Fall sein kann, erscheint dieses Verhalten der Elektrizität im Auge des Laien zum mindesten auffällig. Allerdings hat man in der Akustik, wobei jedoch der Vermittler der Fortpflanzung ein materieller Körper ist, ähnliche Erscheinungen zu beobachten kennen gelernt, doch läßt sich für dieselben, auch für den Laien, aus dem Grunde leichter eine Erklärung finden, weil demselben durch das Vorhandensein der Luft als einem der gewöhnlichsten Lautträger der Begriff des Unsinnlichen eliminiert erscheint und die Bewegung der Luft, sowie die sich aus derselben ergebenden Wirkungen alltäglich beobachtet werden können.

Die seinerzeitigen epochalen Untersuchungen von Hertz über die Fortpflanzung der Elektrizität im Raume ließen nun wohl erkennen, daß hierbei eine Wellenbewegung die vermittelnde Rolle spielen muß, und zwar dies umsomehr, als sich die ganz analogen Erscheinungen, wie bei der Fortpflanzung des Lichtes, nachweisen ließen. Es lassen sich nun tatsächlich alle die hierbei zutage tretenden Erscheinungen auf Grund der Wellentheorie, wobei der hypothetische Äther als vermittelndes Agens angenommen wird, in relativ einfacher Weise erklären.

Sind nun auch die hervorgerufenen Erscheinungen und Wirkungen nicht direkt sinnlich wahrnehmbar, so finden sich doch so viele Analogien, daß die Klarlegung der hierfür maßgebenden Grundgesetze keine Schwierigkeiten bietet.

Ebenso wie die Röntgenstrahlen, an und für sich sinnlich unwahrnehmbar, doch aus ihren Wirkungen erkannt werden können, ebenso lassen sich die elektrischen Strahlen, denn als solche können wir selbe ohne weiteres betrachten, durch ihre indirekte zur sinnlichen Wahrnehmung gelangenden Wirkungen nachweisen.

In ähnlicher Weise wie sich die Lichtwirkungen auf Grundlage der Annahme der Wellenbewegung des Äthers erklären lassen, findet sich auch eine analoge Erklärung für die Fortpflanzung der Elektrizität im Raume und die Wirkung der Röntgenstrahlen.

Schon lange wurde in unzweifelhafter Weise nachgewiesen, daß die Verschiedenfarbigkeit der Lichtstrahlen, aus welchen sich das Sonnenlicht und nahezu das Licht jeder künstlichen Lichtquelle zusammensetzt, nur aus einem Unterschiede der Wellenlänge und der Wellenzahl auf die Zeiteinheit bezogen beruht und, daß wenn die Zahl der Schwingungen eine bestimmte Grenze überschreitet oder hinter einer anderen unteren Grenze zurückbleibt, deren Wahrnehmung für das diesfalls in Betracht kommende Sinnesorgan, das Auge, zur Unmöglichkeit wird, so daß sich diese Lichtstrahlen nur auf anderem Wege aus ihren Wirkungen nachweisen lassen.

Der Unterschied zwischen Strahlen des Lichtes, der Elektrizität und den Röntgen- oder X-Strahlen läßt sich nun ganz allgemein auf den Unterschied der Wellenlänge und Wellenform zurückführen und ist es auch bereits gelungen, sowohl die Wellenlänge als die Schwingungszahl für alle die bekannten verschiedenen Strahlenarten auf synthetischem Wege genau festzulegen.

Man hat nun bei der sogenannten drahtlosen Telegraphie, jedoch nicht immer, die Wellenbewegung zugrunde zu legen, da die Versuche der elektrischen Zeichenübertragung bereits in eine Zeit zurückreichen, zu welcher die Versuche von Hertz noch nicht bekannt waren und die Mehrzahl der hierbei angewandten Methoden sich auf bekannte elektrische Erscheinungen stützte, deren Grundursache mit elektrischen Wellen, die nur unter ganz bestimmten Vor-

bedingungen entstehen, in keinerlei ursächlichem Zusammenhange steht. Da diese Methoden im Interesse einer übersichtlichen Darstellung des gesamten Gebietes umsoweniger übergangen werden können, als ja einige derselben noch heutzutage in erfolgreicher praktischer Verwertung stehen, erklärt sich auch der Titel dieses Werkes.

Derselbe sollte eigentlich noch insoferne eine Erweiterung erfahren, als es sich nicht immer um die Übertragung von Zeichen, sondern auch in einigen Fällen um die direkte Übertragung des gesprochenen Wortes handelt.

## B. Die verschiedenen Methoden der drahtlosen Telegraphie.

Sieht man von der bereits im 17. Jahrhundert aufgetauchten Idee einer Nachrichtenvermittlung durch Anwendung kräftiger Magnete ab, die wegen der wenig weittragenden Wirkung der magnetischen Kraftlinien niemals zur praktischen Verwertung gelangen konnte, und schließt alle sonstigen Methoden zur drahtlosen Zeichenübertragung, welche sich in ihrer Anwendung nicht elektrischer oder elektromagnetischer Wirkungen bedienen, aus, so lassen sich zwei Hauptgruppen der elektrischen Telegraphie ohne Draht unterscheiden und zwar:

Gruppe I. Die direkten Methoden, das sind jene Methoden, bei welchen sich zur Übertragung der Zeichen rein elektrischer oder elektromagnetischer Mittel bedient wird, und

Gruppe II, die indirekten Methoden, das sind jene Methoden, bei welchen man sich zur Übertragung der Zeichen eines anderen Agens, als der Elektrizität und des Elektromagnetismus, wie beispielsweise des Lichtes oder der Wärme bedient, bei welchen aber entweder die Erregung der zur Fortpflanzung bestimmten Zeichen, oder auch die Aufnahme der einlangenden Zeichen oder auch beide auf elektrischem Wege besorgt wird.

Bei den rein elektrischen Methoden lassen sich wieder drei verschiedene Arten der Zeichenerregung und Weiterleitung feststellen und zwar:

1. Die Leitungsmethoden, bei welchen als Übertragungsmittel die leitenden Eigenschaften der Erde und des Wassers nutzbar gemacht werden. Bei diesen Methoden,

welche mit einer einzigen Ausnahme, als die ältesten Methoden anzusehen sind, konnte es sich naturgemäß nicht um die Überwindung größerer Entfernungen handeln und fanden, beziehungsweise finden dieselben daher nur dort Anwendung, wo die Herstellung künstlicher Leitungsverbindungen durch die Natur des gegebenen Terrains, entweder direkt unmöglich ist oder sehr große Schwierigkeiten bietet oder endlich dort, wo die Leitungsverbindungen einer häufigen Zerstörung unterworfen sind.

2. Die Induktionsmethoden. Bei diesen Methoden wird die induzierende Wirkung des elektrischen Stromes, beziehungsweise eines isolierten statisch geladenen Körpers auf einen entfernt gelegenen Leiter verwertet, weshalb auch zwischen

a) den elektrostatischen und

b) den elektrodynamischen Induktionsmethoden unterschieden werden muß.

Wiewohl sich bei beiden Induktionsmethoden, die sich im Prinzip aus dem Grunde nur unwesentlich von einander unterscheiden, weil für beide eine Bewegung der Elektrizität Grundbedingung ist, weit größere Entfernungen ergeben, auf welche hin noch Nachrichten mit Sicherheit übertragen werden können, so sind diese Entfernungen immerhin noch als relativ kurze zu bezeichnen, indem die bisher unter den günstigsten Vorbedingungen erreichten Entfernungen  $7\text{ km}$  nicht überschritten haben.

Allerdings ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, diese Distanzen durch Verwendung kräftigerer Induktionswechselströme vergrößern zu können, allein es bleibt dennoch fraglich, ob das erreichbare Resultat mit den hierbei in Frage kommenden großen Anlage- und Betriebskosten in Einklang zu bringen ist.

3. Die Wellenmethoden. Diese Methoden, als deren Urheber G. Marconi bezeichnet wird, sind es, welche Zeichenübertragungen auf bedeutend größere Entfernungen gestatten, als dies mit den bisher bekannten Methoden zu erreichen ist. Da sich diese Methoden eigentlich noch im ersten Stadium der Entwicklung befinden und Verbesserungen derselben von Tag zu Tag auftauchen, dürfte diesen Methoden umsomehr eine glänzende Zukunft vorausgesagt werden, als nunmehr die theoretische Seite der elektrischen Wellenübertragung wohl zum größten Teile gelöst erscheint, somit die Wege gewiesen sind, auf welchen die

Bestrebungen zur Verbesserung sich zu bewegen haben werden.

### C. Historisches.

Die erste Anregung zur Durchführung einer drahtlosen Telegraphie datiert bereits aus dem Jahre 1795, also einer Zeit, zu welcher von einer elektrischen Telegraphie unter Anwendung künstlicher Leiter noch keine Ahnung vorlag. Der äußerst tüchtige spanische Physiker Salva hielt am 16. December 1795 vor der Akademie der Wissenschaften in Barcelona einen Vortrag, in welchem er die Möglichkeit der elektrischen Zeichenübertragung unter Anwendung der damals bekannten Mittel zur Erzeugung elektrischer Erscheinungen nachzuweisen suchte. Auf Grund der Bertolonschen Theorie über die Entstehung von Erdbeben, als deren Ursache elektrische Ausgleiche im Inneren der Erde bezeichnet wurden, führt er an, daß es, wenn der Ausgleich eines positiv geladenen Punktes der Erde zu einem entfernt gelegenen negativ geladenen Punkte sich durch die Erde hindurch vollziehen kann, so muß es auch möglich sein, ohne leitende Verbindung zweier entgegengesetzter Punkte der Erde einen telegraphischen Zeichenaustausch herbeizuführen. Man brauche zu diesem Zwecke bloß eine bestimmte Fläche der Erde, z. B. auf Mallorca mit positiver Elektrizität und auf Alicante eine ähnliche Fläche mit der entgegengesetzten Elektrizität zu laden, diese beiden Punkte durch einen leitenden Draht mit der See zu verbinden, so muß eine vollkommene leitende Verbindung zwischen diesen beiden Punkten hergestellt sein. Verwendet man nun ein entsprechendes Empfangsinstrument, so läßt sich auf diese Weise eine zuverlässige Zeichenübertragung vorraussehen. Über die näheren Details einer solchen Einrichtung blieb er jedoch die Auskunft schuldig.

Im Jahre 1811 stellte der berühmte Erfinder des elektrischen Telegraphen Sömmering über Anraten seines Freundes Baron Schilling Versuche an, durch das Wasser zu telegraphieren, zu welchem Zwecke er sich zweier, mit Wasser gefüllter hölzerner Röhren bediente, in welche die leitenden Drähte einmündeten. Die Zeichen erschienen hierbei ebenso deutlich, als wenn die Sende- und Empfangsstellen durch einen, beziehungsweise zwei Metalldrähte verbunden worden wären. Die Zeichen verschwanden jedoch sofort, nachdem das Wasser der beiden Röhren durch einen Draht

verbunden wurde, indem der Strom über den weniger Widerstand gebenden Weg zur Sendestelle zurückkehrte.

Wäre Sömmering jedoch im Besitze eines empfindlicheren Empfangsapparates gewesen, als seines auf Wasserzersetzung beruhenden Empfängers, so wäre er dennoch, dem Gesetze der Stromteilung entsprechend, in der Lage gewesen, mit dem Reste des einlangenden Stromes die Zeichen aufnehmen zu können.

Die Versuche Sömmerings gerieten in Vergessenheit und es trat in Bezug auf die Entwicklung der drahtlosen Telegraphie ein Stillstand bis zu dem Jahre 1838 ein, in welchem Steinheil bei seinen Versuchen auf der Eisenbahnlinie Nürnberg—Fürth, die Telegraphenleitung durch Verwendung der Schienen zu ersparen, zu der für die Entwicklung der Telegraphie so hochwichtigen Entdeckung der Erdrückleitung gelangte. Durch diese Entdeckung angeregt, kam er, die Ausbreitungsverhältnisse des durch die Erde rücklangenden Stromes studierend, zur Erkenntnis, daß es auch möglich sein müsse, ohne Anwendung eines metallischen Leiters, bloß dadurch, daß der elektrische Strom in die Erde abgeleitet wird, telegraphieren zu können. In seinen diesbezüglichen Ausführungen kam er zu dem Schlusse, daß die von der Sendestation abgeleitete Elektrizität auch dann zu dem Empfänger gelangen müsse, wenn die beiden nicht direkt durch eine Leitung, sondern bloß indirekt durch die Erde mit einander verbunden werden. Er betonte jedoch sofort, daß nicht die ganze Elektrizitätsmenge den Empfänger erreichen könne, indem sich die Elektrizität innerhalb der Erde strahlenförmig verbreitet und daher die Menge der den Empfänger treffenden Elektrizität im umgekehrten Verhältnisse zum Quadrate der Entfernung stehen müsse.

Bei seinen diesbezüglichen Versuchen gelang es ihm, bis auf ungefähr 20 m Entfernung die Zeichen noch anstandslos zu übertragen. Über diese Grenze hinaus gibt er wohl die Möglichkeit zu, noch Zeichen übertragen zu können, doch sind für diese Zwecke entweder bedeutend kräftigere Elektrizitätserreger in Verwendung zu nehmen oder ist die Empfindlichkeit der Empfangsapparate zu erhöhen, beziehungsweise die Auffangsfläche des Empfangsapparates zu vergrößern. Er meinte, daß mit einem Empfangsapparate, welcher zur Elektrizität in derselben Beziehung, wie unser Auge zu dem Lichte steht, die Telegraphie durch die Erde ohne Verwendung eines Leitungsdrahtes, an keine Grenzen

der Entfernungen gebunden wäre, daß aber die Erreichung dieses Zieles sehr unwahrscheinlich erscheint.

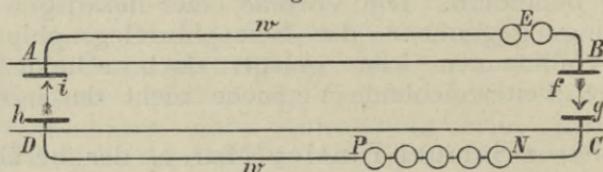
Steinheil schlägt jedoch auch bereits vor, an Stelle der Elektrizität als übertragendes Mittel die strahlende Wärme anzuwenden, welche von der Ausgangsstelle mittels reflektierender Spiegel zur Empfangsstelle geleitet wird. In der Empfangsstelle wird ein Thermoelement aufgestellt, welches durch die einlangenden Wärmestrahlen angeregt, einen elektrischen Strom erzeugt, der wieder durch eine Ablenkung der Magnetnadel des, als eigentlichen Empfangsinstruments benützten Galvanometers, die Zeichen sichtbar erscheinen läßt. Die Zeichengebung erfolgt durch rotierende Schirme, welche entweder die Wärmestrahlen hindurchlassen oder dieselben an ihrer Weiterverpflanzung in der betreffenden Richtung behindern. Die Vorteile einer derartigen Zeichenübertragung gegenüber der Semaphortelegraphie wurden hierbei vollkommen klar gelegt, doch scheint er diesbezügliche weiterreichende Versuche nicht durchgeführt zu haben.

Professor Samuel Finsley Morse, der berühmte Erfinder des allbekannten Schreibtelegraphen, war wohl der erste, der der Frage der drahtlosen Telegraphie praktisch näher trat. In einem an den »Secretary of the Treasury« gerichteten Briefe, welcher dem »House of Representatives« am 23. Dezember 1844 vorgelegt wurde und in Alfred Vails Werk »The American Electro-Magnetic Telegraph« vollinhaltlich abgedruckt erscheint, gibt er detaillierte Auskunft über die diesbezüglichen von gutem Erfolge begleiteten Versuche, aus welchem wir folgendes entnehmen:

»Im Sommer 1842 unternahm ich über Ersuchen des amerikanischen Institutes einen öffentlichen Versuch mit einem Telegraphen, um von Governors Island nach Castle Garden auf die Distanz von zirka 1 Meile zu telegraphieren. Zu diesem Zwecke verlegte ich einen wohlisolierten Draht unter das Wasser. Kaum hatte ich zu telegraphieren begonnen und etwa zwei oder drei Zeichen erhalten, so nahm ein mit schleppendem Anker vorbeifahrendes Schiff den Draht auf und zerstörte denselben. Durch diese Erfahrung angeregt beschloß ich, ein Mittel zu finden, um solche Zerstörungen für die Zukunft hintanzuhalten. Ich begann im Monat Dezember mit den diesbezüglichen Versuchen im Kanale von Washington und stellte dabei fest, daß die Elektrizität gezwungen werden konnte, durch den Fluß, ohne einen anderen Leiter als das

Wasser selbst, hindurch zu gehen. Aber erst im Sommer verfloßenes Jahres fand ich die Muße, durch eine Serie von Versuchen die Gesetze dieser Passage festzustellen. Die folgende Zeichnung diene zur Erklärung des Experimentes. *A, B, C, D* (Fig. 1) sind die Flußufer, *NP* die Batterien, *E* ist der Empfangselektromagnet, *ww* sind längs der Ufer führende Leitungsdrähte, welche mit den in das Wasser versenkten Kupferplatten *h, i, f, g* verbunden sind. Ist die gesamte Anordnung fertiggestellt, so geht die erzeugte Elektrizität von dem Pole *P* über den Draht *w* zur Platte *h*, über den Fluß zur Platte *i* und dann über den Elektromagnet *E* zur Platte *f*, über den Fluß zur Platte *g* und zum Pole *N* der Batterie zurück.«

Fig. 1.



In eingehender Weise beschäftigte sich James Bowman Lindsay aus Dundee, ein Privatgelehrter von hervorragenden Qualitäten, mit der Frage der drahtlosen Telegraphie. Derselbe war auch der erste, welcher im Jahre 1854 ein Patent auf ein derartiges System der Telegraphie erwarb. Lindsay beschäftigte sich außer mit Sprachen, deren er gegen 50 beherrscht haben soll, eingehend mit elektrischen und elektromagnetischen Studien und war auch einer der ersten, dem es gelang, eine elektrische Dauerbeleuchtung von allerdings geringer Intensität, und dies zwar bereits im Jahre 1834, zu schaffen.

Da das System Lindsays späterhin ohnedies vorgeführt wird, sei hier auf ein näheres Eingehen auf selbes Verzicht geleistet.

Ein ähnlicher eingehend begründeter Vorschlag wurde von dem englischen Telegrapheningenieur J. H. Wilkins erstattet, welcher auf Grund eingehender Vorversuche die Möglichkeit einer telegraphischen Übertragung zwischen England und Frankreich behauptete. In einem an das Mining-Journal gerichteten und daselbst am 28. März 1849 veröffentlichten Briefe bringt er folgende Anordnung in Antrag:

1. Man errichte eine 10—20 Meilen (engl.) lange Drahtleitung, deren Enden in die Erde gehen und zwischen welche eine kräftige galvanische Batterie eingeschaltet ist, möglichst nahe und parallel zum Ufer.

2. Man errichte am gegenüberliegenden Ufer eine gleichartige Drahtleitung möglichst nahe zu demselben und möglichst parallel zur ersten Leitung.

3. In diese zweite Leitung schalte man ein Instrument ein, bestehend aus einer Reihe von 10 oder 20 Drahtspulen aus feinstem Drahte, größter Leitungsfähigkeit. Diese Spulen werden entweder vor oder zwischen den Polen eines permanenten oder eines Elektromagneten drehbar aufgehängt.

In jedem Falle, in welchem ein Strom die Drahtspulen durchfließt, wird dies durch deren Drehung angezeigt.

Wie aus der Beschreibung des Empfangsinstrumentes zu ersehen, ist dasselbe in der allgemeinen Anordnung dem Deprez-D'Arsonvalschen Präzisionsgalvanometer ähnlich. Zu einer praktischen Durchführung von Versuchen in ausgedehnterem Maßstabe scheint es jedoch nicht gekommen zu sein.

Dr. O. Shaughnessy, welcher 1849 mit der Einführung des Telegraphendienstes in Indien betraut war, und welchem sich bei der damalig nur wenig entwickelten Kabeltechnik in den breiten Wasserläufen dieses Landes für die Herstellung der Leitungsverbindungen große Schwierigkeiten entgegenstellten, versuchte, um diese Hindernisse zu beseitigen, vorerst den annähernd 1,3 *km* breiten Huldee-Fluß dadurch zu übersetzen, daß er von einem Ufer zum anderen einen blanken Eisendraht in das Wasser versenkte und mit demselben an jedem Ufer eine Batterie, einen Zeichengeber und ein sehr empfindliches Nadelinstrument in Verbindung brachte. Die Zeichenübertragung auf diesem Wege erwies sich hierbei als vollkommen entsprechend, allein die zarten Instrumente erforderten sehr geübte Manipulanten, und dann ergaben sich auch so häufige Störungen, daß er die Versuche bald wieder aufgab, den metallischen Leiter gänzlich beseitigte und sich des Wasserlaufes direkt als Leiter bediente. Auch hier erhielt er ganz gute Zeichen, allein der erforderliche Batterieaufwand (500 Zellen der Bunsentype) war ein so großer, daß er die Versuche wegen der zu großen Auslagen einstellen mußte.

Eingehende Versuche in dieser Richtung wurden von den Brüdern E. und H. Highton innerhalb der Jahre 1852 bis 1872 durchgeführt. Die erste zur Anwendung gelangte

Methode war im Prinzipie mit der Methode von Morse vollkommen identisch. Späterhin versenkten selbe, um ein isoliertes Kabel zu ersparen, zwei blanke Drähte in das Wasser, welche mit den Empfang- und Sendeapparaten direkt verbunden wurden. Sie begnügten sich hierbei zur Erregung der Zeichen mit jenem Strome, welcher durch die beiden Drähte hindurchging. Bei der dritten Anordnung wurde ein unvollkommen isolierter Draht quer in den Fluß gelegt und demselben gegenüber eine sehr große Erdplatte vorgelegt, welche den Strom der Leitung aufzunehmen und den Apparaten zuzuführen hatte.

In ganz ähnlicher Weise versuchte G. E. Dering im Jahre 1853 isolierte Drähte für die Telegraphie über nicht durch Luftleitungen zu überspannende Wasserläufe zu ersparen und dürfte derselbe wohl der einzige unter all den vorgenannten Erfindern sein, dessen Projekt zur Verbindung zwischen Portpatrick und Donaghadee in Irland zur praktischen Ausführung vorbereitet wurde, jedoch wegen unvorhergesehener Unfälle nicht in Betrieb genommen werden konnte.

Im Jahre 1862 nahm John Haworth ein Patent auf die Übertragung elektrischer Signale ohne Inanspruchnahme eines künstlichen Leiters, welches jedoch vollständig fehlschlug, wie denn auch aus der Patentbeschreibung ein Anhaltspunkt für die praktische Durchführbarkeit gänzlich fehlt.

Über die Versuche von J. H. Mower im Jahre 1868 ist wenig bekannt geworden, wiewohl derselbe behauptete, am Ontario-See von einem Punkt in der Nähe von Toronto bis zu einem nahezu 200 *km* entfernten Punkte an der Küste von Oswego County anstandslos Zeichen vermittelt zu haben.

Über die Mittel zur Durchführung dieser seiner Erfindung ließ er ebenfalls nichts verlauten.

Die Belagerung von Paris gab, nachdem der Verkehr nach außen nahezu gänzlich abgeschlossen war, neue Anregung zu Versuchen, Wasserwege als Fortleiter des elektrischen Stromes zu verwenden und schlug M. Bourbouze 1870 vor, einen elektrischen Strom in die Seine zu leiten, einen Teil derselben durch in dieselbe eingesenkte Erdplatten aufzufangen und empfindlichen Empfangsapparaten zuzuführen. Die diesbezüglichen Versuche im Weichbilde der Stadt Paris fielen günstig aus und verließ daher M. d'Almeida zum Zwecke der Herstellung einer derartigen Verbindung am 17. Dezember 1870 mit einem Luftballon Paris und landete nach manchen Fährlichkeiten in Champagne außerhalb des

Belagerungsgürtels, von wo er sich nach Havre begab, sich die erforderlichen Apparate verschaffte und sodann die Ufer der Seine am 14. Januar 1871 erreichte, jedoch an der Durchführung der Versuche dadurch gehindert wurde, daß die Seine vollkommen zugefroren war. Als am 24. Januar 1871 die Versuche wieder aufgenommen werden sollten, war die Stadt schon eingenommen, so daß der Zweck der Versuche nicht mehr erreicht werden konnte und dieselben demnach aufgegeben wurden.

Im Jahre 1872 trat Mahlon Loomis, ein amerikanischer Zahnarzt, mit dem Vorschlage hervor, die Elektrizität der höheren Luftschichten zur telegraphischen Korrespondenz ohne Anwendung eines Leitungsdrahtes und ohne Verwendung einer künstlichen Elektrizitätsquelle zu verwerten. Die Grundidee, von welcher er hierbei ausging, war folgende: Die Atmosphäre ist jederzeit mit Elektrizität geladen, und nimmt die Intensität der Ladung mit der Höhenentfernung stetig zu, so daß die Ladung in den höheren Luftschichten eine bedeutend größere sein wird. Je höher man daher in die Luft hinaufgeht, desto kräftigere Ladungen wird man antreffen, umso mehr, als Staub, Wolken und warme Luftströmungen, welche die Stärke der Ladung im ungünstigen Sinne beeinflussen, hierbei nicht mehr in Betracht kommen können. Verbindet man nun einen solchen Punkt durch eine Leitung mit der Erde, so findet ein Abfließen der Elektrizität in dieselbe statt, welches durch Zwischenschaltung eines Unterbrechers oder Zeichengebers nach Belieben zu regulieren ist. Durch dieses Ableiten der Elektrizität wird jedoch das Gleichgewicht derselben im Luftraume gestört und wird sich dies in einer anderen in ähnlicher Weise, jedoch mit Empfangsapparaten ausgerüsteten Station bemerkbar machen.

Praktische Versuche wurden diesbezüglich zwischen zwei gleich hohen Gipfeln der Gebirge von Westvirginia, die zirka 16 *km* von einander entfernt waren, durchgeführt. Von diesen Gipfeln ließ er zwei Drachen aufsteigen, deren Schnur mit feinen Kupferdrähten durchwebt war. Am Ende jeder dieser Schnüre wurde nun ein Unterbrecher und in geeigneter Weise ein Empfänger eingeschaltet und soll sich auf diese Weise eine ganz anstandslose Zeichenvermittlung ergeben haben, welche nur bei plötzlichem Witterungssturz für einige Zeit versagte. Über eine Erweiterung dieser Versuche ist nichts weiter bekannt geworden.

Alle die hier erwähnten Erfinder haben sich, wie aus den kurzen Erläuterungen hervorgeht, mehr oder minder nur mit der Leitungsmethode zur telegraphischen Zeichenübertragung ohne Draht bedient. Der letzte, der noch auf diesem Gebiete arbeitete, war Abbé L. Miché, dessen Methode im Jahre 1894 zur Beschreibung gelangte, und auf welche noch zurückgekommen werden soll.

Wenn man von Miché absieht, beginnt ein regeres Streben zur Erreichung einer drahtlosen Telegraphie erst zu Beginn der Achtzigerjahre des vorigen Jahrhunderts, da von nun ab die mehr Erfolg als die Leitungsmethoden entsprechenden Induktionsmethoden energischer ausgearbeitet zu werden beginnen.

Da die Mehrzahl dieser Methoden ohnedies etwas ausführlicher zur Besprechung gelangen wird, seien hier nur die Namen der sich mit dieser Frage beschäftigenden Erfinder chronologisch der Reihenfolge der erworbenen Patente nach kurz erwähnt, und zwar: Professor John Trowbridge 1880, Smith 1881 und 1887, Professor Graham Bell 1882, Professor A. E. Dolbear 1883 und 1886, Phelps 1884 und 1886, Edison 1885 und 1892, Woods 1887, Ader 1888, Somzee 1888, W. F. Melhuish 1890, Stevenson 1892, Sennet 1892, Evershed 1892 und 1896, Preece 1893, Rathenau 1893, Blake 1894 und Kitsee 1895. Von diesen Methoden hatten sich einige einer längeren praktischen Anwendung zu erfreuen und befindet sich die Methode Preece trotz der Erfindung Marconis noch heutzutage im Betriebe.

Den nachhaltigsten Anstoß zur Förderung der drahtlosen Telegraphie gaben jedoch die von dem berühmten englischen Telegraphentechniker Preece und von Rathenau durchgeführten Versuche, so daß von da ab die Neuerungen und Anregungen in rascher Weise einander folgten. Alle die vorerwähnten Patente beziehen sich immer noch auf reine Leitungs- oder Induktionswirkungen, mit welchen die Entfernungen, bis auf welche hin sich Nachrichten vermitteln ließen, nur begrenzte sein konnten. Allerdings waren, wie die obigen Jahreszahlen erweisen, die berühmten Untersuchungen von Hertz, welcher in den Jahren 1888 und 1889 die Wellenbewegungen der Elektrizität im freien Raume und so deren Fortpflanzungsfähigkeit in demselben experimentell nachgewiesen hat, schon Gemeingut aller Gebildeten geworden und hierdurch ein neuer Anhaltspunkt für die Entwicklung

der drahtlosen Telegraphie gegeben, allein es bedurfte noch einer Reihe von Untersuchungen und Entdeckungen, ehe hier praktisch ans Werk geschritten werden konnte. So mußte erst ein Empfänger geschaffen werden von so hoher Empfindlichkeit, daß er bei Kollision mit den bereits sehr geschwächten elektrischen Wellen noch mit Zuverlässigkeit ansprach. Branly entdeckte im Jahre 1890 bei der Untersuchung von Metallpulvern auf deren elektrischen Leitungswiderstand, daß derselbe, welcher unter normalen Umständen praktisch als unendlich zu betrachten war, sobald das Pulver von elektrischen Wellen getroffen wurde, sich sofort auf eine meßbare Größe herabminderte. Auf Grund dieser Erscheinungen wurde von Lodge der Kohärer (Hafter) oder zu deutsch der Fritter beziehungsweise die Frittröhre geschaffen. Durch glückliche Vereinigung der verschiedenen Apparate gelang es endlich Marconi, einem jungen, italienischen Studenten, nach langen mühevollen Experimenten im Jahre 1897 eine Anordnung zu treffen, welche der Telegraphie im Raume unter Verwertung der Hertz'schen Wellen eine große Zukunft eröffnete und welche dormalen, wie die praktischen Versuche erweisen, die Überbrückung einer Entfernung von mehr als  $150\text{ km}$  ermöglichen. Als eigentlicher Erfinder der sogenannten Wellentelegraphie ist jedoch Professor Hughes, der Erfinder des nach ihm benannten Typendrucktelegraphen und des Mikrophons, zu betrachten, welcher bereits im Jahre 1877 auf Grund zufälliger Beobachtungen eingehende Versuche durchgeführt hat, die die Telegraphie durch den Raum auf mehr als  $500\text{ m}$  ermöglichten. Bei diesen Untersuchungen ergab sich auch schon die bemerkenswerte Erscheinung, daß an bestimmten Punkten, er bediente sich zur Aufnahme der Zeichen des Telephons, nichts gehört werden konnte, während an weiter entfernten Punkten die Zeichen deutlich auftraten, was wahrscheinlich durch Knotenpunkte, wie solche bei Interferenz der elektrischen Wellen entstehen, bedingt erscheint. Da die Hertz'schen Untersuchungen zur Zeit dieser Versuche noch nicht bekannt waren, machte er hervorragenden englischen Gelehrten im vertraulichen Wege Mitteilungen über die gewonnenen Beobachtungsergebnisse. Dieselben hielten jedoch die Sache nicht für neu und meinten, daß sich selbe durch die Induktion erklären lassen. Auf Grund dieser Beurteilung unterließ er es, weitere Versuche in dieser Richtung anzustellen und wandte sich magnetischen Untersuchungen zu. In für jeden,

der diesen seltenen Mann kennen gelernt hat, begreiflicher Bescheidenheit vermochte er sich nicht zur Veröffentlichung seiner bemerkenswerten Beobachtungsergebnisse zu entschließen. Dieses Stillschweigen hat, da er alle Grundlagen für die Wellentelegraphie, wie aus den später veröffentlichten Mitteilungen hervorgeht, bereits geschaffen hatte, dieselbe um mindestens zehn Jahre zurückgedrängt.

Die frittende Eigenschaft von Kohlenpulver wurde bereits im Jahre 1866 von S. A. Varley erkannt, es fiel aber dessen Arbeit ebenso wie die Arbeit des Professors Temistocle Calzecchi-Onesti über »die Leitungsfähigkeit metallischer Feilspäne«, über welche im Nuovo Cimento, Bd. XVI und XVII, 1884 und 1885, Mitteilung gemacht, von welcher jedoch die Wissenschaft bedauerlicherweise keine Notiz nahm, in Vergessenheit. Die von demselben beobachteten Phänomene gleichen im Geiste und Prinzip der Sache völlig denen von Marconi und Lodge beziehungsweise Branly.

Ebenso wurde noch, bevor die Marconische Anordnung bekannt wurde, von A. Popoff, Professor an der Offiziers-Minenklasse in Kronstadt, und zwar im Jahre 1895, eine Einrichtung geschaffen, welche dazu diente, die elektrischen Störungen in der Atmosphäre nachzuweisen. Dieselbe stimmt in der Anordnung und im Stromlauf genau mit den Marconischen Apparaten überein. Diese Einrichtung ist in dem Journale der Russischen physikalisch-chemischen Gesellschaft im Januar 1896 unter der Überschrift »Apparat zur Feststellung und Registrierung der elektrischen Schwingungen« beschrieben. Hierdurch erscheinen jedoch die Verdienste Branlys, Lodges und Marconis um die Entwicklung der Wellentelegraphie, wie dies Professor Hughes in seinem bemerkenswerten Briefe vom 29. April 1899 an Herrn J. J. Fahie in London in anerkennenswerter Weise hervorhob, in keiner Weise beeinträchtigt.

Auch Professor Slaby in Berlin, welcher sich lange vor Marconi mit der Frage der Wellentelegraphie oder der Funkentelegraphie, wie er selbe benannte, eingehend beschäftigte, aber hierbei zu keinem nennenswerten Ergebnisse gelangte, erkannte die Verdienste Marconis in neidloser Weise an.

Außer den Verbesserungen, welche von Marconi und Lodge an den Apparaten für die Wellentelegraphie zur Durchführung gelangten, muß der verdienstvollen Arbeiten von Blondel, Tissot, Tomasina, Guarini, Voisenat,

Ducretet, Cohen und Cole, Barber Starkey, Anders Bull, Orling und Braunerhjelm, Bela Schäfer insbesondere aber von Slaby und Arco sowie von Professor Ferdinand Braun gedacht werden.

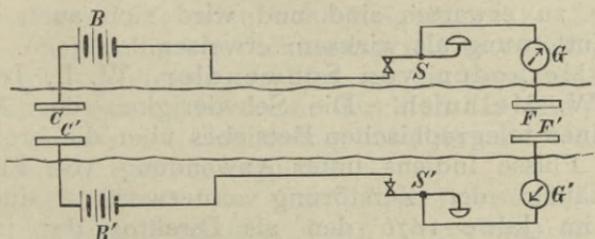
Von anderen Methoden zur drahtlosen Telegraphie sind die Radionophie von Professor Graham Bell, die lichtelektrische Telegraphie von Zickler sowie die Photographophonie von Ruhmer hervorzuheben. Auch der Bestrebungen Teslas, eine Zeichen- und Energieübertragung mittels der nach ihm benannten Ströme, sehr hoher Frequenz und Spannung zu bewerkstelligen, darf hier nicht vergessen werden.

## D. Die verschiedenen Leitungs- und Induktionsmethoden zur Durchführung der drahtlosen Telegraphie.

### 1. Leitungsmethoden.

Die Methode von James Bowman Lindsay. Das älteste bekannte Patent, nach welchem die Erde als Leiter zur Übertragung ausgenützt werden soll, wurde im Jahre 1854 an Lindsay erteilt. In demselben sind schon alle wesentlichen Punkte zur Durchführung der telegraphischen Übertragung enthalten. Die Anwendung dieser Einrichtung wurde ursprünglich nur für die Übertragung von Mitteilungen

Fig. 2.



von einem Ufer eines Wasserlaufes zum anderen Ufer desselben in Aussicht genommen, um die Anwendung der kostspieligen Flußkabel zu vermeiden. Wie sich aus dem in Fig. 2 dargestellten Schaltungsschema ersehen läßt, ist die hierbei zur Anwendung gelangte Anordnung nahezu identisch mit der bereits von Morse (siehe Fig. 1) angegebenen. Die Batterie  $B$ , auf der einen Seite des Flußufers, steht durch eine Leitung

mit dem Taster  $S$ , mit dem als Empfangsinstrument dienenden Galvanometer  $G$  und zwei in den Fluß nahe am Uferende versenkten Erdplatten  $C$  und  $F$  in leitender Verbindung. Die ganz gleiche Anordnung ist am entgegengesetzten Ufer getroffen und ist die Batterie  $B'$  so geschaltet, daß sie mit der Batterie  $B$  in Serie arbeitet. Die Länge der an den Ufern einander gegenüber parallel verlaufenden Leitungen ist nun so bemessen, daß der Leitungswiderstand zwischen den beiden einander gegenüberliegenden Erdplatten mehr dem Widerstand der gegenüberliegenden Leitung samt Batterie und Apparaten kleiner ist, als der Widerstand zwischen den beiden an der einen Uferseite liegenden Erdplatten, so daß, den Gesetzen der Stromverzweigung entsprechend, der größere Teil des Stromes durch die gegenüberliegende Leitung gehen muß. Es wird sohin bei jedem Druck auf einen der beiden Taster  $S, S'$  durch Unterbrechung des einseitigen Stromkreises in der gegenüberliegenden Leitung eine Stromschwächung eintreten, die sich durch verminderten Ausschlag der Galvanometernadel kundgibt. Die Länge der beiden Leitungen längs des Wasserlaufes wird, um das angestrebte Ziel zu erreichen, jedenfalls viel größer sein, als die Breite desselben beträgt. Es wird daher an den Leitungen selbst nichts gespart und gewährt diese Anordnung sohin nur den Vorteil, daß die namentlich bei starken Strömungen und felsigem Grunde des Wasserlaufes kostspieligen und sehr leicht der Zerstörung ausgesetzten Kabel vermieden werden können. Diese Methode dürfte eben nur dort anwendbar sein, wo keine anderweitigen Erdströme zu erwarten sind und wird sich auch nur auf geringe Entfernung als wirksam erweisen.

Die Methoden von Schwendler, W. P. Johnston und F. W. Melhuish. Die Schwierigkeit der Aufrechterhaltung eines telegraphischen Betriebes über die breiten und reißenden Flüsse Indiens unter Anwendung von Flußkabel, welche häufig der Zerstörung unterworfen sind, veranlaßten im Jahre 1876 den als Direktor der indischen Telegraphenverwaltung fungierenden hervorragenden Telegraphentechniker L. Schwendler, die von Dr. O. Shaughnessy bereits aufgegebenen Versuche zur Übertragung der Zeichen über diese Flüsse ohne Anwendung eines Leiters wieder aufzunehmen.

Er bediente sich hierbei der in Fig. 3 dargestellten Anordnung.  $E$  ist eine Batterie von zehn Bunsenelementen in Serie geschaltet.  $T$  bedeutet den Zeichengeber,  $R$  den

Empfänger, welcher aus einem Nadelinstrument von 1 Ohm Widerstand und aus einem Telephon von 4.25 Ohm Widerstand bestand. Der Widerstand  $w$  und die aus vier Minottoelementen bestehende Batterie  $e$  auf der Empfangsseite glichen den Erdstrom vollständig aus, so daß im Zustand der Ruhe das Nadelinstrument auf Null einspielte.

$A$ ,  $B$ ,  $C$  und  $D$  waren vier Kupferplatten von 2.5 m Länge, 1.25 m Breite und 1 cm Dicke und wurden knapp am Ufer des Kanals möglichst parallel zu demselben in diesen versenkt. Der Abstand zwischen  $A$  und  $B$  beziehungsweise  $C$  und  $D$  wurde mit 15 m festgelegt, wobei der Widerstand zwischen  $A$  und  $B$  wie für  $C$  und  $D$  7.5 Ohms betrug. Der Kanal war annähernd 200 m breit. Unter diesen Bedingungen konnten, wenn mittels des Tasters  $D$  Zeichen gegeben wurden, dieselben sowohl mittels des Nadelinstruments, als mittels des Telephons deutlich abgelesen werden.

Bei den nach dem Ableben Schwendlers durch Johnston bis in das Jahr 1888 fortgesetzten Versuchen, bei welchen er zur Anwendung von unisoliert in das Wasser versenkten Hin- und Rückleitungsdrähten gelangte, die in relativ bedeutenden Abständen von einander den Fluß durchquerten, kam derselbe zu folgenden Schlußfolgerungen:

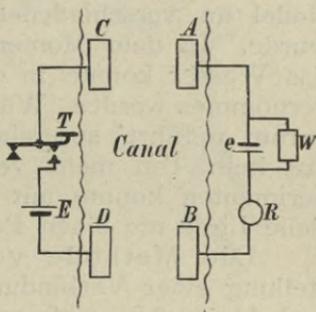
Die telegraphische Verbindung mit in das Wasser versenkten, nicht isolierten Drähten ist bis zu einer Breite des Wasserlaufes von 2.5 km leicht durchführbar und verläßlich, wird aber über diese Entfernung unsicher und bei Wachsen der Entfernung ganz unmöglich.

W. F. Melhuish, der Nachfolger Johnstons, erweiterte diese Versuche und gelangte unter Anwendung eines vibrierenden Klopfers von Cardew und eines eigens konstruierten Senders zu noch viel besseren Ergebnissen.

Da man hier jedoch nicht mit einer drahtlosen Telegraphie im wahren Sinne des Wortes zu rechnen hat, wird auf die detaillierte Vorführung dieses Systems verzichtet.

Die Versuche von Professor Graham Bell. Auf Grund der Vorversuche von Professor Trowbridge, von welchen später Erwähnung geschieht, unternahm Graham Bell im Jahre 1882

Fig. 3.



auf dem Potomac-Flusse gleichfalls Versuche zur Durchführung einer drahtlosen Telegraphie und ergaben dieselben die Möglichkeit, nach der einfachen Leitungsmethode bis auf nahezu  $1,5 \text{ km}$  weit in deutlicher Weise Signale zu empfangen. Hier sei auch eines von demselben Autor durchgeführten Experimentes gedacht, mit welchem er den Nachweis des Vorhandenseins von äquipotentiellen Linien in den Wellen elektrischer Energie lieferte.

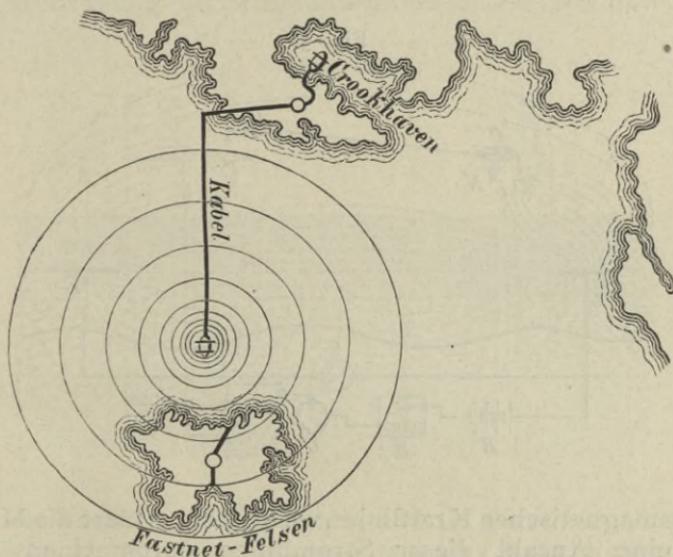
In ein mit Wasser gefülltes Gefäß wurde ein Blatt Papier eingelegt. An zwei Punkten dieses Blattes befestigte er zwei Nähnadeln, welche mit einem Unterbrecher, welcher den Strom zirka 100mal in der Sekunde unterbrach, in leitender Verbindung standen. Zwei andere Nadeln standen mit einem Telephon in Verbindung. Die eine der Nadeln wurde gleichfalls an dem Papiere befestigt, während die andere Nadel an verschiedenen Punkten in das Wasser getaucht wurde. In dem Momente des Eintauchens dieser Nadel in das Wasser konnte in dem Telephon ein musikalischer Ton vernommen werden. Wurde jedoch die Nadel im Wasser rund herum geführt, so gelangte man an Punkte, von welchen aus kein Ton mehr vernommen wurde. Bei weiteren Experimenten konnte mit großer Leichtigkeit eine äquipotentielle Linie um einen Pol in dem Wasser festgestellt werden.

Die Methode von Wiloughby Smith. Zur Herstellung einer Verbindung zwischen dem Fastnet-Leuchtturm und der  $12,8 \text{ km}$  entfernten Stadt Crookhaven in Irland wurde von Smith ein Kabel von dem Ufer so nahe als möglich zu der Leuchtturminsel geführt und auf der Insel selbst eine Leitung gelegt und mit ihren Enden in die See geleitet. Diese Anordnung wurde dadurch notwendig, weil sich eine direkte Kabelverbindung wegen der großen Brandung, welche stets um diese Insel herrscht, nicht herstellen und die Preece'sche Methode wegen der geringen Ausdehnung der Insel und der großen Entfernung vom Festlande nicht anwenden ließ. Um von der Stärke der Brandung einen Begriff zu geben, sei nur erwähnt, daß die Erdleitungen auf der Insel nicht direkt in das Wasser versenkt werden konnten, weil die Verbindung immer abgerissen wurde. Zum Legen derselben wurde ein Loch in den Kreidelfelsen gebohrt und von diesem ein seitlicher Stollen zur See geführt, damit die in dieses Loch eingesenkte Erdleitung direkt mit dem Seewasser in Verbindung gebracht wird.

Die schematische Art und Weise der Verbindung ist aus Fig. 4 zu entnehmen. Mit einem D'Arsonvalschen

reflektierenden Galvanometer als Empfangsinstrument konnten unter Aufwand einer Batterie von nur zehn Stück großplattiger Leclanché-Elementen die Nachrichten anstandslos übermittelt werden. Der Anruf erfolgte durch einen gänzlich neuen, den Verhältnissen angepaßten Rufapparat, der im wesentlichen aus zwei in einem magnetischen Felde drehbaren Spulen bestand, die je eine, an einem Ende eines um seinen Mittelpunkt drehbaren ausbalancierten Armes befestigt waren. Dieser Arm stand in der Ruhelage in der Mitte zwischen zwei Kontakt-

Fig. 4.



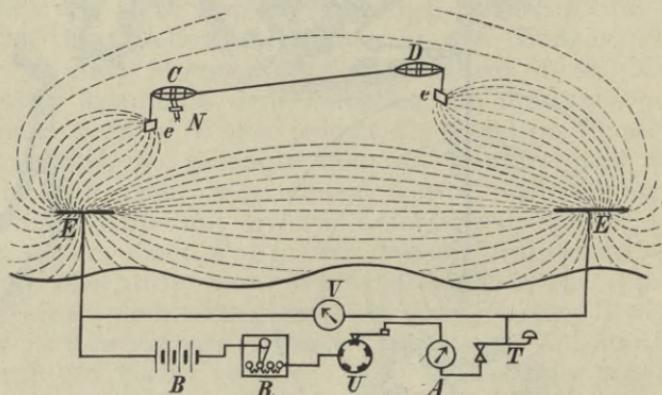
ständern. Sobald nun ein Strom durch diese beiden Spulen hindurchging, mußte sich dieser Arm je nach der Stromrichtung entweder nach rechts oder links drehen und schloß, sobald er an einen der Kontakte anstieß, eine Lokalbatterie, welche einen kräftigen Wecker zum Ertönen brachte.

Die Methode von Erich Rathenau. Unter den einfachen Leitungsmethoden ist die von Rathenau im Jahre 1894 versuchsweise auf dem Wannsee durchgeführte Anordnung zur Verständigung zwischen Ufern und Booten insofern von besonderem Interesse, als dieselbe durch die Versuche von Preece, welche auf Induktionswirkungen basiert waren und deren in der Folge eingehender Erwähnung geschehen soll,

angeregt wurden. Das Studium dieser Versuche führte ihn zu der Annahme, daß bei denselben nebst Induktionserscheinungen in weit höherem Maße Leitungsercheinungen zum Ausdruck kommen. Um sich diesbezüglich zu vergewissern und Induktionserscheinungen tunlichst auszuschließen, wurde zum Betriebe dieser Anordnung Gleichstrom verwendet, welcher einer naheliegenden Elektrizitätszentrale entnommen wurde.

Die Tatsache, daß beim Einleiten eines Stromes in eine ausgedehnte Flüssigkeitsmenge der Ausgleich der Spannungen nicht nur in einer geraden Verbindungslinie der beiden Elektroden stattfindet, sondern daß sich die Stromlinien ähnlich

Fig. 5.

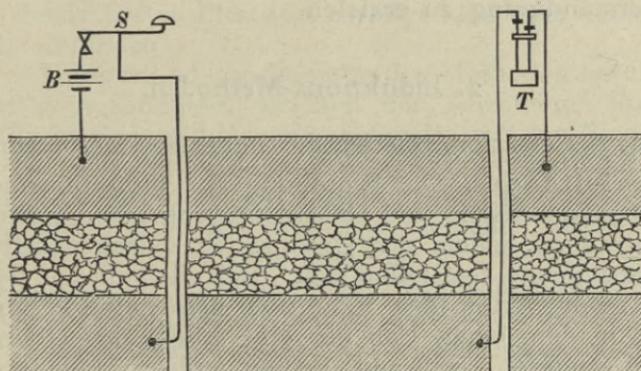


wie die magnetischen Kraftlinien verbreiten, erklärt die Möglichkeit, eine Anzahl dieser Stromlinien durch einen in die Flüssigkeit gelegten Leiter aufsaugen zu lassen und dieselben zur Erregung empfindlicher Empfangsinstrumente zu benutzen. Die Anzahl der Stromlinien, welche auf diese Weise vereinigt werden können, wird durch die Potentialdifferenz der nunmehr metallisch verbundenen Punkte bestimmt. Der Verlauf dieser Stromlinien erscheint in der, die Gesamtanordnung schematisch darstellenden Fig. 5 gleichfalls skizziert. Nach dieser Darstellung ergibt sich von selbst, daß die Wirkungssphäre des Stroms von zwei Faktoren und zwar der Stromstärke und der Entfernung der beiden Stromeinleitungen  $E$  in den Wassermassen abhängen wird und daß, je größer die beiden sein werden, desto größer auch die Entfernungen werden müssen, auf welche sich noch eine Verständigung erzielen läßt.

In Fig. 5 bedeuten  $B$  die Elektrizitätsquelle,  $R$  einen Widerstandsregulator,  $U$  einen von einem Motor angetriebenen Stromunterbrecher,  $A$  ein Ampèremeter,  $T$  einen Telegraphentaster und  $EE$  die in das Wasser versenkten Erdplatten des primären Stromkreises, in welchen im Nebenschluß noch das Voltmeter  $V$  eingeschaltet ist.  $C$  und  $D$  sind zwei durch ein Kabel mit einander verbundene Boote, von welchen gleichfalls zwei Erdplatten  $ee$  in das Wasser versenkt werden. Auf dem einen Boote befindet sich das Telephon  $N$ , welches in den sekundären Kreis geschaltet als Empfänger dient.

Um eine konstante Lautwirkung im Telephon zu erzielen, ist die Anordnung des Stromunterbrechers im primären Strom-

Fig. 6.



kreise erforderlich. Die Zeichen, welche durch den Taster  $T$  nach dem Morsesystem gegeben werden, kennzeichnen sich, weil durch Tasterdruck eine Unterbrechung des Stromkreises bewirkt wird, als Pausen des Geräusches im Telephon.

Mit dieser Anordnung konnte bis auf  $4\frac{1}{2}$  km weit gesprochen werden, doch ist Rathenau der Ansicht, daß sich diese Entfernung durch Anwendung stärkerer Stromquellen und besserer Sende- und Empfangsapparate vervielfachen läßt.

Die Methode von Abbé L. Miché. Während sich alle die bisher vorggeführten Methoden zur Durchführung einer drahtlosen Telegraphie auf die Übersetzung von Wasserläufen beschränkten, sucht Miché dieselbe auch für Überlandlinien zu ermöglichen, wobei er von der Ansicht ausgeht, daß die verschiedenen Erdschichten eine sehr verschiedene Leitungsfähigkeit haben und namentlich häufig zwischen zwei gut-

leitenden Schichten eine schlechtleitende zwischengelagert ist. Zu diesem Zwecke bohrt er eine Art Brunnen und senkt von dem Sende- beziehungsweise Empfangsapparate (Fig. 6) die am Ende blank gemachten Drähte, welche außerdem noch mit einer Erdplatte verbunden sind, derart in die Erde ein, daß das eine Ende in die obere, das zweite in die untere gutleitende Erdschicht zu liegen kommt, wobei diese Schichten durch eine schlechtleitende Schicht getrennt sind. Als Stromquelle benützte Miché! eine Akkumulatorenbatterie *B* von sechs Zellen in Serie geschaltet, als Zeichengeber einen gewöhnlichen Morsetaster *S* und als Empfänger ein empfindliches Telephon *T*. Mit dieser Einrichtung, deren Wirken an der Hand der Zeichnung ohne weitere Beschreibung leicht verständlich ist, gelang es bis auf  $3\frac{1}{2}$  km Entfernung eine durchaus gute Verständigung zu erzielen.

## 2. Induktions-Methoden.

### a) Die elektromagnetischen Induktions-Methoden.

Einleitendes. Die Einteilung der Induktionsmethoden in elektromagnetische und elektrostatische ist eigentlich nicht ganz zutreffend, indem der Unterschied zwischen selben sich nicht ganz genau feststellen läßt. Bei allen diesen Systemen spielen beide Arten der Induktion eine gewisse Rolle, nur gewinnt in dem einen Fall der eine Effekt das Übergewicht über den anderen, während in dem anderen Fall das umgekehrte Verhältnis eintritt. Die enge Verwandtschaft zwischen statischer und elektromagnetischer Induktion wird durch die modernen Theorien über die induktiven Wirkungen erklärbar. Nach Maxwells Theorie verursacht jede elektromotorische Kraft, welche auf ein Dielektrikum einwirkt, in demselben eine elektrische Verschiebung. Jeder Wechsel in dieser Verschiebung erzeugt nun in diesem Dielektrikum einen elektrischen Strom, welcher deshalb von ihm auch Verschiebungsstrom bezeichnet wurde. Diese Verschiebungsströme in den Dielektrika sind immer von einer magnetischen Kraft begleitet. Es wird somit ein Feld von magnetischen Induktionslinien erzeugt, welche das stromdurchflossene Dielektrikum ebenso umgeben, wie ein stromführender Draht von magnetischen Kraftlinien umgeben ist.

Nach der Anschauung von J. J. Thomson werden in ähnlicher Weise beide Arten der Induktion durch elektro-

statische Kraftröhren oder, wie er selbe bezeichnet, »Faradaysche Kraftröhren« hervorgerufen. Diese Röhren sind entweder offen oder in sich geschlossen. Die offenen Röhren, welche von einer positiven Ladung ausgehen, endigen immer in einer gleich starken negativen Ladung. Treffen nun diese Kraftröhren einen isolierten metallischen Körper, so rufen sie in selbem eine Ladung, beziehungsweise, wenn sie einen geschlossenen Leiter durchschneiden, einen Induktionsstrom hervor. Das jeden elektrischen Strom, beziehungsweise jeden elektrisch geladenen Körper begleitende elektromagnetische Kraftfeld bedingt nun die Bewegung der Faradayschen Röhren oder den Wechsel ihrer Lage oder Form. Jede Änderung dieses elektromagnetischen Kraftfeldes wird sohin einen Induktionsstrom erzeugen, beziehungsweise den Ladungszustand der isolierten Platte im absteigenden oder ansteigenden Sinne beeinflussen.

Der Unterschied zwischen beiden Methoden beruht sohin nur auf dem Einflusse, welchen der betreffende Stromkreis auf die Induktionsspule, beziehungsweise auf den Kondensator ausübt. Bei der elektromagnetischen Induktion bildet die Einwirkung des durch den primären Stromkreis hervorgerufenen magnetischen Feldes das wichtige Element, während in den elektrostatischen Methoden dem durch den primären Strom vom Kondensator erzeugten elektrostatischen Kraftfelde die wirkende Rolle zufällt. In beiden Fällen müssen sich jedoch, um Wirkungen erzielen zu können, Änderungen in den Kraftfeldern vollziehen.

Die Bezeichnung elektrostatische Induktion ist in diesem Falle daher eine irrtümliche, weil ja die Wirkungen doch nur durch bewegte Elektrizität hervorgerufen werden.

Das Erscheinen und Verschwinden der Induktionsröhren, welche die Ladung und Entladung eines Kondensators begleiten, sind es, welche hier die Entstehung des Induktionsstromes bedingen und ist sonach die Wirkung in diesem Falle ebenfalls keine elektrostatische, sondern eine elektrokinetische.

In gleicher Weise läßt sich bei einer großen Anzahl der Induktionsmethoden eine genaue Abgrenzung, ob die Übertragung auf dem reinen Wege der Induktion stattfindet und ob hierbei nicht auch Leitungserscheinungen die Wirkung unterstützen, schwer durchführen. Dies trifft überall dort zu, wo die induzierenden und induzierten Leiter geerdet werden, indem hierbei, wie dies Rathenau in überzeugender Weise

nachgewiesen hatte, die in die Erdplatte abgeleitete Elektrizität (siehe Fig. 5) sich von denselben strahlenförmig ausbreitet und es hierbei mehr als wahrscheinlich ist, daß einige dieser Elektrizitätsstrahlen die Erdplatten des Empfangsstromkreises treffen, durch den Leiter hindurchgehen und den induzierten Strom in seinen Wirkungen unterstützen.

Nichtsdestoweniger soll hier bei Vorführung der verschiedenen Systeme der Unterschied zwischen elektromagnetischer und elektrostatischer Induktion festgehalten und die Leitungswirkung als solche nur als mehr oder minder nebensächliche betrachtet werden.

Die Versuche von Professor John Trowbridge. Mit der Erfindung des Telephons eröffnete sich für die Entwicklung der drahtlosen Telegraphie eine neue Ära, indem mit diesem für die kleinsten Stromimpulse empfindlichen, dabei aber robusten Empfänger ein Empfangsinstrument von großer Vollkommenheit gegeben war. Der erste, der die Verwendung des Telephons für diese Zwecke in Vorschlag brachte, war J. Gott, der Leiter der Anglo-American Telegraph Co. auf der Insel St. Pierre. Auf dieser Insel waren mehrere Telegraphenstationen mit Seekabeln in Verbindung gesetzt, deren kürzestes nach dem Morsesysteme mit einer kräftigen Batterie betrieben wurde, während für die anderen Seekabeln die empfindlichen Thomsonschen Apparate, nämlich das abgedämpfte Spiegel-Galvanometer und der Syphonrekorder, als Empfangsinstrumente dienten.

Anfänglich wurden diese letzteren Apparate, da die Insel als ein an und für sich guter Isolator betrachtet werden mußte, somit eine gute Erdleitung nicht zu erzielen war, durch Erdströme in empfindlichster Weise beeinflusst, wiewohl die einzelnen Stationen räumlich getrennt waren. Zur Abhilfe wurde nun eine 5 km lange isolierte Leitung an das Ufer geführt und dort mit einer in die See versenkten Erdplatte verbunden. Dieses zeigte eine große Wirkung, aber hierbei wurde auch gefunden, daß die als Erdströme angenommenen schädlichen Ströme der Manipulation mit dem Morseapparate ihre Entstehung verdanken. Setzte man nämlich den Rekorder mit der früheren Erde und gleichzeitig mit dem anderen Leitungsende mit der See-Erdleitung in Verbindung, so konnten die von der über 200 m entfernten Morsestation gegebenen Zeichen ohne weiteres mit dem Rekorder in der deutlichsten Weise aufgenommen werden. Diese Erscheinung, die sich durch abwechselnde Ladung und Ent-

ladung des Erdreiches, wie solche bei dem Morsebetriebe stattfand, leicht erklären läßt, ließ J. Gott die Idee zum Ausdrucke bringen, daß eine telegraphische Verständigung durch die Erde ohne Leitungen auf ziemliche Entfernungen möglich ist, wenn ein Telephonempfänger angewendet wird und die Zeichengebung nach dem Morsesysteme erfolgt.

Professor John Trowbridge von der Harvard-Universität in Amerika war der erste, der dieses Problem systematisch studierte und das Projekt einer drahtlosen Telegraphie über den Atlantischen Ozean wieder erweckte und namentlich die Möglichkeit des Verkehres von Schiff zu Schiff in den Kreis seiner Betrachtungen einbezog. Seine diesbezüglichen Untersuchungen, welche im Jahre 1880 zur Durchführung gelangten, wurden durch eine ähnliche Erscheinung, wie die vorhergehende angeregt.

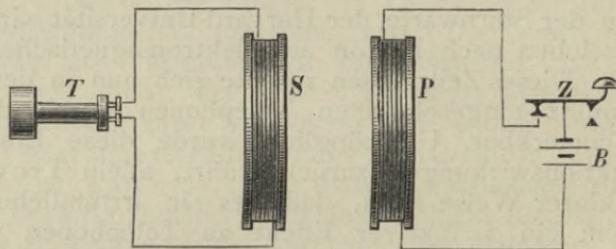
Von der Sternwarte der Harvard-Universität wird täglich das Zeitzeichen nach Boston auf elektromagnetischem Wege vermittelt. Dieses Zeitzeichen machte sich nun in den, in das Telephonnetz eingeschalteten Telephonen durch deutliches Ticken bemerkbar. Ursprünglich wurde diese Erscheinung auf Induktionswirkungen zurückgeführt, allein Trowbridge wies in klarer Weise nach, daß dies ein irrtümlicher Schluß sei, indem ein induktiver Effekt an Telephonen von dem gebräuchlichen Widerstande selbst dann nicht bemerkbar wird, wenn zehn Bunsen-Zellen in die eine Leitung geschaltet werden und die Telephonleitung in einer Entfernung von  $0,3 m$  auf eine Länge von  $10 m$  parallel mit der ersten Leitung verläuft.

Aus allen seinen in der sorgfältigsten Weise durchgeführten Experimenten zieht Trowbridge den späterhin von Preece adoptierten Schluß, daß die Erdleitung einer in die Erde sich entladenden Batterie das Zentrum von Wellen elektrischer Energie sei, welches sich immer mehr und mehr erweitere. Da nun in dem Telephon ein äußerst empfindliches Empfangsinstrument gefunden ist, läßt sich durch diese Wellen auf ziemlich weite Entfernungen eine Nachrichtenvermittlung durchführen.

Die Möglichkeit, über den Atlantischen Ozean ohne Draht zu telegraphieren, ist hierdurch theoretisch nachgewiesen. Die Ausführbarkeit ist jedoch eine andere Frage und würde nach unseren heutigen Kenntnissen einen enormen Aufwand an Energie in den hierzu benötigten dynamo-elek-

trischen Maschinen erfordern. Hingegen läßt sich, wir folgen hier immer auszugsweise den Ausführungen Trowbridges selbst, diese Methode zur Interkommunikation zwischen Schiffen zur See verwerten und würde viel bessere Erfolge ergeben, als die heute übliche Signalisierung mit Glocken und Sirenen, weil sich bei diesen, namentlich bei dichtem Nebel, die Richtung, woher der Ton kommt, nur sehr schwer bestimmen läßt. Zur Durchführung dieser Idee wird von demselben der Vorschlag gemacht, eine Wechselstromdynamo von zirka 7 KW Leistung in Betrieb zu erhalten, den einen Pol derselben mit dem Schiffskörper zu verbinden, von dem anderen Pole eine lange isolierte Leitung abzuleiten, welche

Fig. 7.



in die See gelassen und von dem Schiffe nachgeschleppt wird. Das in die See tauchende Ende dieser Leitung ist selbstverständlich von der isolierenden Hülle entblößt. Auf diese Weise soll eine deutliche Verständigung mittels Telephon auf mindestens eine halbe Seemeile möglich sein.

In einem im Jahre 1891 veröffentlichten Artikel bespricht Trowbridge bereits die Erscheinungen der statischen und elektromagnetischen Induktion in Bezug auf ihre Anwendbarkeit für die drahtlose Telegraphie. Hier erfolgt die Wirkung nicht durch die Erdleitung, sondern direkt durch die Luft. Die Anwendung dieser Art der Telegraphie wird sich nur auf die See beschränken, da die zu Lande durch die Bodenerhebungen sich ergebenden Hindernisse, der Fortpflanzung elektrischer Energie auf dem Wege der Induktion Schwierigkeiten bereiten.

Die Vorrichtung, deren sich Trowbridge zum Nachweise der Möglichkeit einer Zeichenübertragung auf dem

Wege der elektromagnetischen Induktion bediente, ist in Fig. 7 ersichtlich gemacht.

$P$  und  $S$  sind zwei voneinander vollständig getrennte Drahtrollen, deren in vielen Windungen um den Rahmen gelegter isolierter Draht bei der Rolle  $S$  mit beiden Enden in die Klemmen des Telephons  $T$  eingesteckt ist, bei der Rolle  $P$  hingegen mit der Batterie  $B$  und dem Zeichengeber  $Z$  so in Verbindung stehen, so daß auch hier der Stromkreis normal geschlossen bleibt. Wird der Strom in  $P$  durch den Zeichengeber abwechselnd unterbrochen und geschlossen, so induzieren die Öffnungsbeziehungsweise Schließungsströme in der Rolle  $S$  gleichfalls Ströme, die durch Knacken des Telephons bemerkbar werden. Durch Vergrößerung des Zwischenraumes dieser Spulen, die, um zur vollen Wirkung gelangen zu können, parallel gestellt werden sollen, läßt sich die Grenze, bis zu welcher eine Zeichenübertragung noch möglich ist, genau bestimmen. Trowbridge äußert sich über die Methode der induktiven Übertragung wie folgt: Die am meisten einleuchtende Methode der elektrischen Signalisierung durch die Luft ist die der elektromagnetischen Induktion. Dieselbe begegnet jedoch den größten Schwierigkeiten, da entweder die Induktionsrollen oder die Dynamomaschinen, um nur auf eine einigermaßen größere Entfernung Nachrichten entsenden zu können, praktisch unmögliche Dimensionen bekommen müßten. Es müßte daher, um auf diesem Wege zum Ziele zu gelangen, eine Methode gefunden werden, welche es ermöglicht, die beiden Induktionsrollen gegenseitig so abzustimmen, daß die in der einen Rolle erregten elektrischen Oszillationen in der anderen Rolle sympathische Schwingungen hervorzurufen vermögen.

Aber auch die statische Induktion kann aus den gleichen Gründen nicht zum Ziele führen, denn entweder müßten die Kapazitätsplatten oder die ladende Maschine eine die praktische Durchführbarkeit übersteigende Größe annehmen.

Wie man hieraus ersieht, äußert sich Trowbridge ziemlich skeptisch über die Möglichkeit der praktischen Durchführbarkeit dieser Art der drahtlosen Telegraphie.

Die Methoden von Phelps, Wood und Adler. Die schon lange erkannte und von Faraday eingehend studierte und gesetzmäßig begründete Erscheinung, daß zwischen zwei in sich geschlossenen Leitern eine Wechselbeziehung in dem Sinne besteht, daß ein in dem einen Leiter entstehender oder vergehender Strom in dem anderen jedesmal einen Strom von kurzer Dauer und entgegengesetzter Richtung erregt, welche

Erscheinung unter der Bezeichnung der elektromagnetischen Induktion gekannt ist, ließ im Jahre 1884 bei Phelps die Idee entstehen, diese Erscheinung zur telegraphischen Verständigung zwischen einem fahrenden Zuge und den Eisenbahnstationen auszunützen. In Durchführung seiner Idee wurden zwei getrennte Stromkreise hergestellt, deren einer von Station zu Station verlief, der andere hingegen nur auf dem Zuge untergebracht wurde. Diese beiden Stromkreise werden zu einander so nahe als möglich geführt, um eine möglichst wirksame Induktion zu erzielen. Der von Station zu Station laufende Leiter bestand aus einem isolierten Drahte, der in eine auf den Querschwellen befestigte und mit einem Deckel versehene Rinne verlegt wurde. Den Stromkreis im Wagen bildete ein in 90 Windungen auf einen Rahmen gewickelter, isolierter Kupferdraht von zirka 2500 *m* Länge. Der Rahmen wurde in einer zum Geleise parallelen und lotrechten Ebene so aufgestellt, daß die unteren Windungen, welche in einem Gasrohre eingeschlossen waren, zirka 175 *mm* über dem isolierten Leiter zu liegen kamen. Auf diese Weise konnte durch entsprechende Anordnung der Empfangs- und Gebevorrichtung eine gegenseitige Verständigung erzielt werden. Als Empfänger diente auf dem Wagen ein empfindliches Relais in Verbindung mit einem Morseapparat im Lokalstromkreise und in den Stationen ein Telephon. Als Geber wurden Arbeitsstromtaster benützt. Die mit dieser Einrichtung auf einer zirka 20 *km* langen Strecke einer Newyorker Eisenbahnlinie durchgeführten Versuche sollen ganz befriedigende Ergebnisse geliefert haben.

Ähnliche Einrichtungen wurden in den Jahren 1887 und 1888 von Woods und Adler in Vorschlag gebracht und mit selben auch Versuche durchgeführt, welche ebenfalls von Erfolg begleitet gewesen sein sollen. Da aber das Bedürfnis einer gegenseitigen Verständigung zwischen den verkehrenden Zügen und den Stationen zu den seltenen Ausnahmefällen zählt, Telegramme von Passagieren hingegen mit Leichtigkeit an jedem Haltepunkte der Bahn zur Aufgabe gebracht werden können, eine derartige Einrichtung aber die Anwesenheit eines Manipulanten im Zuge erforderte, war der Betrieb im Verhältnis zum Erfolge zu teuer, weshalb die einschlägigen Versuche auch bald aufgegeben wurden.

Die Methode von Preece. Die Herstellung einer telegraphischen Verbindung zwischen den Leuchttürmen und der Küste wurde an den verkehrsreichen Küsten Englands

als Bedürfnis erkannt. Die Verbindung dieser Leuchtschiffe mit den Küsten durch Kabelleitungen begegnete jedoch bedeutenden Schwierigkeiten, weil bei den steten Schwankungen dieser Schiffe, welche namentlich bei auftretenden Stürmen oft eine gewaltige ist, stets ein Bruch der Kabelleitung in Aussicht steht, und daher gerade in jenen Momenten, wo sich die Verständigung am notwendigsten erweist, ein Versagen derselben eintreten kann. Diese Schwierigkeiten zu vermeiden, wurden von W. H. Preece, dem bekannten Chef-elektriker der englischen Postverwaltung, drei verschiedene Arten einer Kommunikation zwischen Leuchtschiffen und Küste vorgeschlagen, welche auch der Erprobung unterzogen wurden. Die erste Methode bestand darin, daß längs der Küste eine Leitung von etwa  $1\frac{1}{2}$  km Länge, und am Schiffe gleichfalls eine Leitung vom Vordersteven bis zum Stern des Schiffes verlegt wurde. Ströme in der einen Leitung werden natürlich auch Ströme in der anderen Leitung induzieren, deren Stärke von der Länge der Drähte, ihrem gegenseitigen Abstände und der Stärke des primären Stromes abhängt. Nach dem zweiten Vorschlage wird eine kurze Leitung an der Flanke des Schiffes derart aufgehängt, daß die Enden desselben in der Richtung der Küstenleitung in die See tauchen und so der Strom durch das Seewasser hindurch zum Empfangsinstrumente gelangt. Als dritte Methode soll ein leichtes Seekabel, welches in einer Drahtspule endigt, vom Ufer aus bis in die Nähe des Schiffes, mit welchem selbes jedoch nicht in Berührung kommt, geführt werden. Eine zweite Spule befindet sich am Bord des Schiffes. Die beiden Spulen sollen aufeinander wirken. Hier hätten wir sonach eine Kombination der elektrostatischen und elektromagnetischen Induktionsmethode.

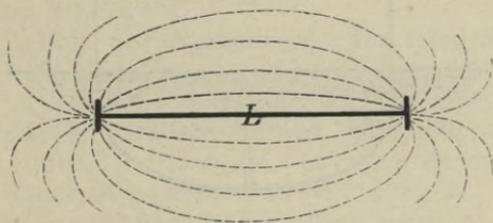
Diese Versuche, welche an verschiedenen Punkten der englischen Küste und nicht allein zwischen Küste und Leuchtschiffen, sondern auch zwischen den Ufern der die Küste vielfach durchbrechenden Sunde durchgeführt wurden, und bis auf 8 km Entfernung von Erfolg begleitet waren, gaben auch die Anregung, die für die Telegraphie durch den Raum auf magnet-elektrischer Induktion beruhenden Gesetze zu erforschen. Auch hier werden bereits Wellenbewegungen des Äthers als Ursache der Übertragung angesehen, doch ist noch nicht angegeben, ob diese Induktionserscheinungen durch elektrische oder magnetische Beeinflussung des Äthers hervorgerufen werden. Diese Annahme scheint mit der Entstehung

der sogenannten Hertz'schen Wellen einigermaßen im Widerspruch zu stehen, da letztere ihre Entstehung raschen elektrischen Oszillationen verdanken und die Entstehung von Wellen nach der allgemeinen Annahme nur plötzlichen Impulsen oder Störungen des betreffenden umgebenden Mediums zuzuschreiben ist. Wenn nun auch bei den Induktionserscheinungen gleichfalls plötzliche Impulse zutage treten, so sind selbst bei hoher Frequenz solcher Ströme, als welche doch nur Wechselströme in Betracht kommen können, die Zahl der für die Zeiteinheit in Betracht kommenden Impulse viel zu gering, um die Entstehung von elektrischen Wellen, welche bis zu Millionen von Impulsen in der Sekunde bedingen, hier als wahrscheinlich anzunehmen. Es ist vielmehr viel näher liegend, die Änderungen des jeden stromdurchflossenen Leiter umgebenden magnetischen Kraftfeldes, wie solches durch das Entstehen, Anschwellen und Verschwinden von Strömen positiver und negativer Richtung hervorgerufen wird, als Grundursache der Induktionserscheinungen zu bezeichnen. Die von dem stromdurchflossenen Leiter ausgehenden, sich radial im Raume verbreitenden magnetischen Kraftlinien schneiden den weit entfernten metallischen Leiter und rufen in demselben bei jeder Veränderung von deren Intensität, die der allgemeinen Annahme nach nur in der Verringerung oder Vermehrung der Anzahl derselben gelegen ist, die als solche bezeichneten Induktionsströme hervor. Hierfür spricht auch die aus Erfahrung gewonnene Tatsache, daß die Entfernung, auf welche mittels Hertz'scher Wellen noch Nachrichten vermittelt werden können, eine vielfach größere ist, als jene, welche auf dem Wege der elektromagnetischen Induktion erreicht werden konnte, trotzdem daß die für die ersteren aufgewandte elektromotorische Kraft eine relativ viel geringere sein kann. Wenn dessenungeachtet im nachstehenden die von Preece gezogenen Schlußfolgerungen als maßgebend angenommen werden, so liegt insofern keine Inkonsequenz darin, als ja die Ergebnisse mit den praktischen Erfahrungen übereinstimmen und nur bezüglich der das Ergebnis beeinflussenden Grundursachen die Anschauungen differieren. Es ergibt sich aus den angeführten drei Methoden, welche von Preece in Vorschlag gebracht wurden, von selbst, daß zur Ausführung des Signalisierens, beziehungsweise Telegraphierens durch den Raum ein Primärleiter erforderlich ist, in welchem Schwingungen oder elektrische Wechselströme in beliebiger Weise erregt werden können. Diese Wechselströme müssen

in einer für unser Gehör angenehmen und markanten Weise abwechseln, wofür etwa 260 Wechsel pro Sekunde erforderlich sind. Der Primärstromkreis muß frei im Äther ausgelegt werden, und darf der Sekundärstromkreis, den man zu erregen wünscht, nicht durch leitungsunfähige oder magnetische Materie vom Primärstromkreis abgeschieden sein.

Bei den zahlreichen von Preece im Jahre 1893 im Uferlande der Seebucht zu Conway und später zu Frodsham und anderen Orten angestellten Versuchen wurden aus isolierten Drähten Quadrate und Rechtecke gebildet, und die Einwirkung veränderlicher Ströme im Primärleiter auf den entfernten Sekundärleiter mittels Spiegelgalvanometer und Telephon in genauester Weise bestimmt, um für die günstigste gegenseitige Anordnung der beiden Leiter die erforderlichen Anhaltspunkte

Fig. 8.



zu gewinnen. Zur Erzeugung der veränderlichen primären Ströme wurde eine Wechselstrommaschine verwendet, welche bei 192 vollen Wechseln in der Sekunde einen Strom von  $15 A$  bei  $150$  Volt ergab.

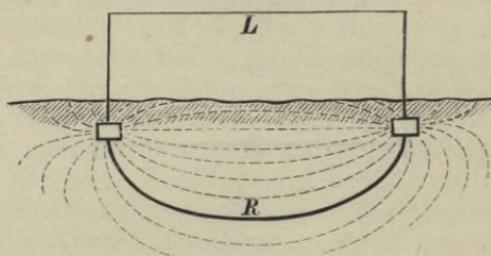
Die allgemeinen Ergebnisse, welche bei diesen Versuchen erzielt wurden, und die daraus gezogenen Schlußfolgerungen seien im folgenden kurz zusammengefaßt:

1. Die Erde wirkt, wenn selbe zum Schlusse des Stromkreises als Verbindungsglied benützt wird, einfach als Leiter. Da die Erde als Leitungsmaterial an und für sich einen sehr großen Widerstand hat, muß die als Rückleitung eines Stromkreises dienende Erdmasse sehr groß sein. Wäre das als Erdleitung dienende Material, gleich der Wassermasse des Meeres, homogen, so würde der zwischen den Erdplatten fließende Strom unzähligen, aber bestimmten Stromlinien folgen, die in ihrem Verlaufe, wie die Diagramme Fig. 8 (Horizontalansicht) und Fig. 9 (Vertikaldurchschnitt des Erdbodens) zeigen, ein Hämischphäroid bilden. Mit Erdplatten in  $1000 m$  Abstand

sind diese Ströme an der Erdoberfläche bis auf 800 *m* Entfernung hinter jeder Platte nachgewiesen worden. In der Querrichtung, rechtwinkelig zur Verbindungslinie der beiden Erdplatten, zeigten sich ähnliche Ausdehnungen der Stromlinien.

Diese hämisphäroidale Masse läßt sich in elektrischer Beziehung durch einen resultierenden Leiter *R* (Fig. 9) ersetzt denken. Um nun die gegenseitige induktive Wirkung zwischen zwei mit Erdrückleitung versehenen Stromkreisen beurteilen zu können, ist es notwendig, die Lage dieses imaginären Leiters abzuschätzen. Wenn der Erdboden von verschiedenartiger Beschaffenheit und trocken ist, wird das Hämisphäroid eine sehr verzerrte Form annehmen, das Prinzip bleibt sich jedoch das gleiche und eine resultierende Rückleitung kann

Fig. 9.



ebensogut angenommen werden. Im allgemeinen ist bei den Versuchen zu Frodsham nachgewiesen worden, daß die resultierende Erdleitung bis auf etwa 100 *m* Tiefe hinabging, wobei die Primärleitung eine Länge von 100 *m* hatte. Bei den Versuchen zu Conway, bei welchen die Primärleitung 410 *m* Länge hatte, wurde diese Tiefe mit 116 *m* berechnet. Am Ness-See und Kilbrannan-Sund, wo der Abstand der parallelen Leitung zwischen 3,3 bis 6,5 *km* variierte, berechnete sich die Tiefe, bis zu welcher die Stromlinien hinabgingen, bis auf etwa 300 *m*. Hieraus folgt, daß die Tiefe, bis zu welcher die Resultante der Stromlinie in den Erdboden hinabgeht, mit der Entfernung der Erdplatten wächst. Hierdurch wird es auch möglich gemacht, die telegraphische Übermittlung durch Induktion von parallelen Drähten auf viel größere Entfernungen durchzuführen, als es sonst möglich sein würde.

2. Bei diesen Versuchen wurden auch zwei Drahtspulen als Primär- und Sekundärspulen einander gegenübergestellt, und die im Sekundärkreis entstehenden induzierten Ströme

mittels Telephon nachgewiesen. Hierbei zeigt sich, daß das Kraftfeld einer Spule sich mit der Vergrößerung des Durchmessers dieser Spule viel weiter ausdehnt, als mit Vermehrung der darauf befindlichen Windungen, sohin die Entfernung, über welche gesprochen werden kann, durch Vergrößerung des Spulendurchmessers sich viel mehr erhöht als durch Vermehrung von deren Windungsanzahl. Da nun ein einfacher, über die Erdoberfläche ausgespannter Draht, der durch Vermittelung der Erde einen vollständigen Stromkreis bildet, als Spule mit einfacher Windung, aber großem Durchmesser angesehen werden kann, deren unterer Teil eben die rückleitende Resultante der Erdströme bildet, wird ein solcher Draht wirksamer sein, als eine Spule. Die Entfernung, bis auf welche sich der Einfluß der Wirksamkeit eines solchen Drahtes erstreckt, ist abhängig von der Höhe des Drahtes über dem Erdboden und von der Tiefe, bis zu welcher die Erdresultante in den Boden hinabgeht.

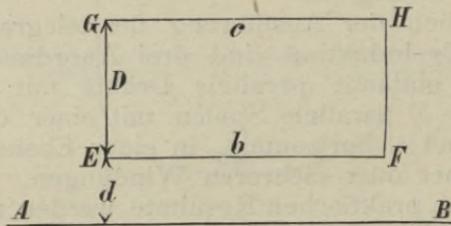
3. Bezüglich der Ausführung der telegraphischen Verbindung mittels Induktion sind drei Anordnungen möglich und zwar: *a)* einfache parallele Drähte mit Erdschluß an beiden Enden; *b)* parallele Spulen mit einer oder mehreren Windungen und *c)* horizontale, in einer Ebene angeordnete Spulen mit einer oder mehreren Windungen.

Die besten praktischen Resultate werden mit der ersten Anordnung erhalten, und zwar besonders wenn die Gestaltung des Erdbodens gestattet, daß die Drähte in beträchtlicher Höhe über dem Meeresspiegel geführt werden, während die Platten sich im Meeresniveau befinden. Durch Anwendung dieser Anordnung wird die Ausdehnung der Spulen praktisch vergrößert und hierdurch auch die Entfernung, bis auf welche solche Primär- und Sekundärdrähte noch wahrnehmbar gegenseitig aufeinander induktiv einwirken. Es gelangt eben bei dieser Anordnung sowohl die elektromagnetische als auch die elektrostatische Induktion zur vollen Wirkung, wobei auch die Erdströme durch die Ausbreitung im Erdboden unterstützend zu wirken scheinen. Da bei in sich geschlossenen Spulen nur rein elektromagnetische Wirkungen zur Ausnützung gelangen können, erklären sich die Vorteile der ersten Anordnung von selbst. Um dies praktisch zu konstatieren, wurden zwei Drähte von bestimmter Länge in zwei Spulen gewunden, um metallische Stromkreise herzustellen und auf diese Weise die Versuche der gegenseitigen Verständigung bis zu jener Grenze durchgeführt, auf welcher eine solche nicht mehr

möglich wurde. Hierauf wurden die Spulen abgewickelt und als gerade Leitungen hergestellt, für welche die Erde als Rückleiter diente: Die induktiven Wirkungen und sohin auch die Entfernungen, innerhalb welcher sich diese Wirkungen bemerkbar machten, waren in dem letzteren Falle vielmal größer, als bei der ersten Anordnung.

4. Das allgemeine Gesetz, welches die Entfernungen, über welche man sprechen kann, bestimmt, ist noch nicht gelungen, festzulegen, und ist auch Preece der Ansicht, daß sich ein solches Gesetz kaum aufstellen läßt, weil zu viele störende Elemente, sowohl geologische als elektrische, vorhanden sind, welche die Gesetzmäßigkeit verschleiern. In der Praxis hat man es eben mit zwei Stromkreisen von unbekannter Form zu tun, wofür die Tatsache spricht, daß in

Fig. 10.



einigen Gegenden genaue und übereinstimmende Resultate erzielt wurden, wogegen in anderen Gegenden die Resultate sich als widersprechend erwiesen.

Trotzdem, daß die hierbei in Betracht kommenden Verhältnisse eine genaue mathematische Behandlung nicht zulassen, hat es Preece dennoch unternommen, einige Formeln aufzustellen, die doch wenigstens annähernd Schlüsse zu ziehen gestatten.

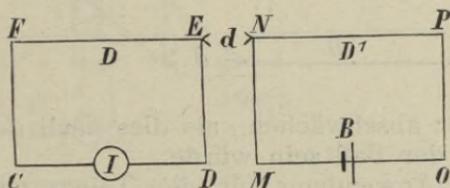
Sei in Fig. 10  $AB$  ein unendlich langer Draht und  $b$ ,  $c$  zwei Drähte, welche die parallelen Seiten eines rechteckförmigen Stromkreises  $E, F, G, H$  bilden, so wird ein in  $AB$  erregter Strom, dessen Kraftlinien die Drähte  $E, F, G, H$  durchschneiden, in dem geschlossenen Stromkreis  $E, F, G, H$  einen momentanen Strom hervorzurufen, in welche die induzierte

Elektrizitätsmenge  $Q = K \log \frac{D+d}{d}$  beträgt.  $K$  ist hierbei eine Konstante, welche von der Länge der Seiten  $GH$  und  $EF$  des Rechteckes (in Zentimetern), der Stromstärke (in

Ampère) im Drahte  $AB$  und vom Gesamtwiderstande (in Ohm) des Rechteckes abgänglich ist,  $d$  bezeichnet den Abstand zwischen der Linie  $AB$  und der unteren Seite des Rechteckes, während  $D$  die Höhe des Rechteckes darstellt.

Innerhalb gewisser Grenzen ist die Formel auch dann angenähert richtig, wenn  $AB$  nicht unendlich lang ist, sondern eine Seite eines zweiten dem der Induktion unterworfenen Rechtecke ähnlichen Rechteckes bildet, und mit demselben entweder in derselben Ebene liegt oder zu demselben senkrecht gerichtet ist. Die Formel muß jedoch, um der zweiten Seite des induzierenden Rechteckes Rechnung zu tragen, entsprechend der Lage desselben für jeden einzelnen Fall abgeändert werden.

Fig. 11.



Liegen die beiden Rechtecke, wie in Fig. 11 dargestellt, in derselben Ebene, so wird die Gesamtwirkung der beiden Seiten  $MN$  und  $OP$  des induzierenden Stromkreises auf den induzierten Stromkreis dargestellt durch die Formel

$$Q = K \left\{ \log \frac{D+d}{d} - \log \frac{D'+d+D}{D'+d} \right\}.$$

Stehen dagegen die Ebenen der beiden Rechtecke rechtwinklig zueinander (Fig. 12) und ist die Seite  $l$  im Vergleich zu  $D$  sehr groß, dann gilt die Formel

$$Q = K \left\{ \log \frac{D+d}{d} - \frac{1}{2} \log \frac{D_1^2 + (D+d)^2}{D_1^2 + d^2} \right\}.$$

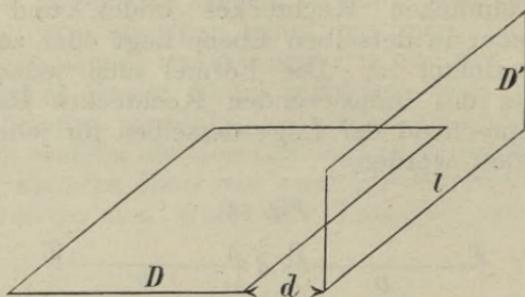
Sind ferner die beiden Rechtecke parallel und gleich (Fig. 13) und ist  $l$  im Vergleich zu  $D$  sehr groß, dann ist

$$Q = K \left( \log \left[ \frac{D^2}{d^2} + l \right] \right).$$

In diesen Formeln erscheinen nur die Wirkungen auf jene Drähte des Sekundärkreises berücksichtigt, welche den

Drähten des Primärkreises parallel sind, die Wirkungen der der rechtwinkelig stehenden Drähte dagegen vernachlässigt. Die letzteren, allerdings viel geringeren, Wirkungen stellen sich den in den parallelen Drähten induzierten Hauptströmen entgegen, so daß sich in der Praxis diese Ströme mit der Ent-

Fig. 12.

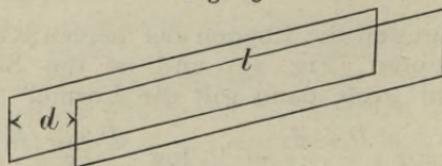


fernung rascher abschwächen, als dies nach dem logarithmischen Gesetze der Fall sein würde.

Die erste Anwendung für den Telegraphendienst fand das System von Preece am 30. März 1895 als das die Inseln Mull und Oban verbindende Kabel einen Bruch erlitt. Die hierfür zur Verwendung gelangte Anordnung in schematischer Darstellung ist aus Fig. 14 zu ersehen.

In derselben bezeichnet *B* die als Stromquelle verwendete Batterie von 100 Leclanché-Elementen, *U* einen automatischen

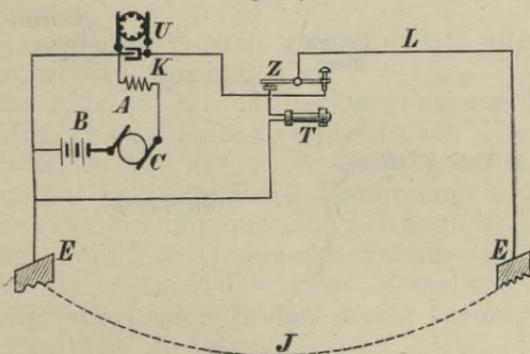
Fig. 13.



Stromunterbrecher, *C* einen Elektromotor, welchen der Stromunterbrecher antreibt, *A* einen regulierbaren Widerstand, *Z* den Zeichengeber, *T* das Empfangstelephon, *L* die längs des Ufers gespannte Leitung von zirka 1 km Länge, *K* einen Kondensator, *EE* die Erdanschlüsse und *J* den resultierenden Erdleiter. Am gegenüberliegenden Ufer war selbstredend eine ähnliche Einrichtung angeordnet.

Für die ersten Versuche wurde als Stromquelle ein Wechselstromgenerator verwendet, aber später, und zwar auf der heute noch im Betriebe befindlichen Einrichtung zwischen Lavernock Point und the Flat Holm durch 50 Leclanché-Elemente ersetzt, dagegen wurde der selbsttätige Unterbrecher auf 400 Stromschlüsse und Stromunterbrechungen eingerichtet, wodurch sich die Induktionswirkungen beträchtlich verstärkten. Der Leitungswiderstand wurde durch Verwendung starker Kupferdrähte so niedrig als möglich gehalten. Da sich keine meßbare Kapazität in den Leitungen befindet und die Selbstinduktion beseitigt erscheint, gestaltet sich die Zeichenübertragung vollkommen korrekt und hängt die Ge-

Fig. 14.



schwindigkeit derselben nur von der Geschicklichkeit des Manipulanten ab.

Die drahtlose Telephonie nach Preece. Gelegentlich der Versuche in der Nähe von Loch Neß in dem schottischen Hochlande zur Durchführung der drahtlosen Telegraphie nach dem System von Preece, wobei es sich vornehmlich um die Feststellung der Gesetze für die Telegraphie mittels Morsesignale handelte, kam Gavey auf die Idee, die telephonische Übertragung mit der telegraphischen Übertragung zu vergleichen. Es zeigte sich hierbei, daß die Übertragung der Sprache auf eine Entfernung von  $2.1 \text{ km}$  ganz gut möglich war, wenn die Länge der einander gegenüber liegenden Leitungen je  $6.4 \text{ km}$  betrug, und daß die Telephonströme in ebenso kräftiger Weise, wie die bedeutend intensivere Telegraphierströme das elektrische Gleichgewicht der gegenüberliegenden Leitung zu stören vermochten.

Preece führte im Jahre 1899 diesbezüglich in den Menai Straits eingehende Untersuchungen durch, welche die Tatsache ergaben, daß der beste Effekt mit Telephonen dann erzielt wird, wenn die beiden Enden der parallel verlaufenden Leitungen mit in die See versenkten Erdplatten verbunden wurden. Es erklärt sich dies dadurch, daß der gewöhnliche induktive Effekt durch Leitungswirkungen wesentlich unterstützt wurde, wodurch auch eine wesentliche Verkürzung der parallelen Leitungen erreicht werden konnte.

Fig. 15.



Als sich nun die Notwendigkeit ergab, das Leucht-  
haus der »Skerries« genannten Inseln und dem Festlande  
von Anglesey telegraphisch zu verbinden, wurde be-  
schlossen, dies auf dem Wege der drahtlosen Telephonie  
zu versuchen. Zu diesem Zwecke wurde auf den Skerries eine  
750 m lange und auf dem Festlande eine 5,7 km lange Leitung  
errichtet, wobei diese Leitungen, wie sich dies aus Fig. 15  
ergibt, möglichst parallel zueinander geführt und an ihren  
beiden Enden direkt mit einer in die See versenkten Erd-  
platte verbunden wurden.

Die Entfernung der parallelen Leitungen betrug 4,48 km  
und ergab sich eine so anstandslose Vermittelung, daß die-  
selbe sich noch heute, und zwar im erfolgreichen Betriebe  
befindet.

Die hierbei benützte Schaltungsanordnung ist aus Fig. 16  
zu entnehmen und bedeuten in selber *A* das Empfangstelephon,

*B* ein Deckert-Mikrophon, *C* eine Batterie aus 10 Obach Trockenelementen, *T* einen Druckknopf um den Umschalter auf *R* für die Aufnahme und auf *T* für die Abgabe einer Mitteilung zu stellen.

Auch die Versuche zur Durchführung einer drahtlosen Telephonie zwischen der Rathlin-Inseln und der Nordküste von Irland ergaben auf eine Entfernung von annähernd 13 *km*

so befriedigende Ergebnisse, daß diese Art der Nachrichtenvermittlung, namentlich dort, wo das Legen von Verbindungskabeln mit zu großen Kosten verknüpft ist, allgemeiner angewendet zu werden verdient.

Preece hält auf Grund der gewonnenen Erfahrungen auch die Möglichkeit einer telephonischen Nachrichtenvermittlung zwischen Schiffen unter sich oder zwischen Schiffen und Seestationen auf ziemliche Entfernungen für möglich.

Zu diesem Zwecke braucht nur eine Leitung, welche, wie dies Fig. 17 zeigt, vom Vorderende des Schiffes über die Maste desselben an das rückwärtige Ende desselben gezogen zu werden, wobei die beiden Enden dieser Leitung mit in das Wasser versenkten Erdplatten in Verbindung stehen und selbstverständlich ein in dieselbe eingeschalteter, entsprechend eingerichteter kombinierter Empfangs- und Sendeapparat vorhanden sein muß.

Wiewohl nun eine gegenseitige parallele oder nahezu parallele Lage der Leitungen, sohin auch der Schiffe die günstigste Bedingung für ein gutes

Wirken der Einrichtungen voraussetzt, dies aber in der Praxis kaum zutreffen wird, so läßt sich, wenn sich auch die gegenseitige Lage der Schiffe fortwährend verändert, doch die Möglichkeit einer Verständigung annehmen und dürfte somit eine derartige Einrichtung, welche doch nur einen geringen Kostenaufwand erfordert, namentlich für die Küstenschiffahrt erhebliche Vorteile gewähren.

Fig. 16.

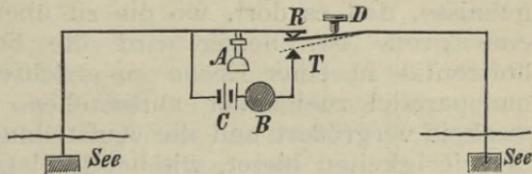
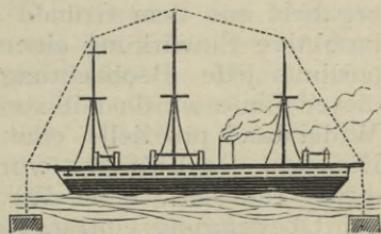


Fig. 17.



Das System von C. A. Stevenson. Stevenson gab bereits im Jahre 1892 der Überzeugung Ausdruck, daß eine telegraphische Verständigung ohne verbindende Drahtleitung nur durch Anwendung von Induktionsspulen möglich sein müsse, und führte, da sich die Herstellung einer derartigen Verbindung zwischen Muckle Flugga eine der Shetlandsinseln und dem Festlande als wünschenswert erwies, diesbezüglich eingehende Versuche durch. Er kam dabei zu dem Ergebnisse, daß es dort, wo die zu überbrückende Entfernung eine große ist, besser wird die beiden Induktionsspulen horizontal in einer Ebene zu errichten, als selbe senkrecht und parallel zueinander aufzustellen, indem sich die Wirksamkeit vergrößert und die Aufstellung derselben nicht jene Schwierigkeiten bietet, wie bei der letzteren Anordnung. Die Hauptschwierigkeit bei dieser Art der Einrichtung zur drahtlosen Telegraphie, und darin gipfelt auch das Geheimnis des Erfolges, liegt darin, den Widerstand und die Windungszahlen der Primär- und Sekundärspule in ein solches Verhältnis zu bringen, daß noch mit einer praktisch erreichbaren Batteriekraft eine Zeichenübertragung ermöglicht wird.

Für die Korrespondenz nach Muckle Flugga auf eine Entfernung von etwas über  $0,75 \text{ km}$  wurde nun ermittelt, daß hierfür als Spulen, solche von neun Windungen gewöhnlichen Telegraphendrahtes bei einem Durchmesser von  $200 \text{ m}$  auf jeder Seite ausreichend sind und ein Strom von  $1 \text{ Ampère}$  in der Primärwindung genügt.

Die ersten im natürlichen Terrain angestellten Versuche ergaben aus dem Grunde ein negatives Resultat, weil die induktive Einwirkung einer benachbart verlaufenden Phonoplinie jede Beobachtung vereitelte. Nach Ausschaltung dieser Linie wurde mit  $100$  Trockenelementen von  $1,2 \text{ Ohm}$  Widerstand pro Zelle eine ganz gute Verständigung erzielt. Die Zahl der Elemente wurde nach und nach bis auf  $15$  Elemente reduziert, ohne daß eine merkliche Verschlechterung der Übertragung eintrat. Bei einem Parallelversuche mit ausgestreckten, geerdeten und zueinander parallel verlaufenden Leitungen wurde bei  $20$  Elementen noch kein Ton vernommen und glich die Übertragung bei Verwendung von  $100$  Elementen bei weitem noch nicht jener, welche bei Anwendung von Induktionsspulen mit  $15$  Elementen erreicht wurde.

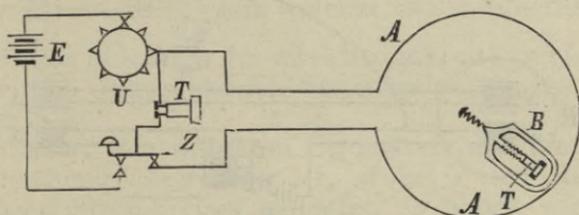
Ein Versuch mit dem Phonoporempfänger zeigte, daß die Übertragung schon mit zehn Elementen anstandslos vor

sich ging und konnten sogar in einem Falle Zeichen mit nur fünf Elementen vermittelt werden.

Wenn nun auch die Verbindung zwischen Muckle Flugga und dem Festlande aus finanziellen Gründen nicht hergestellt werden konnte und somit die praktische Verwertbarkeit nicht zu erweisen war, so war Stevenson doch der Meinung, daß sich dieses System der Übertragung für den Verkehr der Schiffe untereinander und zwischen Schiff und Leuchtturm gut bewähren müsse.

Die Methode von Sydney Evershed. Bei dieser Methode, welche zur Verständigung zwischen Ufer und Leuchtschiffen verwendet wird, wurde von der Annahme ausgegangen, daß ein an einem Pflanker liegendes Leuchtschiff *B* (Fig. 18) infolge der wechselnden Windrichtung verschiedene Lagen

Fig. 18.

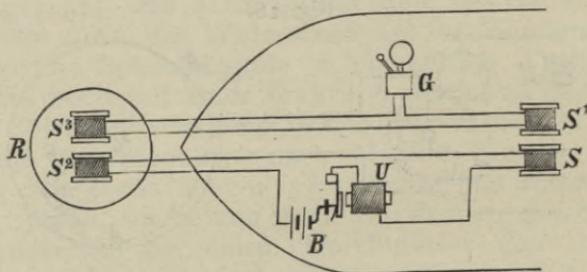


innerhalb eines kreisförmigen Feldes einnehmen wird, und in jeder dieser Lagen imstande sein muß, Nachrichten zu empfangen. Um dieses kreisförmige Feld ist auf den Meeresboden ein Kabelring *A* gelegt, der mit der Küste verbunden ist. Auf dem Schiffe ist eine, aus mindestens 50 Windungen isolierten Drahtes bestehende Sekundärspule von möglichst geringem Widerstande untergebracht. Besteht das Schiff hauptsächlich aus Eisen, so wird diese Spule rund um die Außenseite des Bollwerkes anzuordnen sein, wobei deren magnetische Achse mit der Längsachse des Schiffes womöglich zusammenfallen soll. Mittels des Tasters *Z* und des automatischen Stromunterbrechers *U*, der den Strom einige tausend Male in der Minute unterbricht, werden durch den Kabelring intermittierende Ströme hindurchgesandt. Die Stromstöße in dem Kabelring *A* erzeugen in der Sekundärspule rasch wechselnde elektromotorische Kräfte und es gehen durch das Telephon *T* Wechselströme, welche die Membrane desselben in Bewegung versetzen. Zur Zeichen-

gebung wird das Morsealphabet benützt. Die Schwierigkeiten, welche beim Telegraphieren mittels Induktion der Anruf bietet, sucht Evershed durch ein sehr sinnreich konstruiertes Relais zu beseitigen, welches auf Hervorrufung von Eigenschwingungen eines abgestimmten Metallrechteckes durch rhythmische Stromimpulse basiert.

Die Methode von Somzee. Diese Methode beruht auf dem Prinzip der Induktionswage von Hughes, und ist dieselbe aus zwei Stromkreisen gebildet, in deren jedem ein Paar von Spulen eingeschaltet ist. Der eine dieser Stromkreise wird durch eine Batterie  $B$  (Fig. 19) und einen automatischen Stromunterbrecher  $U$ , der andere durch eine Glocke  $G$  ergänzt. Ein Paar dieser Spulen,  $S, S^1$ , ist auf dem

Fig. 19.



Schiffe untergebracht, während das andere Paar,  $S^2, S^3$ , sich auf einem Schwimmer  $R$ , welcher von dem Schiffe geschleppt wird, befindet. Die induktive Wirkung von  $S$  auf  $S^1$  ist normal durch die Wirkung von  $S^2$  und  $S^3$  aufgehoben oder ausgeglichen. Nähert sich jedoch das Schiff einer, durch eine große Metallboje markierten Untiefe, so wird durch die Metallmassen derselben das Gleichgewicht der in den Spulen  $S^1$  und  $S^3$  induzierten Ströme gestört, der eine erhält über den anderen das Übergewicht und die Glocke ertönt, so die drohende Gefahr anzeigend. Diese Methode von Somzee wurde im Jahre 1895 von Huskinson zur automatischen Entzündung von in einem Hafen oder sonstwo versenkter Seeminen vorgeschlagen. In diesem Falle befindet sich das eine Spulenpaar am Ufer, das andere Spulenpaar oder die Induktionswage ist hingegen mit der Mine verbunden. Fährt nun ein Schiff über die Mine, so stört es durch seine Eisenmassen das Stromgleichgewicht und die Mine explodiert.

Erklärung der Wirkung der elektromagnetischen Induktionsmethoden nach Bissing. Nach den Anschauungen von Bissing beruhen die hier beschriebenen Methoden der drahtlosen Telegraphie beziehungsweise Signalisierung auf wechselseitiger Induktion. Der durch den signalisierenden Stromkreis hindurchgehende Strom erzeugt ein magnetisches Kraftfeld, dessen Kraftlinien den Empfangsstromkreis durchdringen. Ein Wechsel der Stromintensität des Gebestromkreises ruft gleichermaßen einen korrespondierenden Wechsel des magnetischen Feldes hervor, und gibt hierdurch den Anlaß zur Entstehung eines induzierten Stromes in dem Empfangsstromkreise, dessen E.M.K. durch den Grad der Schwächung der magnetischen Induktion in selbem gemessen wird. Dies gibt nun als Ausdruck für die zu irgend einem Zeitpunkt bestehende elektromotorische Kraft die Gleichung  $E = -M \frac{di}{dt}$ , in welcher  $M$  den Koeffizienten der wechselseitigen Induktion der zwei Stromkreise und  $i$  die Stromstärke in dem induzierenden Stromkreise an irgend einem Zeitpunkte  $t$  ist.

Durchläuft den primären Stromkreis ein Wechselstrom, dessen Gleichung  $i = J \sin \alpha$  ist, wobei  $J$  den Maximalwert des primären Stromkreises bedeutet, so haben wir als Wert der induzierten E.M.K.  $E = MJ \cos \alpha \frac{d\alpha}{dt}$  für einen bestimmten Zeitpunkt.

Die wirkliche induzierte E.M.K. im Sekundärstromkreise ist sonach durch die Gleichung  $E^1 = 2\pi f M J^1$  ausgedrückt, wobei  $J^1$  die wirkliche primäre Stromstärke und  $f$  die Frequenz der primären Stromwellen bedeutet.

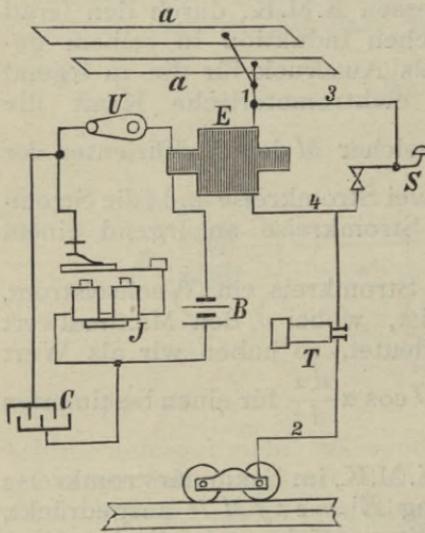
Aus dieser Gleichung folgt, daß, um diese Methode der drahtlosen Telegraphie so empfindlich als möglich zu machen, in dem Signalisierungsstromkreise kräftige Ströme hoher Frequenz angewendet werden müssen, in den Induktionsspulen sehr zahlreiche Windungen anzubringen sind und zur Erhöhung der Permeabilität des intervenierenden Mediums magnetische Materialien in selbes eingeführt werden sollen.

#### b) Die elektrostatischen Induktionsmethoden.

Die Methode von Smith. Bereits im Jahre 1881 beantragte Smith, um eine Verständigung zwischen einem fahrenden Eisenbahnzuge und den Stationen zu ermöglichen,

längs der Bahntrace eine Leitung derartig zu legen, daß sich selbe den Wagendächern möglichst nähert. Die Dächer der Wagen sollen mit einem vollkommen isolierten Metallbelag überkleidet und von demselben ein Draht zu einem im Inneren des Wagens befindlichen Telephon geführt werden, von dessen zweiter Zuführung die Leitung durch die Wagenräder zur Erde geleitet wird. Bei einem telephonischen Gespräche über diese Leitung wird das isolierte Dach, da in diesem Falle das Dach und die Leitung die Belege eines

Fig. 20.



Kondensators darstellen, statisch induziert und hierdurch in dem Telephon ein Strom entstehen, so daß die Gespräche vom Wagen aus gehört werden können.

Die Methode von Edison. Edison befestigte auf dem Wagendache zwei entsprechend isolierte Metallplatten *a a* (Fig. 20), von welchen eine Leitung zu der sekundären Windung der Induktionsspule *E* führt. Das zweite Ende dieser Induktionsspule führt zu dem Empfangstelephon *T* und von diesem, wie schematisch dargestellt, zu den Wagenrädern. Diese Sekundärspule ist jedoch durch die von den

mit 1 und 2 bezeichneten Leitungsteilen abzweigenden Drähte 3 und 4 und den normal in Ruhelage befindlichen Taster *S* kurz geschlossen, so daß für den Empfang von Nachrichten der in *a a* induzierte Strom diese Spule nicht durchläuft. In den die Primärspule des Induktoriums einschließenden Stromkreis ist die Stromquelle *B*, der selbstthätig wirkende Stromunterbrecher *J* und ein Umschalter *U* eingeschaltet. Der in Abzweigung zu dem Primärstromkreis verbundene Kondensator *C* hat den Zweck, das Entstehen von Unterbrechungsfunken am Unterbrecher *J* zu verhindern. Die beiden Metallplatten *a a* gleiten ebenso, wie vorhin angegeben wurde, längs einer Telegraphenleitung in möglichem geringem Abstände von derselben und werden durch statische Induktion

geladen. Der durch die Ladungsänderungen abfließende Strom ruft in dem Telephon in bekannter Weise die Signale hervor. Für den Empfang von Signalen ist der Umschalter  $U$  abgestellt, sohin der Primärstromkreis unterbrochen, und befindet sich der Taster  $S$  in Ruhe, hierdurch die Sekundärspule kurz schließend. Für die Abgabe wird durch Einstellen des Umschalters  $U$  der Stromkreis der Batterie  $B$  geschlossen, der Unterbrecher  $J$  gelangt zur Wirkung und werden nunmehr die in der Sekundärspule induzierten Ströme durch den Taster  $S$ , ähnlich wie bei der Morsekorrespondenz, in die Platten  $a a$  entsendet oder kurz geschlossen. In den stabilen Stationen sind ganz ähnliche Einrichtungen vorgesehen, so daß eine gegenseitige Verständigung ermöglicht wird.

Diese bereits im Jahre 1881 patentierte Einrichtung wurde späterhin (1885) von Edison im Vereine Gilliland, Phelps und W. Smith einer gründlichen Umänderung unterzogen und im Jahre 1889 auf der Chicago-Milwaukee- sowie auf der Chicago-St. Paul-Linie und späterhin auch auf den Linien des Lehigh-Valley Railroad, und zwar auf einer 86 *km* langen Leitung, erprobt, wobei sich die Übermittlung der Telegramme jederzeit anstandslos vollzogen hat.

Die Einrichtung wurde jedoch späterhin aus dem Grunde aufgelassen, weil die Kosten des Betriebes zu große waren und die Einnahmen wegen der geringen Inanspruchnahme seitens der Reisenden die Ausgaben nicht deckten. Für den Bahnbetrieb selbst wurde eine derartige Einrichtung als überflüssig erachtet.

Diese Einrichtung ist für den Zug in Fig. 21 *a* und für die Station in Fig. 21 dargestellt.  $S$  bezeichnet hier die Station und  $W$  den auf der Strecke befindlichen Wagen. Der für den Empfang eingerichtete Wagen trägt am Dache oder an der Seite oder an beiden Seiten einen isolierten Metallbelag  $a$ , welcher sich der ganzen Wagenlänge nach erstreckt und als der eine Belag eines Kondensators anzusehen ist. Dieser Belag besteht aus Metallstreifen, welche durch Blöcke aus Glas isoliert werden. Zur Vergrößerung der Oberfläche ist es gut, wenn alle Wagen mit solchen Metallstreifen versehen sind, die dann durch passende Kuppeln  $C$  elektrisch verbunden werden. Von diesen Metallstreifen führt ein Draht zu der Sekundärwindung der Induktionsspule  $B$  und von dem zweiten Ende derselben zum Telephon  $T$  und von diesem über das Wagenrad zur Erde. In dem lokalen Stromkreis der Batterie  $F$  ist die Primärwicklung der Induktionsspule sowie ein rotierender Stromunterbrecher  $D$ , aus

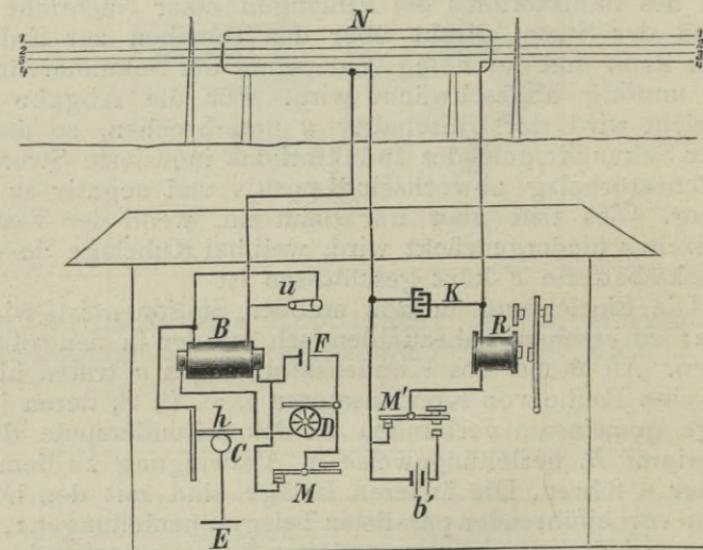


flussen kann, wenn der Taster niedergedrückt ist. Der Unterbrecher wird durch einen passenden Motor entweder elektrisch oder mechanisch angetrieben. Als Empfangsinstrument ist ein Elektro-Motograph-Telephon vorzuziehen, dessen Kreidezylinder durch irgend einen passenden Motor in fortwährender Umdrehung erhalten wird und auf welchem eine Feder schleift, die durch die Reibung in Schwingungen versetzt einen Ton bestimmter Höhe erzeugt, welcher sich bei Änderung des Leitungswiderstandes in kennbarer Weise ändert. Es kann jedoch jede beliebige Form eines Telephons hierfür zur Verwendung gelangen. Der Umschalter  $u$  schließt die sekundäre Spule des Induktoriums bei Einlangen einer Nachricht kurz, so daß der Strom direkt über das Telephon zur Erde abfließen kann und durch den Widerstand der Sekundärwindung nicht unnötig abgeschwächt wird. Für die Abgabe einer Nachricht wird der Umschalter  $u$  unterbrochen, so daß der in der Sekundärspule des Induktoriums induzierte Strom den Kondensatorbelag abwechselnd positiv und negativ zu laden vermag. Dies tritt aber nur dann ein, wenn der Taster  $M$  gleichzeitig niedergedrückt wird, weil bei Ruhelage desselben die Lokalbatterie  $F$  kurz geschlossen ist

Die Einrichtung in den stabilen Stationen ist, wie aus Fig. 21 zu ersehen, nahezu identisch mit der in den rollenden Wagen. An Stelle des Kondensatorbelages  $a$  treten hier jedoch eine Reihe von Kondensatoren  $i, i^1, i^2, i^3$ , deren innere Beläge gemeinsam verbunden zu der Sekundärspule des Induktoriums  $B$ , beziehungsweise in Abzweigung zu dem Umschalter  $u$  führen. Die äußeren Beläge sind mit den bei der Station vorbeiführenden parallelen Telegraphenleitungen 1, 2, 3, 4, und zwar jede mit einer gesonderten Leitung verbunden. Die Leitung 4 führt in diesem Falle direkt in die Station  $S$ , um die Verbindung mit dem daselbst aufgestellten gewöhnlichen Telegraphensystem, in welchem  $R$  das Relais,  $P$  den Empfangsapparat,  $M^1$  den Zeichengeber und  $b^1$  die Lokalbatterie bezeichnet, herzustellen. Um nun im Falle der Ruhelage des Zeichengebers  $M^1$  die bei Betrieb des Induktoriums entstehende abwechselnde Ladung und Entladung der Leitung 4 auch in der Richtung nach rechts übertragen zu können, dient der Kondensator  $K$ . Die hier nach dem englischen Patente vom 22. Juni 1885 wiedergegebene Darstellung der Schaltung ist offenbar falsch, da hier die in dem rechtsseitigen Beläge des Kondensators entstehende Ladung sich auch durch die Windungen des Relais  $R$  verbreiten müßte, welche in

diesem Falle aber wie eine Würgespule wirken und Verzögerungen in der Ladung und Entladung der Leitung 4, rechte Seite, bedingen würde. Es wurde demnach in der Fig. 22, welche eine geänderte Anordnung der Übertragung vorstellt, da hier für alle Fälle ein Arbeitsstrombetrieb gedacht sein dürfte, die nach eigener Ansicht richtige Schaltung für den direkten Linienbetrieb unter Hinweglassung des Lokalstromkreises zur Anschauung gebracht. In dieser Darstellung erscheinen die einzelnen Kondensatoren durch eine einzige

Fig. 22.



Kondensatorfläche  $N$ , welche in gleicher Höhe mit den Leitungen möglichst nahe zu denselben parallel aufgestellt ist, ersetzt und ist die Form des Elektro-Motograph-Telephons schematisch zur Anschauung gebracht.  $C$  bedeutet hier den rotierenden Kreidezylinder und  $h$  die an demselben schleifende Metallfeder, welche bei Änderung des Leitungswiderstandes den Ton wechselt.

Die Wirkungsweise dieser Art der drahtlosen Telegraphie, wenn selbe in diesem Falle als solche bezeichnet werden darf, erklärt sich nun folgenderweise. Will beispielsweise die Station sprechen, so unterbricht sie vorerst den Kurzschluß der Sekundärwindung von  $B$  durch Abstellen des Umschalters  $u$  und gibt

dann durch abwechselndes Öffnen und Schließen des Tasters die Zeichen. Bei jeder Unterbrechung durch diesen Taster gelangt der Strom der Batterie  $F$  durch die Primärwirkung von  $B$  und ruft hierdurch, da dieser Strom durch den Unterbrecher  $D$  gegen hundertmal in der Sekunde unterbrochen wird, in der Sekundärspule eine Serie von Induktionsströmen hervor, welche die Kondensatoren  $i, i^1, i^2, i^3$  oder die Kapazitätsfläche  $N$  abwechselnd positiv und negativ laden und diese Ladungen auf die Leitungen 1, 2, 3, 4 übertragen. In gleicher Weise wird die Kapazitätsfläche  $a$  (Fig. 21 a) von den Leitungen aus geladen und der hierdurch durch das Telephon abfließende Strom wird in demselben eine Art musikalischen Tones erzeugen. Bei Schluß des Tasters  $M$  wird die Einwirkung der Batterie  $F$  auf  $B$  aufgehoben. Der ganz gleiche Vorgang spielt sich ab, wenn vom Wagen zur Station oder von Wagen zu Wagen gesprochen werden will.

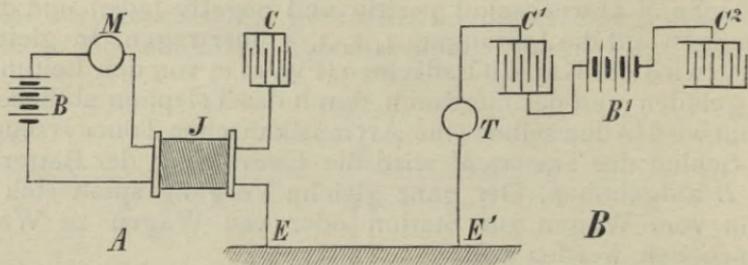
Die Spulenwiderstände waren bei diesen Versuchen wie folgt bemessen: Primärspule des Induktoriums 35 Ohm, Sekundärspule 250 Ohm. Telephonspule, sofern ein Bell-Telephon zur Anwendung gelangte, 1000 Ohm. Nach Phelps soll sich bei einem Widerstande der Telephonspule von 10.000 Ohm noch keine Abschwächung des Tones ergeben haben.

Die Methode von Dolbear. Während bei den beiden bisher vorgeführten statischen Induktionsmethoden die Entfernung zwischen den Kondensatorbelägen nur eine sehr geringe war und bei denselben von einer drahtlosen Telegraphie im engeren Sinne der Worte nicht die Rede sein kann, da doch für die ganze Länge des Verständigungsweges eine Drahtleitung erforderlich ist, versucht Dolbear bereits größere Entfernungen ohne Anwendung eines Verbindungsgliedes in Form von metallischen Leitern zu überwinden. In Fig. 23, welche eine schematische Übersicht über dessen Einrichtung gewährt, ist mit  $A$  der Übertragungsstromkreis, mit  $B$  der Empfangsstromkreis bezeichnet. Die Induktionsspule  $J$  besteht bloß aus einer Reihe fortlaufender Drahtwindungen, welche die primäre und sekundäre Wickelung vereinigen. Eine Windung dieser Spule ist aufgeschnitten und die so gewonnenen vier Enden dieser Spule sind mit der Batterie  $B$ , dem Mikrophonübertrager  $M$ , dem einen Belag des Kondensators  $C$  und der Erde  $E$  verbunden.

Die Batterie besteht aus einer großen Anzahl in Reihe geschalteter Zellen, um zwischen Kondensator  $C$  und der Erde eine Potentialdifferenz von mindestens 100 Volt zu erzielen. In

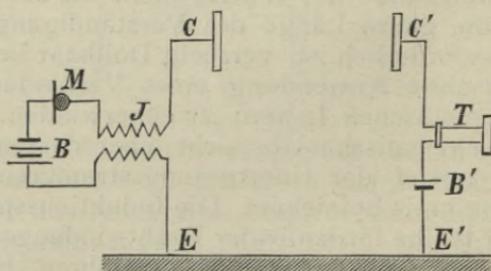
der Empfangsstation  $B$  befindet sich ein Telephonempfänger  $T$ , der mit der Erde  $E'$  und einem Belage des Kondensators  $C^1$  leitend verbunden ist. Der zweite Belag des Kondensators  $C^1$  ist mit einem Pole der Batterie  $B^1$  und durch diese mit einem Belage des Kondensators  $C^2$  in Verbindung. Diese Anordnung

Fig. 23.



verfolgt den Zweck, die Erde bei  $E'$  mit dem entgegengesetzten Potentiale wie bei  $E$  zu laden. Da jedoch die Kondensatoren  $C^1$ ,  $C^2$  nur eine sehr geringe Kapazität haben, so ist deren Wirkung eine sehr geringe und werden dieselben deshalb vom Erfinder als nicht wesentlich bezeichnet. Um die Vorgänge, welche sich abspielen, wenn der Widerstand des Mikrophons  $M$  bei raschen Schwingungen von dessen Membrane

Fig. 24.



Änderungen unterworfen wird, leichter erklären zu können, ist in Fig. 24 die ganze Anordnung unter Hinweglassung aller unwesentlichen Teile in einfacherer und übersichtlicher Weise dargestellt. In diesem Falle stellt  $J$  die Induktionsspule dar und bilden  $C$  und  $C^1$  die Beläge eines Kondensators von geringer Kapazität. Da jedoch diese Kondensatorplatten nahe

zur Erde sind, bildet jede derselben einen zweiten vollständigen Kondensator, als dessen zweiter Belag die Erde zu betrachten ist. Die Kapazität dieser Kondensatoren ist wesentlich größer als die Kapazität des Kondensators  $C C^1$ , weil die Kapazität eines Kondensators im umgekehrten Verhältnis zur Entfernung der Platten steht und die Entfernung zwischen  $C$  beziehungsweise  $C^1$  und Erde wesentlich geringer ist, als die Entfernung zwischen  $C$  und  $C^1$ . Betrachtet man den Stromkreis  $E, J, B, M, J, C, C^1, T, B^1, E^1, E$ , in welchem eine veränderliche  $E.M.K$  durch die Schwingungen von  $M$  erzeugt wird, so zeigen sich figürlich zwei Stromwege. Der eine beginnt bei  $B$ , geht über den Übertrager  $M$  durch die eine Spule von  $J$  zu  $C$  zur Erde und von da über die zweite Spule von  $J$  zu  $B$  zurück. Der zweite Stromkreis verläuft, gleichfalls von  $B$  ausgehend, über  $M$ , erste Spule von  $J, C, C^1, T, B^1, E^1, E$  durch die zweite Spule von  $J$  zu  $B$  zurück. Dieser letztere Stromkreis dient zur Übertragung der im Sender  $M$  hervorgerufenen Zeichen nach dem Empfänger  $T$ . Ist nun der Widerstand, die Selbstinduktion und die Kapazität eines jeden dieser Stromwege, ferner der Betrag der Ausgabe am  $E.M.K$  durch die Batterie und die Variation im Widerstande von  $M$  bekannt, so kann die Stromstärke in jedem dieser Stromkreise berechnet werden. Es ergibt sich aber sofort, daß nur ein ganz geringer Teil des im Lokalstromkreise  $B, C, E, B$  zirkulierenden Stromes zur Wirkung gelangen kann. Die mit  $B$  in Serie verbundene Batterie  $B^1$  erhöht die gesamte  $E.M.K$  in dem gesamten Stromkreise und wird sohin ein Wechsel im Widerstande  $M$ , den Strom, welcher durch  $T$  geht, verstärken.

Die Methode von Edison zur Vermittelung von Nachrichten auf größere Entfernungen. Fig. 26 stellt die von Edison vorgeschlagene Anordnung dar. Die beiden Kapazitätsflächen  $C, C^1$  sind hier in beträchtlicher Höhe über dem Bodenniveau befestigt und durch Drähte mit den Empfängern und der Sekundärwicklung der Induktionsspule in Verbindung gebracht. Als Empfangsapparat wird das bereits beschriebene Elektromotograph-Telephon verwendet. An Stelle dieses in der Fig. 25 mit  $R$  beziehungsweise  $R^1$  bezeichneten Empfängers, kann jeder auf Wechselströme ansprechende Empfangsapparat angewendet werden. Ein rotierender Stromunterbrecher  $U$ , beziehungsweise  $U^1$ , welcher normal durch den Taster  $T$ , beziehungsweise  $T^1$  kurz geschlossen ist, steht in Verbindung mit der Primärspule des Induktoriums. Wird der

Taster niedergedrückt, so entsteht in der Primärspule eine Reihe rasch aufeinander folgender Stromimpulse, und werden dementsprechend korrespondierende Wechselströme in der Sekundärspule hervorgerufen, die sich auf den Flächen des erhöhten Kondensators ausbreiten, sohin den Kondensator laden, entladen, im entgegengesetzten Sinne laden u. s. f. Diese elektrostatischen Impulse werden nun auf dem Wege der statischen Induktion auf den Kondensator des Objectes, mit welchem man sprechen will, über-

Fig. 25.

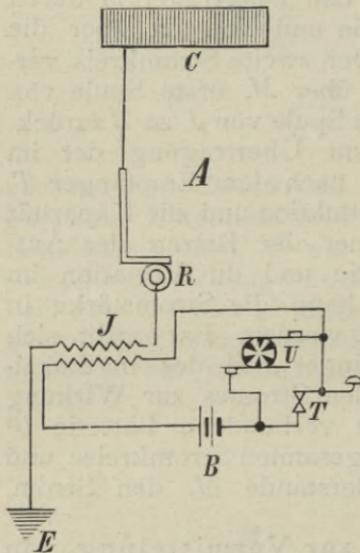
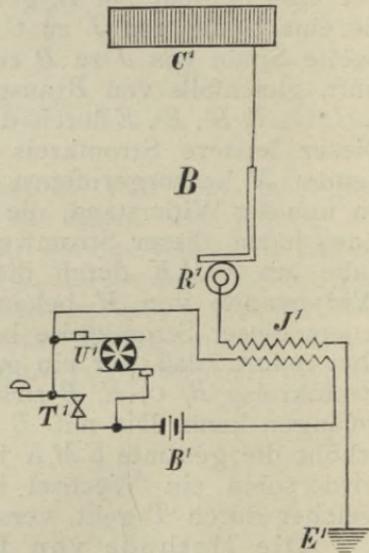


Fig. 26.

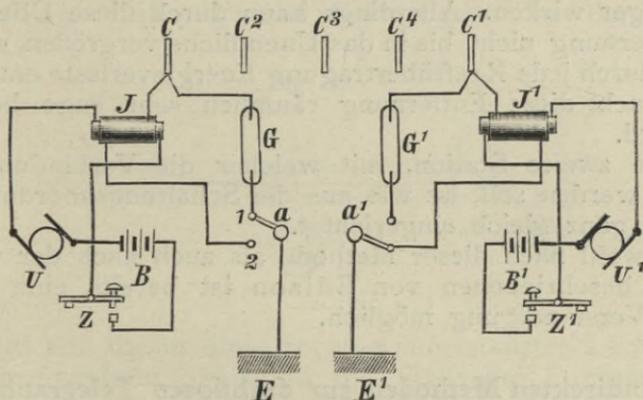


tragen, und machen sich in dem Empfänger bemerkbar. Die zwischen den beiden Kondensatorplatten liegende Luft bildet das Dielektrikum des so entstandenen Kondensators und haben wir sohin hier wieder den Fall eines Stromkreises, welcher Widerstand, Selbstinduktion und Kapazität in Serie enthält, und bei welchem der Wechselstrom durch eine Reihe von Impulsen relativ niedriger Frequenz erzeugt wird. Es sei hierbei darauf hingewiesen, daß Edison einer der ersten war, welcher die Vorteile der Erhöhung des Kondensators erkannt hat und bereits in seinem Patente auf die Notwendigkeit aufmerksam machte, für die Telegraphie über Land die Kondensatorflächen so hoch anzubringen, daß die absorbierenden Ein-

flüsse von Häusern, Bäumen und Terrainerhebungen auf das geringste erreichbare Maß herabgedrückt werden.

Die Methode von Kitsee. Die allgemeine Anordnung dieser auf elektrostatischer Induktionswirkung beruhenden Methode zur drahtlosen Telegraphie ist in vielen Beziehungen der vorherbeschriebenen Anordnung von Edison ähnlich. Kitsee verwendet jedoch als Empfangsinstrument eine Geisslersche oder Vakuumröhre, durch welche bei Schließen des Tasters und hierdurch bedingtes Entsenden eines Stromes seitens der Gebestation in der Empfangsstation eine Reihe von Entladungen hindurchgeht. Diese Entladungen versetzen, solange

Fig. 27.



der Taster niedergedrückt bleibt, die Röhre in kontinuierliches Glühen. Dies gestattet wieder die Anwendung eines Linien- und Punktsystems für die Telegraphie und gewährt noch weiters den Vorteil, durch das leicht wahrnehmbare Leuchten dieser Röhre in auffallender Weise darauf aufmerksam zu machen, daß eine Verständigung gewünscht wird. Fig. 27 bringt diese auf Grund des Vorhergehenden ohne weiteres verständliche Anordnung zur Anschauung.  $J$  bezeichnet den Induktor, dessen Primärwindung mit dem Taster  $Z$  der Batterie  $B$  und einem Unterbrecher  $U$  in Verbindung steht. Die Stromverbindung ist hier normal, d. h. im Ruhezustande durch den Taster  $Z$  unterbrochen und wird der Stromkreis erst bei Niederdrücken des Tasters geschlossen, so daß hier im Gegensatze zu den vorhin beschriebenen Methoden ein Arbeitsstromsystem vorliegt. Die Sekundär-

spule des Induktoriums ist einerseits mit der Geisslerschen Röhre  $G$  und in Abzweigung mit dem Punkt 2 des Umschalters  $a$ , anderseits mit dem Kondensator  $C$  verbunden. Von der Vakuumröhre geht der Draht zum Punkt 1 des Umschalters und von da weiter über den Umschalter von dessen Drehpunkt zur Erde. Steht der Umschalter auf 1, so ist die Einrichtung zum Empfange, bei Stellen auf Punkt 2 zum Geben einer Depesche bereit, für welchen Fall die Röhre ausgeschaltet wird. Zur Vergrößerung der Entfernungen, über welche eine Nachricht vermittelt werden soll, können, wie dies durch  $C^2$ ,  $C^3$  und  $C^4$  angedeutet ist, zwischen die Platten  $C$ ,  $C^1$  gleichartige Platten, jedoch ohne jedwede leitende Verbindung, eingelegt werden, die in diesem Falle als statische Übertrager wirken. Allerdings kann durch diese Übertrager die Entfernung nicht bis in das Unendliche vergrößert werden, weil ja durch jede Kraftübertragung Energieverluste entstehen, sohin auch diese Entfernung räumlich sehr enge begrenzt sein wird.

Die zweite Station, mit welcher die Verbindung hergestellt werden soll, ist wie aus der Schaltungsanordnung zu ersehen, ganz gleich eingerichtet.

Sowohl nach dieser Methode als auch nach der vorhergehend beschriebenen von Edison ist bereits eine gegenseitige Verständigung möglich.

### 3. Die indirekten Methoden zur drahtlosen Telegraphie und Telephonie.

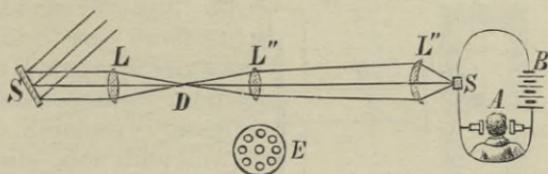
Die Radiophonie. Die bemerkenswerten Untersuchungen von Willoughby Smith über das Verhalten des Seleniums unter der Einwirkung von Lichtstrahlen veranlaßten den Erfinder des Telephons, Graham Bell, die hierdurch bekannt gewordene Erscheinung, daß Selenium unter der Einwirkung des Lichtes elektrisch leitend wird, mit Hilfe des Telephons eingehender zu studieren. Im Sommer des Jahres 1878 war er diesbezüglich schon in der Lage nachzuweisen, daß dieses Anwachsen der Leitungsfähigkeit des Seleniums proportional der Lichtstärke ist und daß man diesen Wechsel der Leitungsfähigkeit bei geeigneter Anordnung des Empfängers unter der Voraussetzung, daß die Belichtung eine intermittierende ist, an einem Telephon abhören kann. Diese Versuche durch längere Zeit im Vereine mit Sumner Tainter durchgeführt, gaben, nachdem es dem letzteren gelungen war,

das Selenium für die erwähnte Einwirkung noch viel empfindlicher zu machen, zu der Konstruktion von Apparaten Anlaß, die eine Nachrichtenvermittlung auf diesem Wege ermöglichten und welche vorerst von dem Erfinder mit dem Namen Photophon, späterhin aber mit Radiophon belegt wurde.

Da sich diese physikalisch äußerst interessanten Apparate keiner praktischen Anwendung zu erfreuen vermochten, sei hier nur das Grundprinzip derselben vorgeführt.

Die von irgend einer Lichtquelle kommenden Lichtstrahlen werden auf einen Spiegel  $S$  (Fig. 28) geworfen, von demselben in horizontaler Richtung reflektiert, sodann durch die Linse  $L$  im Punkte  $D$  gesammelt, sodann weiter durch die Linsen  $L'$  und  $L''$  zur Selenzelle  $s$  geleitet. An dem Sammelpunkte  $D$  wurde eine Scheibe  $E$  (hier gesondert dargestellt)

Fig. 28.

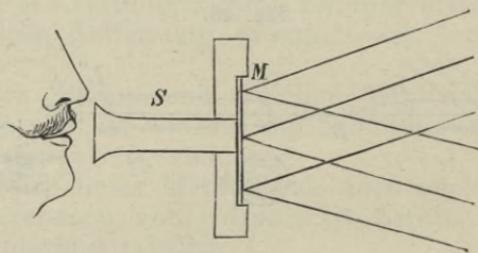


so situiert, daß die in diese Scheibe eingestanzten Löcher mit ihren Mittelpunkten genau an die Stelle des Punktes  $D$  zu liegen kommen. Diese Scheibe wurde nun in eine sehr rasche Rotation gebracht, so daß die konzentrierten Lichtstrahlen in rascher Aufeinanderfolge entweder durch eine dieser Öffnungen hindurch gehen konnten oder durch das zwischenliegende Stück der Metallscheibe hieran gehindert wurden. Die Lichtstrahlen trafen nun die Selenzelle  $s$  in abwechselnden Intervallen, so daß dieselbe einmal belichtet, den folgenden Augenblick hingegen nicht belichtet wurde. Da die Leitungsfähigkeit dieser Zelle unter dem Einflusse der Belichtung anstieg, hingegen während der folgenden Verdunkelung abnahm und dieser Wechsel in kurzen Intervallen stattfand, so mußte dieser Wechsel der Leitungsfähigkeit an einem Telephon wahrgenommen werden können, wenn diese Zelle in einen Telephonstromkreis mit einem galvanischen Elemente in Verbindung eingeschaltet wurde. Tatsächlich gab sich dieses abwechselnde Nachlassen und Ansteigen des Leitungswiderstandes der Selenzelle und somit auch des gesamten Stromkreises durch einen

mittels der Telephone wahrnehmbaren musikalischen Ton kund. Um auf diese Weise Nachrichten vermitteln zu können, war es nur nötig, den Lichtstrahl durch eine, einem Morsetaster ähnliche Vorrichtung aus- und einschalten zu können, so daß aus den Intervallen zwischen erregtem, daher singendem und nicht erregtem oder stummen Telephon die Zeichen genau abzulesen waren.

Um eine direkte telephonische Übertragung zu ermöglichen, wurde die aus Fig. 29 ersichtliche Anordnung geschaffen. Durch die Sprachröhre *S* wurde die Membrane *M* zum Mitschwingen angeregt. Diese Membrane bestand aus einer Glimmerplatte, welche an der Vorderseite glänzend versilbert war. Auf diese Membrane fielen nun die Lichtstrahlen

Fig. 29.



direkt auf und wurden von derselben reflektiert und wie vorhin zur Selenzelle geleitet. Die beim Hineinsprechen in die Schallröhre bewirkten Erschütterungen der Membrane bedingten nun auch eine Ablenkung der reflektierten Lichtstrahlen, welche nun unter verschiedenem Winkel auf die Selenzelle einfelen und je nach deren Neigung eine Vermehrung oder Verringerung der Leitungsfähigkeit derselben bewirkten. So geringfügig auch diese Änderungen naturgemäß sein konnten, so reichten sie dennoch hin, um eine anstandslose Verständigung zu ermöglichen.

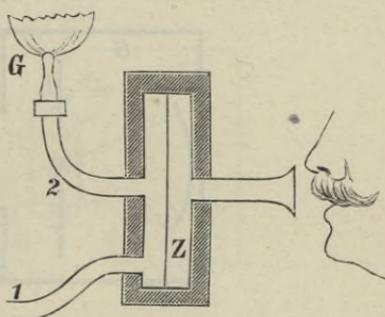
Eine andere Art der direkten telephonischen Übertragung, eine direkte Schwankung der Lichtintensitäten hervorzurufen, ist in Fig. 30 zur Ansicht gebracht und erklärt sich von selbst. Das von 1 zuströmende Gas wird vorerst in den durch eine elastische Zwischenwand geteilten Kasten geleitet, ehe es durch 2 zum Brenner gelangt. Die beim Hineinsprechen in dem Kasten auftretenden Druckschwankungen werden auf die Gasflamme *G* übertragen, und diese wird in ihrer Licht-

intensität diesen Schwankungen folgen. Daß sich diese Methode keiner praktischen Anwendung erfreuen konnte, liegt nicht nur in der Subtilität der Einrichtung, sondern auch darin begründet, daß die Übertragung auf weite Entfernung schon aus dem Grunde nicht möglich ist, weil die Lichtwellen in einer nebeligen oder staubigen Atmosphäre sehr stark absorbiert werden, sohin an ihrer Wirksamkeit mit zunehmender Entfernung verlieren.

Die lichtelektrische Telegraphie von Professor Karl Zickler. Die Möglichkeit, Licht von einer kräftigen Lichtquelle nur nach einer bestimmten Richtung des Raumes aussenden zu können, und so eine große Tragweite zu erzielen, wie solche bei den Scheinwerfern unter Verwendung elektrischen Lichtes zur Evidenz nachgewiesen ist, führten Zickler zur Idee, dieses Licht zu einer Art drahtlosen Telegraphie zu verwenden, ohne daß es möglich wird, die Zeichen von einer anderen als der hierfür bestimmten Stelle ablesen zu können, was, wie bekannt, weder mit Heliographen noch mit der drahtlosen Telegraphie von Marconi bisher möglich war. Er benützt hierzu die von Hertz zuerst im Jahre 1887 nachgewiesene Tatsache, daß Lichtstrahlen von geringer Wellenlänge, insbesondere ultraviolette Strahlen, die Eigenschaft besitzen, elektrische Entladungen auszulösen. Zieht man beispielsweise die kugelförmigen Elektroden eines im Gange befindlichen Induktatoriums so weit auseinander, daß die an denselben herrschende Spannungsdifferenz nicht mehr ausreicht, um die Luftstrecke zu überwinden und läßt hierauf, auf die Funkenstrecke und die Elektroden ultraviolettes Licht fallen, so tritt die Funkenentladung infolge der lichtelektrischen Wirkung sofort wieder ein.

Es werden zu diesem Zwecke von einem in der Sendestation befindlichen elektrischen Bogenlichte, welches bekanntlich sehr reich an ultravioletten Strahlen ist, die telegraphischen Zeichen in der Richtung der Empfangsstation ausgesendet, welche in der letzteren in denselben Intervallen elektrische

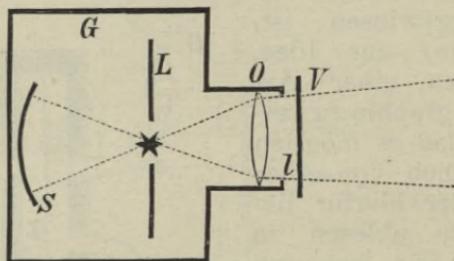
Fig. 30.



Funken auslösen. Die von den Funken wiedergegebenen Zeichen können dann leicht durch die in dem Raume entstehenden, allerdings schwachen elektrischen Wellen, unter Vermittlung eines Kohärers oder durch die Funkenströme direkt auf eine elektrische Klingel, ein Telephon oder einen Morseapparat übertragen werden.

Dadurch, daß ein Lichtbogen von großer Lichtintensität eine ziemlich weittragende Wirkung besitzt, ist die räumliche Entfernung, auf welche hin noch telegraphiert werden kann, nicht so eng begrenzt. Die unsichtbaren ultravioletten Strahlen gewähren andererseits wieder die Möglichkeit der Geheimhaltung der Zeichen in dem ausgesendeten Strahlenkegel.

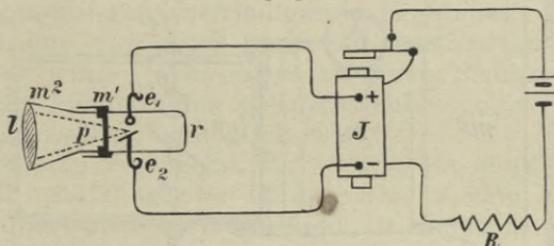
Fig. 31.



Die für die Durchführung dieser Art der drahtlosen Telegraphie erforderlichen Apparate sind in den Fig. 31—33 dargestellt. An der Sendestation befindet sich der strahlen-erzeugende Apparat (Fig. 31) in Form eines entsprechend stark gewählten elektrischen Lichtbogens  $L$ , welcher nach der Art der Scheinwerfer in einem, in horizontaler und vertikaler Richtung drehbaren Gehäuse eingeschlossen ist. Das Bogenlicht ist hierbei entweder durch die Hand oder einen entsprechenden Mechanismus so zu regulieren, daß der Lichtbogen stets genau an derselben Stelle bleibt. Die Lichtstrahlen treten aus der Öffnung  $O$  des Gehäuses aus und werden durch entsprechende Einstellung derselben in der Richtung der Empfangsstation ausgesendet. Um möglichst viele Strahlen in dieser Richtung auszusenden, ist bei größeren Entfernungen die Anwendung von Hohlspiegeln  $S$  und Linsen  $l$  oder beider in Kombination, wie dies die Fig. 31 andeutet, notwendig. Die Linsen müssen in diesem Falle jedoch aus Bergkristall hergestellt sein, da bekanntlich Glas die hier einzig wirksamen

ultravioletten Strahlen absorbiert. Der Verschuß der Ausstrahlungsöffnung geschieht durch eine oder mehrere entsprechend angebrachte Glasplatten  $V$ , die am besten auf pneumatischem Wege vor die Öffnung geschoben, beziehungsweise von derselben entfernt werden. Ist der Lichtbogen hergestellt, so treten die Strahlen auch bei durch Glas verschlossener Öffnung ins Freie, da die sichtbaren Strahlen das Glas ohne weiteres durchdringen. Nur die ultravioletten Strahlen werden absorbiert und können daher nicht zur Wirksamkeit gelangen. Erst durch Entfernung dieser Platten wird den erwähnten Strahlen der freie Austritt ermöglicht und können dieselben sohin, wenn selbe den Empfangsapparat treffen, ihre auslösende Wirkung zur Geltung bringen. Dies hat unter

Fig. 32.

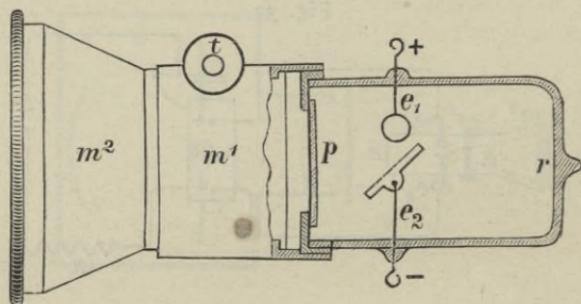


allen Umständen den großen Vorteil, daß von außen nicht beobachtet werden kann, ob telegraphiert wird oder nicht. Durch kürzeres oder längeres Offenlassen dieses Verschlusses können die ultravioletten Strahlen entsprechend den Strichen oder Punkten des Morsealphabetes ausgesendet werden. Nach dem Vorhergehenden dürfte es keine Schwierigkeiten bereiten, auch die bestehenden Scheinwerfer so umzuändern, daß sie gleichzeitig mit zur Telegraphie verwendet werden können.

Auf der Empfangsstation befindet sich der in Fig. 32 und 33 dargestellte Strahlenempfänger. Derselbe besteht aus einem Glasgefäße  $r$ , welches an der Vorderseite mit einer planparallelen Quarzplatte  $p$  luftdicht abgeschlossen ist. In dieses Glasgefäß ist an zwei gegenüberliegenden Punkten je eine Elektrode  $e_1$  und  $e_2$  eingeschmolzen. Die eine dieser Elektroden  $e_1$  ist kugelförmig und hat die Kugel einen Durchmesser von nur wenigen Millimetern. Die andere Elektrode  $e_2$  bildet eine kleine kreisförmige Scheibe, deren Ebene so gegen die Achse des Gefäßes geneigt ist, daß ein durch das Quarz-

fenster eintretender Lichtstrahl leicht von ihr getroffen wird. Beide Elektroden sind mit Platinblech belegt und zirka 10 mm voneinander entfernt. Die Luft in diesem Glasgefäße wird entsprechend verdünnt, um die Auslösung der Funken zu erleichtern. An das Glasgefäß schließt sich nach vorne ein Metallrohr  $m^1$  an, mit welchem ein zweites trichterförmiges, vorne mit einer Quarzlinse  $l$  verschlossenes Rohr  $m^2$  in Verbindung steht und welches durch einen Schraubtrieb  $t$  verschiebbar ist, um durch Verstellung der Linse die von der Sendestation kommenden Strahlen zu einem schwachen kleinen ovalen Lichtfleck konzentrieren zu können. Die Elektroden stehen mit der Sekundärwicklung eines kleinen Induktoriums  $J$

Fig. 33.



derart in leitender Verbindung, daß die kugelförmige Elektrode  $e_1$  Anode und die scheibenförmige  $e_2$  Kathode wird. In dem Primärkreise dieses Induktoriums befindet sich ein Regulierwiderstand  $R$ , der eine allmähliche Änderung der Stärke des Primärstromes zuläßt. Für die Aufnahme eines Telegrammes befindet sich das kleine Induktorium, welches nur eine Funkenlänge von 1—2 cm zu haben braucht, im Gange und ist dabei die Einstellung am Regulierwiderstand so gewählt, daß die Spannung an den Elektroden noch nicht hinreicht, die Funkenstrecke zu überwinden. Sobald jedoch diese Funkenstrecke von den ultravioletten Strahlen des elektrischen Lichtes getroffen wird, lösen sich die Funken aus und kann schon die Aufnahme der Mitteilung durch bloße Beobachtung der Funken abgelesen werden. Soll die Aufnahme hörbar gemacht werden, so genügt hierzu schon die einfache Einschaltung eines Telephons in den Funkenstromkreis. Will man aber schriftliche Aufzeichnungen er-

halten, so wird in unmittelbarer Nähe der Funkenstrecke ein Kohärer oder eine Frittröhre, wie solcher auch bezeichnet wird, angebracht, welcher durch die bei Funkenauslösung entstehenden elektrischen Wellen leitend wird und in der bei den Wellenmethoden noch näher zu beschreibenden Weise ein Relais zum Ansprechen bringt, welches wieder den Schreibapparat in Wirksamkeit versetzt. Selbstredend muß auch, da die Frittröhre ihre Leitungsfähigkeit nach erfolgter Einwirkung der elektrischen Wellen beibehält, ein Klopfer mit in Verbindung gebracht werden, der deren Leitungsfähigkeit durch Erschütterung des Metallfeillichtes wieder aufhebt. Auch diesbezüglich muß auf die nachfolgenden Erklärungen bei der Wellentelegraphie verwiesen werden.

Die mit dieser Einrichtung durchgeführten Vorversuche, welche mit den einfachsten Mitteln bewerkstelligt wurden, ergaben insoferne ganz befriedigende Ergebnisse, als bis zu einer Entfernung von 200 *m* noch eine anstandslose Verständigung erzielt wurde, wiewohl es an einem Reflektor für die ausgesendeten Lichtstrahlen gänzlich fehlte, sohin eine Konzentrierung derselben unmöglich war.

Bei späteren Versuchen, für welche ein metallischer Parabolspiegel benützt wurde, konnte bereits eine Entfernung von 1,3 *km* überwunden werden und ist hierzu zu bemerken, daß die Versuche bei Tage durchgeführt wurden. Diese Versuche lassen darauf schließen, daß mit besseren Einrichtungen diese Entfernung noch um ein vielfaches erweitert werden kann und sich sohin für diese Art der drahtlosen Telegraphie viele Fälle der praktischen Verwertung finden lassen werden. Wenn auch eine direkte Konkurrenz mit der von Marconi inaugurierten Wellentelegraphie nicht zu erwarten steht, so sind doch viele Fälle denkbar, wo sich diese Art der Telegraphie für die erfordernten speziellen Zwecke der ersteren gegenüber als überlegen erweist.

Als ein Nachteil dieser Art der drahtlosen Telegraphie dürfte jedoch die Tatsache zu bezeichnen sein, daß die violetten und ultravioletten Strahlen, welche die Leitungsfähigkeit der Materien, welche selbe bestrahlen, beeinflussen infolge der Kürze ihrer Wellen vom Staube, von Wasserdämpfen oder von den Gasen der atmosphärischen Luft stark absorbiert werden, so daß die Wirksamkeit derselben bei nebeligem Wetter oder bei stauberfüllter Luft stark beeinträchtigt wird, und sohin die Entfernungen der Sende- und Empfangsstationen diesen Verhältnissen angepaßt werden müßten.

Vorschläge zur drahtlosen Telegraphie mittels dunkler Wärmewellen. Da die dunklen Wärmewellen, wie-wohl selbe viel kürzer sind als die Hertz'schen Wellen, gleich-falls die Eigenschaft besitzen, eine mit Wasserdämpfen und Staub durchsetzte Atmosphäre zu durchdringen, ohne einer wesentlichen Absorption zu unterliegen, so war es nur natür-lich, daß Vorschläge zu deren Benützung für die Zwecke der drahtlosen Telegraphie erstattet wurden. Der erste, welcher die Aufmerksamkeit auf diesen wichtigen Punkt lenkte, war bereits Steinheil. Derselbe gab hiebei (1839) auch schon die Wege bekannt, auf welchen dieses Ziel zu er-reichen wäre.

Der eingehendste Vorschlag in dieser Richtung ist jedoch Albert Nodon zu danken. Derselbe schlägt hierbei vor, als Empfänger eine empfindliche Thermosäule oder ein Bolometer, etwa nach dem Langley'schen Prinzip aufgebaut, zu benützen. Die Änderung der Temperaturen in dieser Thermo-säule oder dem Bolometer lassen sich nun entsprechend aus-nützen, um die erhaltenen Zeichen auf ein registrierendes Empfangsinstrument zu übertragen. Diese beiden Apparate, welche sehr empfindlich gestaltet werden können, spielen in diesem Falle die Rolle des Relais.

Der Geber als solcher setzt sich nach Nodon zusammen aus einer möglichst intensiven Quelle zur Erzeugung dunkler Wärmestrahlen, wie beispielsweise einer Kokspfanne, einem im Hintergrunde derselben postierten metallischen Parabol-spiegel, um die Wärmestrahlen parallel zu entsenden, und einem Unterbrechungsschirme vor der Wärmequelle, welch letzterer, indem er den Wärmestrahlen abwechselnd den Durch-gang gestattet oder verbietet, die Stelle des Telegraphen-tasters oder Zeichengebers vertritt.

Da bisher derartige Versuche mit den Wärmestrahlen nicht durchgeführt wurden, empfiehlt derselbe dringend die Anbahnung von solchen, weil hierdurch ein außerordentlich einfaches Mittel von großer Wichtigkeit für die Durchführung der Telegraphie ohne Draht gegeben sein würde.

---

## II. ABSCHNITT.

## Die Wellentelegraphie.

## A. Einleitung.

Die eigentliche Grundlage für die Entwicklung der drahtlosen Telegraphie wurde von Clerk-Maxwell geschaffen, welcher in seiner auf mathematischer Grundlage entwickelten scharfsinnigen elektromagnetischen Theorie des Lichtes bereits im Jahre 1867 den Wahrscheinlichkeitsbeweis für die physikalische Gleichartigkeit von Licht und Elektrizität erbrachte. Diesen von Maxwell aufgestellten Hypothesen fehlte jedoch die experimentelle Beglaubigung und konnte daher, solange nicht der positive Beweis hierfür durch die Gleichartigkeit der Erscheinungen erbracht war, eben nur als ein hochinteressanter Beitrag zur Lösung eines bisher noch verschleierten Problemles betrachtet werden.

Es währte aber nicht allzulange, bis es dem genialen Forscher Hertz 1886 gelang, den positiven Nachweis zu erbringen, daß die Elektrizität im Raume den ganz gleichen Gesetzen wie das Licht unterliegt, wodurch die Vorausannahme des genialen Engländers, welche sich allerdings auf positive Tatsachen stütze, in glänzender Weise bestätigt wurde.

Die epochemachenden Versuche von Hertz, in welchen er die Möglichkeit nachwies, unter ganz bestimmten Voraussetzungen elektrische Wellen zu erzeugen, die sich im Raume also im Dielektrikum mit der Geschwindigkeit des Lichtes fortpflanzen, bilden die Grundlage für die drahtlose Wellentelegraphie. Aber von diesen ursprünglichen Versuchen bis zur praktischen Ermöglichung einer derartigen Telegraphie war noch ein sehr weiter Schritt, weil noch eines der wichtigsten Bindeglieder, nämlich der auf die Einwirkung derartiger Wellen hinreichend empfindliche Empfänger, das elektrische Auge, wie sich Slaby so trefflich ausdrückt, fehlte. Allerdings hatte Hertz mit seinem Resonator bereits eine Empfangsvorrichtung geschaffen, mit welcher er den positiven Nachweis der Richtigkeit der Maxwellschen Gesetze über die Fortpflanzung der elektrischen Wellen im Raume und längs gespannter Drähte zu liefern vermochte. Derselbe war jedoch viel zu unempfindlich, um auf größere Entfernungen noch wirksam zu sein. Hertz selbst äußerte sich über eine Anfrage, ob seine Entdeckungen die Grundlage einer draht-

losen Telegraphie oder Telephonie zu bilden vermögen, sehr skeptisch und bezweifelte, daß auf diesem Wege überhaupt eine Energieübertragung auf größere Entfernungen zu erreichen sein wird.

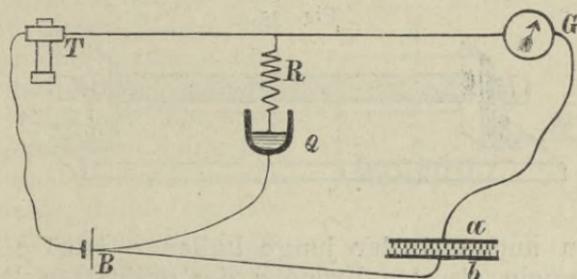
Und trotzdem waren die Grundlagen für einen äußerst empfindlichen Empfänger bereits gegeben, indem bereits im Jahre 1866 S. A. Varley nachwies, daß lose Massen von feingepulverten Leitern elektrischen Strömen geringer Spannung einen großen Widerstand entgegenseetzen, während selbe unter Einwirkung höherer Spannungen leitend werden, indem sich die Partikelchen durch elektrische Anziehung enge aneinander reihen und so einen guten Kontakt geben, hierdurch eine Art Kanal oder Brücke bilden, über welche der elektrische Strom frei passieren kann. Er wies ferner nach, daß bei steigender Spannung der Strom selbst eine ziemlich lange Strecke von Staub, wie solcher in den Zimmern gesammelt wird, und welcher zum größten Teile aus silizium- und aluminiumhaltigen Verbindungen, gemischt mit Kohlenstoff und organischen Substanzen besteht, leitend machen kann.

Auf Grund dieser Beobachtungen schuf er einen Blitzableiter, bei welchem zwei Metallspitzen in ein Gefäß eingesetzt wurden, welches aus einem Gemenge von einem leitenden und einem nicht leitenden Körper bestand und feingepulvert war. Die beiden Spitzen waren so nahe als möglich aneinander gerückt, ohne sich jedoch zu berühren, und die eine mit der Luft, die andere mit der Erdleitung in Verbindung. Von diesen Blitzschutzvorrichtungen sind dermalen noch über 1000 in England im Betriebe und es soll sich nicht ein einziger Fall ereignet haben, daß eine der von selbst geschützten Apparatspulen abgeschmolzen wurde. In nur drei Fällen wurde durch diese Vorrichtung ein Erdschluß hergestellt, indem nach Aufhören der Einwirkung einer Entladung, die beiden Spitzen leitend miteinander in Verbindung blieben, was darauf zurückzuführen war, daß eine viel größere Menge des leitenden Materiales, welches aus Kohle bestand, zur Mischung verwendet wurde, als dies späterhin der Fall war. In allen diesen drei Fällen genügte eine leichte Erschütterung des Gefäßes, um den nichtleitenden Zustand sofort wieder herzustellen. Es erscheint sohin mit dieser Einrichtung eigentlich der Kohärer in allen seinen wesentlichen Bestandteilen bereits geschaffen.

Diese Beobachtungen blieben jedoch ebenso unbeachtet wie die Forschungen des italienischen Professors Calzecchi-

Onesti, welcher in den Jahren 1884 und 1885 nachwies, daß Kupferfeilspäne zwischen zwei Messingplatten lose angehäuft unter der Bedingung, daß diese Anhäufung keine allzu-große ist, normal als Nichtleiter der Elektrizität zu betrachten sind, daß dieselben aber unter dem Einflusse von Induktionsströmen zu Leitern werden. Fig. 34 stellt die von Onesti bei seinen Versuchen benützte Anordnung dar. In den Stromkreis der kleinen Batterie  $B$  sind das Telephon  $T$ , das Galvanometer  $G$  und die beiden Messingplatten  $a$ ,  $b$ , zwischen welchen sich die Kupferfeilspäne befinden, geschaltet. Im Nebenschluß hierzu befindet sich das Quecksilberschälchen  $Q$  und der Draht  $R$ , wobei jedoch der Nebenschluß erst durch Eintauchen von  $R$  in  $Q$  hergestellt wird. Normal zeigt das

Fig. 34.



Galvanometer  $G$ , wenn der Stromkreis über  $T$ ,  $G$ ,  $a$  und  $b$  geschlossen ist, nur einen kaum merklichen Ausschlag. Sobald jedoch der Nebenschluß über  $R$  rasch geschlossen und unmittelbar wieder geöffnet wird, so gibt sich dies durch ein lautes Knacken im Telephon zu erkennen und das Galvanometer zeigt einen kräftigen Ausschlag, der nur von der, durch den hierbei im Telephon entstandenen Induktionsstrom bewirkten Erhöhung der Leitungsfähigkeit des Kupferfeillichtes herrühren konnte. Die Ergebnisse dieser Versuche wurden im »Nuovo Cimento« 1884 beschrieben.

Erst im Jahre 1890 wurden die den gleichen Gegenstand betreffenden Untersuchungen des Professors der katholischen Universität in Paris, Eduard Branly, entsprechend gewürdigt. Nach den diesbezüglichen Veröffentlichungen in »La Lumière Électrique« hat Branly nicht nur die von Calzecchi-Onesti gemachten Wahrnehmungen bestätigt, sondern auch ergänzt und insbesondere nachgewiesen, daß die durch elektrische

Entladungen hervorgerufene erhöhte Leitungsfähigkeit von lose gelagerten Metallfeilspänen sofort durch Schütteln derselben beseitigt werden kann. In Fig. 35 ist der Branly'sche Wellenanzeiger in der Form, wie selber von Professor Lodge ausgeführt wurde, dargestellt. Er besteht aus einer Ebonit- oder Glasröhre von ungefähr 18 *cm* Länge und 0,5 *cm* Durchmesser, welche an ihren beiden Enden mit je einem in das Innere der Röhre reichenden Kupferpistone ausgerüstet war, durch welche der Druck auf die in das Röhrrchen eingefüllten Feilspäne nach Bedarf reguliert werden konnte. Um die Feilspäne in ihren normalen, nicht leitenden Zustand zurückzubringen, wendete Lodge einen mechanischen Klopfer an, welcher entweder durch ein Uhrwerk oder einen vibrierenden elektrischen Mechanismus betätigt wurde.

Fig. 35.



Wenn nun auch der junge Italiener Guglielmo Marconi allgemein als der Erfinder der drahtlosen Wellentelegraphie angesehen wird, so ist dies insofern nicht ganz zutreffend, als bereits eine Reihe von Vorgängern nicht nur auf die Möglichkeit einer Wellentelegraphie hingewiesen haben, sondern dieselben bereits in praktischen Versuchen betätigten.

Hierdurch sollen die Verdienste Marconis in keiner Weise geschmälert werden, da er für sich das hervorragende Verdienst in Anspruch nehmen kann, einen tatsächlichen praktischen Erfolg erzielt zu haben und der Erfolg als solcher ihm den hervorragendsten Platz unter den Erfindern sichert.

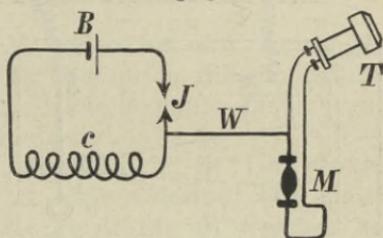
Als einer der ersten oder der erste, der bei seinen Versuchen zu einem praktischen Ergebnisse auf dem Gebiete der Wellentelegraphie gelangte, ist der durch seine hervorragenden Arbeiten auf elektrotechnischem Gebiete rühmlichst bekannte Professor D. E. Hughes zu bezeichnen. Dessen Versuche begannen bereits zu einer Zeit, zu welcher der Nachweis der Wellenbewegung der Elektrizität durch Hertz noch nicht erbracht ward.

Die ersten dieser Versuche datieren bereits aus dem Jahre 1877 und wurden bis zu dem Jahre 1886 fortgesetzt, jedoch nach dieser Zeit aus Gründen, deren späterhin noch gedacht werden soll, wieder aufgegeben. Es dürfte da Hughes trotz des großen Zeitintervalles als der unmittelbare Vorgänger Marconis zu betrachten ist, indem er bereits zu dieser Zeit alle Grundlagen für die Wellentelegraphie geschaffen und auch das Kohärerprinzip klargelegt hat, eine Vorführung dieser erst im Jahre 1899 veröffentlichten Versuche wohl am Platze sein, wobei den Ausführungen von J. Munroe auszugsweise gefolgt werden soll.

Als Hughes im Jahre 1877 seine Induktionswage ausarbeitete, wurde er durch eine zufällige Beobachtung dazu angeregt, Versuche durchzuführen, um die drahtlose Telegraphie zu ermöglichen. Bei seinen diesbezüglichen Arbeiten mit dieser Wage, bei welchen er eine Batterie und einen Unterbrecher mit der primären und ein Telefon mit der sekundären Spule des Induktors verband, wurde er einigemale durch ein Geräusch in dem Telephone gestört, so daß es ihm unmöglich war, einen Ausgleich zu erhalten. Als Ursache dieser Störung fand er eine lose Verbindung in dem Drahte der Sekundärspule. Er setzte nun ein Mikrophon zwischen diese Verbindung ein und konnte nun gleichfalls diese konstante Störung im Telephone konstatieren. Augenscheinlich wurde diese Erscheinung nicht durch die Induktion in der Sekundärspule, welche er durch geeignete Adjustierung zu unterdrücken vermochte, sondern durch den am Unterbrecher entstehenden Funken hervorgerufen. Da ihm diese Erscheinung neu war, begann er diesbezüglich in der bei ihm bekannten Weise mit den einfachsten selbstgefertigten Hilfsmitteln Untersuchungen anzustellen, welche bis in das Jahr 1886 fortgeführt wurden. Einige dieser Versuche sollen hier zur Darstellung gelangen.

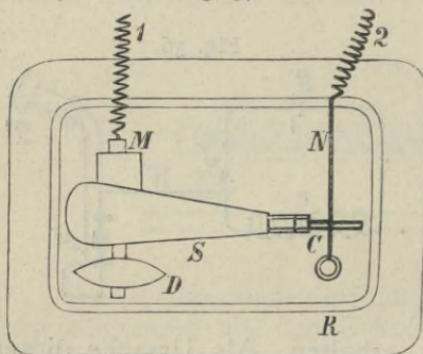
Zu Beginn verband er eine Batterie *B* mit einem Klingelwerkunterbrecher *J* und der Primärspule seiner Induktionswage. Der Unterbrecher selbst wurde (Fig. 36) durch einen mehrere Meter langen Draht mit dem Telephone *T* und dieses wieder mit dem Mikrophone *M* in einen Stromkreise verbunden.

Fig. 36.



Jedes Auftreten eines Funkens am Unterbrecher konnte im Telephone deutlich gehört werden. Das Geräusch im Telephone war besser zu hören, wenn nur eine sehr schwache Spannung, zirka  $\frac{1}{50} V$ , angewendet wurde. Der Ton war lauter, wenn die Kontakte des Unterbrechers aus Metall bestanden. Bei Kohlekontakten war der Ton bedeutend schwächer. Eine Eisenwindung in der Spule, welche den Funken verstärkte, blieb ohne Einfluß auf den Ton des Telephones. Ein großer Elektromagnet durch eine starke Grove-Batterie erregt, beeinflusste das Telephon und Mikrophon nur sehr wenig. Hingegen gab ein schwacher Funke, welcher einem geriebenen Stücke Siegelwachs entzogen wurde, einen viel besseren Effekt, als die Entladung einer großen Leydener-Flasche.

Fig. 37.



Hieraus schloß Hughes, daß ein schmaler, dünner, schneller Funke, wie er sich ausdrückte, besser für diese Zwecke ist, wie ein breiter, dicker, langsamer oder fetter Funke. Ein kurzer plötzlicher und nicht ein langer gradualer Wechsel des Potentials ist erforderlich, und hieraus folgt, daß eine Vergrößerung des Funkens den Wirkungsgrad der drahtlosen Telegraphie nicht beeinflusst. Sinoidal verlaufende Ströme, wie solche für die Sprachübertragung notwendig werden, erweisen sich für den Mikrophon-Kohärer ungeeignet und ist eine drahtlose Telegraphie mit selben nur sehr schwer durchzuführen.

Um die empfindlichste Form des Instrumentes für den Empfang der elektrischen Strahlen zu finden, konstruierte Hughes eine große Anzahl von Mikrophonen aus den verschiedensten Materialien. Hierbei zeigten lose Metallkontakte die Eigenschaft, aneinander haften zu bleiben, anscheinend als wenn solche durch die elektrischen Wellen zusammengeschweißt worden wären.

Unter diesen vielen Mikrophonformen verwandte er auch eine mit Metallspänen gefüllte Röhre und hatte demnach noch vor Branly (1890) den Kohärer geschaffen. Da sich

aber diese Art des Mikrophones für seine Zwecke unwirksam zeigte, verließ er diese Anordnung wieder.

Zwei dieser Mikrophone, welche Hughes zum Zwecke seiner Untersuchungen geschaffen hat, seien als typische Beispiele vorgeführt. Der

Kohlenstift *C* (Fig. 37) steht mit der Messingfeder *S* in Verbindung und legt sich mit einem gewissen Drucke an die Nadel *N* an. Dieser Druck kann durch die Scheibe *D*, je nachdem sie auf- oder abwärts geschoben wird, innerhalb gewisser Grenzen reguliert werden. Die Messingfeder selbst ist wieder an dem

Metallstücke *M* befestigt. *M* und *N* stehen mit den Leitungen in Verbindung und geht daher der Strom in diesem Mikrophone von 1 über *M*, *S*, *C*, *N* zu 2. Die gesamte Einrichtung ist auf einem Rähmchen *R* aufmontiert.

Ein äußerst empfindliches, aber leicht in Unordnung gebrachtes Mikrophon zeigt Fig. 38. Selbes besteht aus einem Stahlhaken *S* und einem feinen Kupferdrahte *C*, welcher am Ende in einer Schlinge um *S* gelegt ist. Diese Schlinge wurde

vorerst oxydiert und sodann in einer Flamme leicht karbonisiert. Zur Sicherheit wurde das ganze Mikrophon mit dem Deckel *D* in ein Glasgefäß *B* eingesetzt.

Mit diesen zarten Empfängern, welche durchaus, und zwar mit den primitivsten

Hilfsmitteln selbst gefertigt waren, setzte Hughes seine Untersuchungen fort, indem er zunächst daran ging, die Verbindungen zwischen *W* und *J* (Fig. 36) zu lösen. Anfänglich wurde die in Fig. 39 dargestellte, einer primitiven Handskizze Hughes nachgebildete Anordnung gewählt. In derselben bezeichnet *B* die Batterie, *C* die Erregerspule des

Fig. 38.

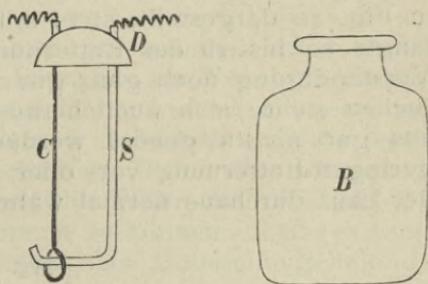
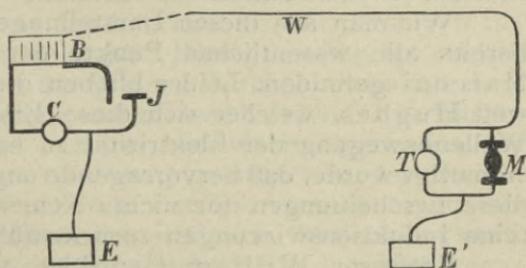
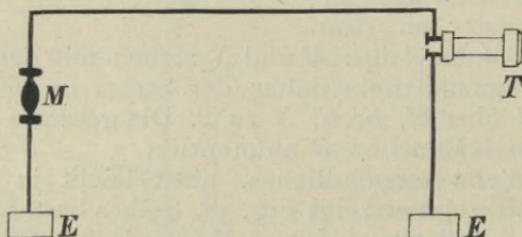


Fig. 39.



Unterbrechers,  $J$  den Unterbrecher,  $M$  das Mikrophon,  $T$  das Telephon,  $W$  die Leitung und  $EE^1$  die Erdverbindungen. Die Verbindung zwischen  $B$  und  $W$  wurde anfänglich auf zirka 2 m Entfernung unterbrochen. Da die Übertragung gleichfalls gut war, ging er schrittweise weiter, vergrößerte die Entfernung immer mehr und mehr, hierbei den Empfänger, wie in Fig. 40 dargestellt, stets mit der Erde verbindend. Er gelangte so bis zu der Entfernung von 500 m, auf welche die Verständigung noch ganz gut möglich blieb. Bei diesen Versuchen stellte sich auch heraus, daß von gewissen Punkten aus gar nichts gehört werden konnte, während in einer geringen Entfernung vor- oder rückwärts von diesen Punkten der Laut durchaus normal wahrnehmbar blieb. Dies läßt sich

Fig. 40.



nur durch Knotenpunkte, wie solche bei Interferenz der elektrischen Wellen entstehen, erklären.

Wie man aus diesen Darstellungen ersieht, hat Hughes bereits alle wesentlichen Punkte der Wellentelegraphie vor Marconi gefunden. Leider blieben die Versuche unvollendet, weil Hughes, welcher sich diese Erscheinung bereits durch Wellenbewegung der Elektrizität zu erklären suchte, dadurch entmutigt wurde, daß hervorragende englische Elektrotechniker diese Erscheinungen für nichts Neues hielten und selbe auf reine Induktionswirkungen zurückzuführen suchten.

Professor William Crookes, welcher sich zwar mit der Frage der Wellentelegraphie nicht praktisch beschäftigte, gab im Jahre 1892 in einem interessanten Artikel über »Some Possibilities of Electricity« bereits alle Anhaltspunkte für die Möglichkeit der Wellentelegraphie und brachte die Vermutung zum Ausdruck, daß die Zeit, wo diese Art der Telegraphie sich im praktischen Leben einbürgern und verbreiten werde, nicht mehr allzuferne liege.

Von der Tatsache ausgehend, daß es schon dermalen möglich sei, mit den zur Verfügung stehenden Apparaten elektrische Wellen beliebiger Länge zu erzeugen, wies er darauf hin, daß die langen elektrischen Wellen einer sehr geringen Absorption durch zwischenliegende Hindernisse unterliegen, daher deren Fernwirkung eine viel größere werden müsse als die der Lichtwellen.

Was seiner Ansicht nach zu erfinden wäre, sind einfachere und zuverlässigere Apparate zur Erzeugung elektrischer Wellen, welche so eingerichtet werden müssen, daß es durch entsprechende Regulierung derselben möglich wird, Wellen beliebiger Länge zu schaffen. Durch die Erzeugung verschiedener Wellenlängen und die Wahrscheinlichkeit, die Empfänger entsprechend abstimmen zu können, dürfte es auch gar keine Schwierigkeiten bieten, das Depeschengeheimnis zu wahren. Allerdings findet er es notwendig, auch den Empfänger empfindlicher zu gestalten und denselben auf beliebige Wellenlängen einstellbar zu machen.

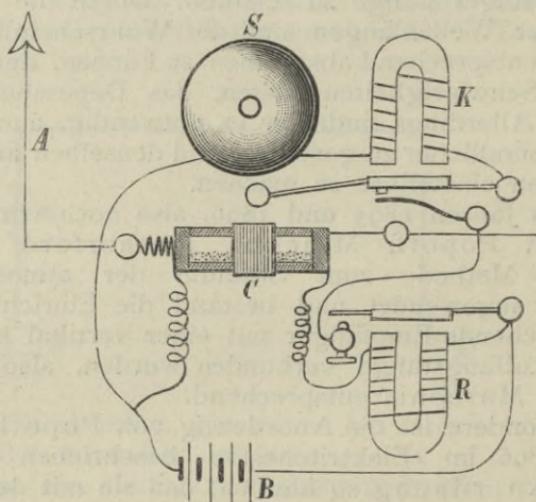
In den Jahren 1895 und 1896, also noch vor Marconi, wurden von Popoff, Minchin, Rutherford u. a. die Hertz'sche Methode zum Studium der atmosphärischen Elektrizität angewendet und bestand die Einrichtung darin, daß entsprechende Empfänger mit einer vertikal in die Höhe ragenden Auffangstange verbunden wurden, also genau der Anordnung Marconis entsprechend.

Insbesondere ist die Anordnung von Popoff, wie selbe im Jahre 1896 im »Elektritchestvo« beschrieben wurde, der Marconi-Anordnung so ähnlich, daß sie mit derselben für identisch angesehen werden kann. Diese Anordnung erklärt sich aus Fig. 41 in folgender Weise: Durch die von der Auffangstange *A* aufgefangenen und zu dem Kohärer *C* geführten elektrischen Wellen wird letzterer leitend, infolgedessen der Anker des Relais *R* zur Anziehung gelangt und den Stromkreis für den Klopfer *K* schließt. Letzterer schlägt nicht nur an die Glocke *S* an, sondern versetzt auch, da derselbe nach dem Unterbrechungsprinzip eingerichtet ist, dem Kohärer *C* einen Schlag, denselben hierdurch erschütternd und neuerdings nichtleitend zu machen. Popoff sprach hierbei auch gleich die Hoffnung aus, mit diesem Apparate, wenn ein hinreichend kräftiger Generator für die Erzeugung elektrischer Wellen gefunden wird, Signale auf größere Entfernungen übertragen zu können, wobei er allerdings von einer falschen Voraussetzung ausging, indem er an Stelle der Verstärkung

des Erregers das Augenmerk auf einen empfindlicheren Empfänger als den von ihm benützten Branly-Lodgeschen Kohärer hätte richten müssen.

Wenn hier der Vorgänger Marconis in eingehender Weise gedacht wurde, geziemt es auch jener hervorragenden Männer zu erwähnen, welche durch ihre Untersuchungen den Grundstein zum Aufbau der von Maxwell gegebenen Theorie gelegt und so die dermalige Entwicklung der Wellentelegraphie angebahnt haben.

Fig. 41.



So wurde die oszillatorische Natur der Entladung von Leydenerflaschen unter gewissen Bedingungen, von welchen die weiteren Forschungen ihren Ausgang nahmen, bereits 1847 von Helmholtz auf dem Wege der theoretischen Deduktion festgelegt und deren mathematische Begründung von Lord Kelvin 1853 gegeben, während es Feddersen erst 1859 gelang, für die Richtigkeit dieser Anschauungen den experimentellen Nachweis zu erbringen.

Wiewohl derselben späterhin noch Erwähnung geschieht, so ist doch auch hier die Stelle, an welcher der hervorragenden Arbeiten von Poynting, Lodge, Righi, Branly, Sarasin und de la Rive gedacht werden soll, ohne jedoch hierbei deren spezielle Leistungen, weil folgend, gesondert anzuführen.

## B. Die ersten Einrichtungen von Marconi zur Wellentelegraphie.

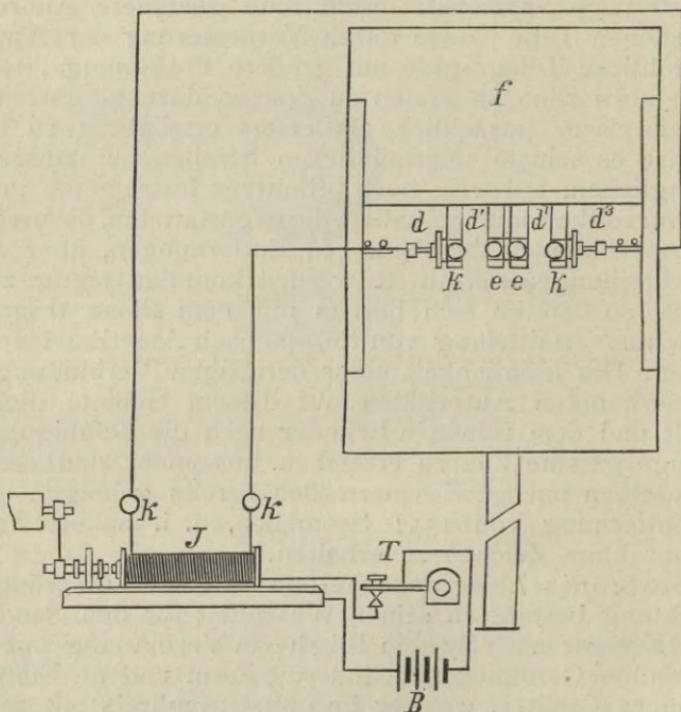
Wenn auch die grundlegenden Bedingungen für die Entwicklung der Wellentelegraphie vor Marconi bereits gegeben waren, indem Hertz den Oszillator, Branly den empfindlichen Erreger und vor diesen Edison die Auffangstange geschaffen haben, so gebührt demselben, welcher in Marzabotta nahe von Bologna im Jahre 1874 geboren wurde, das unstreitige Verdienst, durch eine geeignete Anordnung der einzelnen Teile sowie durch Verbesserung der Apparate eine drahtlose Telegraphie auf größere Entfernung, wie dies die im Jahre 1896 im Hafen zu Spezia durchgeführten Versuche erweisen, tatsächlich als erster ermöglicht zu haben. Auch ist es seinem unermüdlichen Streben zu danken, die ursprünglichen, teilweise noch primitiven Instrumente in einer Weise vervollkommnet zu haben, die es gestatteten, die ursprünglich immerhin noch bescheidenen Entfernungen, über welche noch Mitteilungen vermittelt werden konnten, stetig zu vergrößern, so daß er sich bereits mit dem Plane trägt, eine Nachrichtenvermittlung von Europa nach Amerika ins Leben zu rufen. Die Möglichkeit einer derartigen Verbindung wird von anerkannten Autoritäten auf diesem Gebiete nicht bezweifelt und dem rührigen Erfinder auch die Befähigung, das ins Auge gefaßte Ziel zu erreichen, umsomehr zuerkannt, als es demselben nachgewiesenermaßen bereits gelungen ist, auf eine Entfernung von 1551 Seemeilen, d. i. nahezu 2482 *km*, durchaus klare Zeichen zu erhalten.

Marconis Telegraphensystem in seiner ursprünglichen Einrichtung besteht in seiner Wesenheit für den Sender aus einem Erreger nach System Righi in Verbindung mit einem Hertzschens Oszillator abgeänderter Form und als Empfänger aus einem Kohärer, welcher im Lokalstromkreis mit zur Aufnahme der Zeichen geeigneten Apparaten verbunden ist. Für kürzere Entfernungen beschränkt sich Marconi, an Stelle des Oszillators einen Reflektor anzuwenden.

Fig. 42 und 44 stellen die Übertragungs- und Empfangsapparate dar, wenn nur auf kurze Distanz telegraphiert werden soll. In denselben bezeichnet *J* die Induktionsspule, deren Sekundärwicklung mit den Knöpfen *kk* des Erregers verbunden ist, wogegen die Primärschleife durch den Taster *T* mit der Batterie *B* in Verbindung steht. Die Unterbrechung des Primärstromes zum Zwecke der Erregung elektrischer Oszilla-

tionen erfolgt durch einen Unterbrecher, welcher durch einen Elektromotor in schnelle Rotation versetzt wird. Derselbe erscheint nur angedeutet. Der Erreger besteht aus zwei Paaren polierter Messing- oder Kupferkugeln  $KK$  und  $ee$ , welche in Ebonitträgern  $d, d^1, d^1, d^3$  ruhen. Die Entfernung zwischen den beiden Trägern  $d^1 d^1$  kann durch hier nicht dargestellte Stellschrauben nach Bedarf reguliert werden. Um die beiden

Fig. 42.

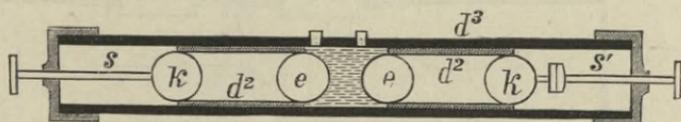


Kugeln  $ee$  wird ein Stück Pergament so gelegt, daß die beiden einander zugekehrten Halbkugelflächen derselben wie von einem Zylinder umschlossen scheinen. Der hierdurch zwischen den beiden Halbkugeln entstehende Hohlraum wird mit Vaseline ausgefüllt. Die Entfernung zwischen den beiden Kugeln  $K$  und  $e$  hängt von der erreichbaren Potentialdifferenz ab und beträgt bei einer Induktionsrolle mit 20 cm Funkenlänge 2,5 cm und zwischen  $ee$  zirka 1 mm. Hinter diesem Erreger befindet sich ein zylindrischer Parabolspiegel aus

Metall  $f$ , in dessen Fokus die beiden Kugeln  $ee$  eingestellt werden. Dieser Spiegel dient dazu, ein Strahlenbündel in bestimmte Richtung zu lenken, weil ohne diesen Spiegel die Wellen frei nach jeder Richtung ausstrahlen würden.

Um die Einstellung der beiden inneren Kugeln  $ee$  in den Fokus zu erleichtern, kann auch der in Fig. 43 dargestellte Sender oder Erreger verwendet werden. Jedes Kugelpaar  $kk$  ist in einer kurzen Ebonitröhre  $d^2$ , welche sich in einer etwas weiteren Röhre  $d^3$  teleskopartig verschieben läßt, befestigt. Die beiden Kugeln  $kk$  sind je mit einem Stäbchen  $ss^1$  versehen, welche sowohl zur Verbindung mit der Leitung als auch zur genauen Einstellung der Kugeln  $ee$  dient. Die Einstellung wird von rechts aus vorgenommen, indem sich das Stäbchen  $s^1$  in die Hülse einschraubt. Um eine Drehung der rechtsseitigen Kugel  $k$  zu verhindern, ist das Stäbchen  $s^1$  mit dieser Kugel statt starr, durch ein

Fig. 43.



Kugelgelenk verbunden. Der Raum zwischen den beiden Kugeln  $ee$  wird durch das äußere Rohr  $d^3$  begrenzt. Der Zwischenraum zwischen diesen beiden Kugeln ist gleichfalls mit Vaseline ausgefüllt. Bei Anwendung großer Potentialdifferenzen empfiehlt es sich, zwischen den großen Kugeln mehrere kleine in entsprechenden Abständen zu verwenden.

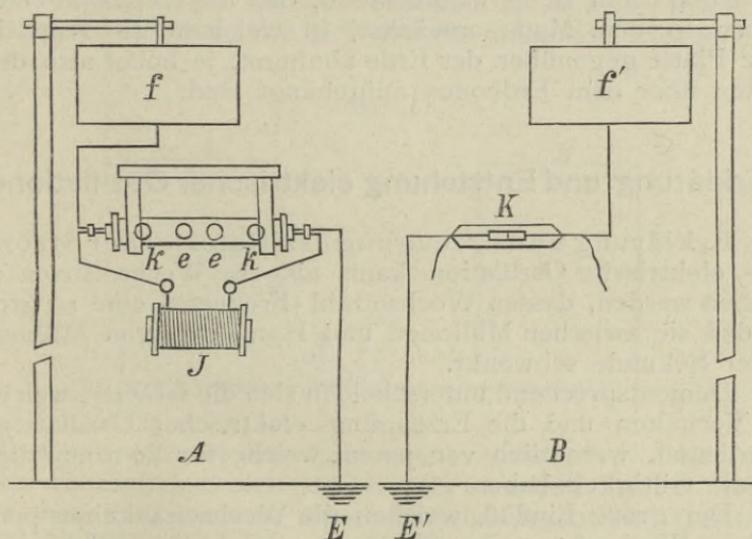
Der Empfänger besteht aus dem Kohärer oder der Frittröhre  $K$  (Fig. 44), dessen beide Elektroden in ihrer, aus der Glasröhre herausgehenden Fortsetzung mit je einer metallischen Platte  $pp^1$  verbunden sind, welche dazu dienen, das System mit den übermittelten elektrischen Oszillationen abzustimmen, beziehungsweise Resonanz hervorzurufen, weshalb die Länge dieser Platten, beziehungsweise deren gegenseitige Kapazität, vorher genau bestimmt werden muß.

Der Empfänger zeigt zwei Stromkreise. Der eine derselben umfaßt den Kohärer mit den Platten  $pp^1$ , die Batterie  $B$  und die Elektromagnete des Relais  $R$ . In den anderen Stromkreis ist die Batterie  $B^1$ , die Armatur des Relais  $R$  und der Erschütterer  $E$ , auch Dekohärer oder Entfritter genannt, eingeschaltet. Dies entspricht dem Linien- beziehungsweise Lokal-



werden, welche, wenn auch von an und für sich geringer Intensität, doch wegen der kurzen Entfernung den Fritter beeinflussen und daher zur Wirksamkeit bringen könnten, sind zu diesen Apparaten, um derartige Funkenbildungen hintanzuhalten, bifilar gewickelte Nebenschlüsse  $p^2$ ,  $p^3$ ,  $p^4$  von hohem Widerstande geschaltet.  $J$  ist ein Flüssigkeitswiderstand mit einer elektromotorischen Gegenkraft von 10—15 Volt Batteriespannung und entspricht ungefähr einem Widerstande von 20.000 Ohm. Er besteht aus mit angesäuertem Wasser

Fig. 45.



angefüllten Glasröhren, in deren Boden Platindrähte eingeschmolzen sind.

Für weitere Distanzen wird von Marconi die in Fig. 45 schematisch dargestellte Anordnung, und zwar mit günstigstem Erfolge verwendet. In dieser Darstellung, bei welcher mit  $A$  die Gebe- und mit  $B$  die Empfangsstation bezeichnet ist, erscheinen die sowohl für diese als die vorhergehend beschriebene Anordnung gleichbleibenden Nebenapparate weggelassen.

Bei dieser Anordnung ist einer der Knöpfe  $k$  mit der Erde  $E$ , der andere hingegen mit einer an einer Stange von der Erde isoliert aufgehängten Metallplatte  $f$  verbunden. In der Empfangsstation ist der Kohärer  $K$  gleichfalls einesteils

mit der Erde  $E^1$ , andernteils mit der in gleicher Weise wie in der Gebestation aufgehängten Platte  $f^1$  verbunden. Je größer diese Platten und je höher dieselben aufgehängt sind, desto größer ist die Entfernung, über welche gesprochen werden kann. Man hat hier die Anwendung des Oszillators von Hertz, nach welchem die beiden Enden des Erregers mit zwei Kapazitätsflächen verbunden sind. Es bildet nämlich hier die erhöhte Platte den einen, die Erde den anderen Belag eines Kondensators mit der zwischenliegenden Luft als Dielektrikum. Die beiden erhöhten Platten des Senders und Empfängers lassen sich nun gleichfalls mit einem Kondensator vergleichen und ist es einleuchtend, daß die Kapazität dieser Platten in dem Maße anwächst, in welchem die Kapazität jeder Platte gegenüber der Erde abnimmt, je höher also diese Platten über dem Erdboden aufgehängt sind.

### C. Erklärung und Entstehung elektrischer Oszillationen.

Erklärung und Erzeugung oszillatorischer Ströme. Eine elektrische Oszillation kann als ein Wechselstrom angesehen werden, dessen Wechselzahl (Frequenz) eine so große ist, daß sie zwischen Millionen und Hunderten von Millionen in der Sekunde schwankt.

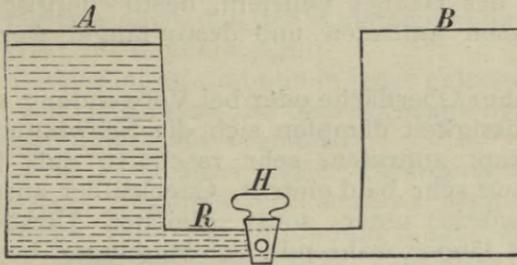
Dementsprechend unterscheiden sich die Gesetze, welchen das Verhalten und die Erzeugung elektrischer Oszillationen unterliegen, wesentlich von jenen, welche für kontinuierliche Ströme Giltigkeit haben.

Der große Einfluß, welchen die Wechselzahl eines periodischen Wechselstromes auf die zu erzielenden Effekte hat, ist wohl bekannt. Bei Wechselströmen mit geringer Periodenzahl kommt für die Fortpflanzung derselben nur der Widerstand des Leiters in Betracht. Sobald sich jedoch die Wechselzahl des Stromes vergrößert, beginnt auch die Induktanz (Selbstinduktions-Koeffizient) des Leiters eine wichtige Rolle zu spielen. Bei weiterer Vergrößerung der Wechselzahl kommt als dritter Faktor die Kapazität des Leiters in Wirksamkeit. Bei Strömen von sehr hoher Frequenz tritt für die Fortpflanzung der Elektrizität in den Leitern der Ohmsche Widerstand derselben immer mehr und mehr in den Hintergrund, so daß selber bei Strömen von so hoher Frequenz, wie die elektrischen Oszillationen es sind, fast gar keinen Einfluß mehr ausübt.

Daß Ströme von so hoher Frequenz mittels der bekannten Wechselstrommaschinen nicht erzeugt werden können, ist sofort einleuchtend, wenn man in Betracht zieht, daß die hierfür erforderliche Umdrehungszahl des Ankers eine so ungeheure werden müßte, daß für die Erzeugung einer solchen unsere mechanischen Hilfsmittel nicht mehr ausreichen.

Das einzige dermalen zur Verfügung stehende Mittel zur Erzeugung oscillatorischer Ströme besteht darin, daß zwei voneinander getrennte Punkte eines Leiters auf eine große Potential-Differenz gebracht und dann plötzlich durch einen Leiter von sehr geringem Widerstande verbunden werden, wodurch in diesem Leiter Wechselströme von der erwähnten Frequenz entstehen, die sich jedoch sukzessive abschwächen

Fig. 46.



und in sehr kurzer Zeit gänzlich verschwinden. Diese sehr rasch wechselnden, sich jedoch stets verschwächenden Ströme sind eben das, was man als elektrische Oszillation bezeichnet.

Es ist hierbei jedoch unerlässlich notwendig, daß die Verbindung der beiden entgegengesetzten elektrischen Ladungen plötzlich erfolgt und der Stromkreis, in welchem sich die elektrischen Oszillationen vollziehen, ein sehr geringes Zeitmoment, oder was gleichbedeutend ist, einen sehr geringen Widerstand hat.

Mechanische Analogien. Eine Analogie hierfür findet sich in dem nachfolgenden hydraulischen Beispiele. Es seien A und B (Fig. 46) zwei durch das weite Rohr R verbundene Gefäße. In der Mitte des Rohres befindet sich der Hahn H, welcher den Wasserzufluß vom Gefäß A in das Gefäß B absperert. Wird nun der Hahn H plötzlich ganz geöffnet, so fließt das Wasser in das Gefäß B über, wobei jedoch infolge der lebendigen Kraft mehr Wasser nach B überströmt, als für den hydrau-

lischen Ausgleich erforderlich ist. Das überschüssige Wasser wird nun nebst einem kleineren Überschusse wie früher nach *A* zurückströmen und es entsteht eine allmählich sich abschwächende hin- und hergehende Bewegung des Wassers, bis es endlich den vollen Gleichgewichtszustand erreicht. Sollen die Oszillationen fort dauern, so muß der stets wieder auftretende Gleichgewichtszustand auf künstlichem Wege von neuem aufgehoben werden, was in dem vorliegenden Falle etwa durch einen auf *B* stoßweise wirkenden Druck verursacht werden kann.

Würde hingegen der Hahn nur langsam aufgemacht worden sein, so würde sich der Ausgleich ganz langsam vollzogen haben und von einer Oszillation der Flüssigkeit nichts zu bemerken sein.

Je glatter die Verbindungsröhre ist und je rascher sich die Öffnung des Hahnes vollzieht, desto energischer werden die Oszillationen auftreten und desto länger werden sie andauern.

Bei rauher Oberfläche oder bei Verwendung einer zähen, klebrigen Flüssigkeit dämpfen sich die Schwingungen, wenn selbe überhaupt auftreten, sehr rasch, so daß der Gleichgewichtszustand sehr bald eintritt. Quecksilber anstatt Wasser genommen würde unter sonst gleichen Umständen viel heftigere und länger währende Schwingungen bedingen.

Im Vergleiche mit elektrischen Oszillationen zeigt sich, daß die Dichtigkeit des oszillierenden Materiales mit der Induktanz eines elektrischen Stromkreises, in welchem die Oszillationen auftreten, der Reibungswiderstand der Röhre mit dem Leitungswiderstande desselben verglichen werden kann. Wären die beiden Gefäße *A* und *B* oben geschlossen und oberhalb der Flüssigkeit mit Luft angefüllt gedacht, so würde die Zusammendrückbarkeit der Luft der elektrischen Kapazität des Leiters entsprechen.

Die notwendigen Bedingungen für die Entstehung mechanischer Schwingungen in einem materiellen Systeme beruhen auf dem Vorhandensein der Verrückbarkeit eines materiellen Körpers, welcher nebstbei die Eigenschaft besitzen muß, nach Aufhören der äußeren Einwirkung in die ursprüngliche Lage zurückzukehren. Der Körper muß demnach Dichtigkeit und Trägheit besitzen. Der Reibungswiderstand wirkt im entgegengesetzten Sinne des äußeren Anstoßes und bedingt die stete Verkleinerung der Amplitude.

Als einfachstes Beispiel hierfür dient die Saite einer Violine oder eine Stimmgabel, in welchen Schwingungen durch kräftiges Anziehen und plötzliches Loslassen der Saite, beziehungsweise kräftiges Anschlagen der Stimmgabel hervorgerufen werden, die den vorbeschriebenen Verlauf nehmen.

Oszillatorische Entladung von Leydenerflaschen. In ähnlicher Weise sind die Bedingungen für elektrische Oszillationen in einem Stromkreise gegeben, wenn zwei Körper die elektrische Kapazität in gegenseitiger Beziehung besitzen, also beispielsweise Kondensatorplatten zur Entladung gebracht werden und der Stromkreis selbst Induktanz und einen geringen Ohmschen Widerstand aufweist.

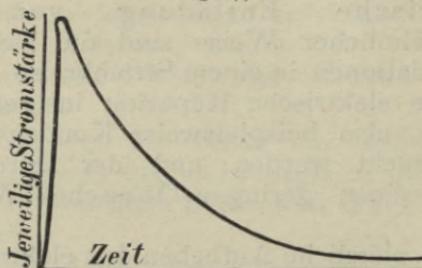
Durch das plötzliche Aufheben des elektrischen Zwangszustandes müssen dann elektrische Oszillationen unter der Voraussetzung entstehen, daß der Widerstand einen bestimmten kritischen Wert nicht übersteigt.

Diese Bedingungen sind nun in jeder geladenen Leydenerflasche gegeben, wenn man die beiden Beläge derselben durch einen dicken Kupferdraht verbindet.

Aber nicht bloß unter diesen Bedingungen allein entstehen elektrische Oszillationen, sondern auch häufig dann, wenn der Funke von einer Entladungskugel auf die andere überspringt. Schon im Jahre 1842 kam Josef Henry, angeregt durch die irreguläre Magnetisierung von Stahladeln bei Entladung von Leydenerflaschen, zu dem Schlusse, daß diese Entladungen einen oszillatorischen Charakter haben müssen. Von Helmholtz sagt in seiner berühmten Schrift »Die Erhaltung der Kraft«, daß die Entladung einer Leydenerflasche nicht als eine einfache Bewegung der Elektrizität in einer Richtung, sondern als eine hin- und hergehende Bewegung zwischen den Belägen anzusehen sei, welche immer schwächer und schwächer wird, bis endlich die ganze elektrische Arbeit durch den Widerstand aufgezehrt ist. Späterhin haben Feddersen und Paalzow die Richtigkeit dieser Anschauung bestätigt, indem sie den Entladungsfunken durch einen rotierenden Spiegel beobachteten. Paalzow ließ den Entladungsfunken durch eine Vacuumröhre hindurchgehen und fand hierbei, daß, wenn der Widerstand des Entladungsstromkreises einen bestimmten kritischen Wert überstieg, der Funke als ein kontinuierliches Lichtband erschien, wobei das verschiedenartige Glühen an den beiden

Elektroden anzeigte, daß die Entladung nur in einer Richtung erfolgte. Sank jedoch der Widerstand unter den kritischen Wert, so zerteilte sich das Bild des Funkens in eine Serie von Lichtzungen und das Glühlicht an den beiden

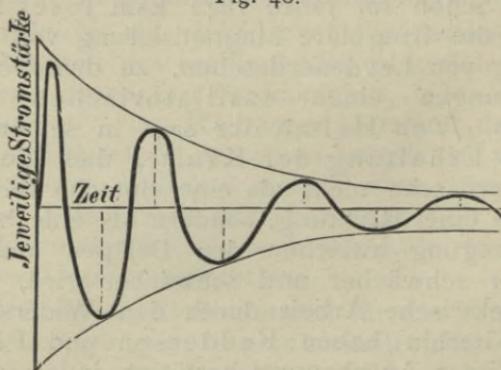
Fig. 47.



Elektroden zeigte, daß die Entladung nach beiden Richtungen hin erfolgte. Ein nahe der Vacuumröhre gehaltener Magnet ließ den Entladungsfunken in zwei getrennten Lichtlinien erscheinen.

Diese beiden Formen der Entladung erscheinen in den Fig. 47 und 48 graphisch dargestellt, wobei die Ordinaten

Fig. 48.

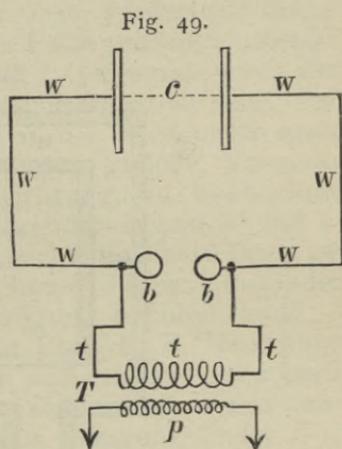


oberhalb der Zeitlinie die momentane Stromstärke in der einen, die Ordinaten unterhalb der Zeitlinie die momentane Stromstärke in der anderen Richtung bestimmen. Praktisch können solche Oszillationen zwischen zwei Punkten einer Funkenstrecke mittels Leydenerflaschen nur sehr schwer aufrecht

erhalten werden, weshalb man sich nunmehr für derartige Versuche eines kräftigen Induktoriums bedient, dessen sekundäre Windungen in eine Funkenstrecke endigen. Fig. 49 stellt die allgemeine Anordnung einer solchen Einrichtung dar.  $p$  ist die Primärspule, die mit der hier nicht gezeichneten Batterie und dem gleichfalls hier nicht gezeichneten Unterbrecher in Verbindung steht.  $t$  ist die Sekundärspule, welche einerseits in die beiden Entladungskugeln  $bb$ , anderseits in Abzweigung durch die Drähte  $w$  zu den Belägen des Kondensators  $c$  führt. Bei zwischen  $bb$  auftretenden Entladungen werden in den Drähten  $w$  oscillatorische Ströme erzeugt, welche sich jedoch wegen des großen Widerstandes und der großen Selbstinduktion von  $t$  nicht in die Sekundärspule fortpflanzen können.

Erklärung dieses Vorganges durch ein hydraulisches Beispiel. Zur Erklärung des Entstehens solcher elektrischer Oszillationen in diesen Drähten sei sich wieder einer hydraulischen Analogie bedient. Zu diesem Zwecke denken wir uns Fig. 50 ein System eiserner Röhren  $w^1 w^1$  etc., in welches ein größeres und ein kleineres Reservoir  $W$  und  $S$  zwischengeschaltet

ist. Jedes dieser Reservoirs sei durch eine elastische Wand  $p$ , beziehungsweise  $l$  getrennt. Die Wand  $p$  besitze eine Widerstandsfähigkeit, daß sie bei dem größten auf selbe ausgeübten Drucke zwar ausweicht, aber trotzdem ihre Kontinuität behält. Dem entgegen wird von der elastischen Wand  $l$  angenommen, daß sie unter geringerem Drucke nachgibt, bei größerem Drucke aber plötzlich zerreißt. Würde nun der Piston  $T^1$  unter der Voraussetzung, daß das ganze System mit Wasser gefüllt ist, von der normalen oder Ruhelage  $a$  mittels des Handgriffs  $h$  innerhalb der Grenzen  $a^1 a^1$  hin- und herbewegt werden, wie solches durch die punktierten Linien angedeutet ist, so würde sich bei Verfolg dieser Bewegung folgendes abspielen: In der Ruhelage befindet sich der Piston in der Lage  $a$ , im ganzen Systeme herrscht Gleichgewicht und befinden sich dementsprechend die beiden Membranen in der Ruhe- oder Mittellage. Wird nun der





Kommt jedoch der Kolben zur Ruhe, so hört trotzdem die Wasserbewegung nicht auf, weil die Wand  $p$  infolge ihrer Elastizität nunmehr bis  $p^2$  gelangt ist. Hat sich daher auch der Wasserdruck beiderseitig ausgeglichen, so sucht die bei  $p^2$  in Spannung befindliche Membrane in die Ruhelage zurückzukehren, wobei sie aber infolge ihrer Elastizität gleich einem Pendel hin- und herschwingen und dementsprechend auch die Wassermassen einmal von links nach rechts und dann von rechts nach links treiben wird. Die so entstehenden Oszillationen der Wassermasse verringern sich jedoch, infolge der Reibung in den Röhren, allmählich und das Wasser gelangt nach längerer oder kürzerer Zeit wieder zur Ruhe. Denkt man sich nun, was in diesem Falle praktisch unmöglich ist, die elastische Zwischenwand  $l$ , jedesmal, wenn der Kolben bei  $a$  anlangt, plötzlich wiederhergestellt und den Kolben von  $a^1$  und  $a^1$  (links) gezogen, so wird unter sonst ganz gleichen Voraussetzungen der ganz gleiche Vorgang, jedoch in der entgegengesetzten Richtung, zu beobachten sein. Würde nun der Kolben fortwährend zwischen  $a^1$  und  $a^1$  hin- und hergeschoben, so läßt sich leicht die Vorstellung gewinnen, daß sich die Wassermasse unter diesen Umständen in fortwährender oszillatorischer Bewegung befinden muß.

Die Nutzenanwendung dieses von Prof. E. F. Northrup gegebenen interessanten Vergleiches auf das Entstehen oszillierender elektrischer Ströme findet sich sofort, wenn man die Fig. 49 mit Fig. 50 vergleicht. Als Pumpenzylinder  $T$  ist in Fig. 49 die primäre Spule  $p$ , als Pumpenkolben die Sekundärspule  $t$  zu betrachten. Das Röhrennetz  $w^1$  wird durch die Leitungen  $w$ , die sich nach Zerreißen stets wieder regenerierende elastische Scheidewand  $l$  durch die Funkenstrecke zwischen  $b b$  und die nicht zerreibbare elastische Scheidewand  $p$  durch das Dielektrikum des Kondensators  $C$  dargestellt. Die Hauptähnlichkeiten zwischen den elektrischen Strömen und den Wasserströmen lassen sich wie folgt hervorheben, und zwar: Je rauher die Oberflächen der Wasserröhren sind, desto größer wird die Reibung zwischen denselben und dem Wasser sein und desto rascher werden die Oszillationen verschwinden. Die Rauheit der Oberflächen läßt sich mit dem Ohmschen Widerstande des angewendeten Leitungsmaterials vergleichen. Je geringer dieser Widerstand ist, desto länger werden die Oszillationen dauern.

Die Zeit, welche das Wasser benötigt, um eine vollständige Oszillation durchzuführen, hängt von der zu bewegenden

Wassermenge, von der Elastizität der Zwischenwand  $p$ , von der Größe der möglichen Ausbauchung derselben und von der Länge des Röhrennetzes ab. Je geringer die Wassermasse, je kürzer die Röhren und je weniger ausbauchungsfähig die Zwischenwand ist, desto kürzer werden die Oszillationen ausfallen.

Die Wassermasse entspricht im vorliegenden Falle, auf das elektrische Beispiel bezogen, der Induktanz des Stromkreises, die Elastizität der Zwischenwand  $p$  der Kapazität des Kondensators und die Stärke der Zwischenwand  $l$  der Länge der Funkenstrecke zwischen  $b b$ . Die supponierte plötzliche Wiederherstellung der Zwischenwand  $l$  läßt sich im elektrischen Stromkreise durch das Einströmen kalter Luft in die Funkenstrecke  $b b$ , sobald die Oszillationen im Stromkreise verschwunden sind, tatsächlich erklären.

Bedingungen, unter welchen eine oszillatorische Entladung der Leydenerflasche erfolgt. Lord Kelvin hat bereits im Jahre 1855 in seiner klassischen Arbeit über »Transient Electric Currents« die Entladungen von Leydenerflaschen in einer Weise mathematisch behandelt, die genau erkennen läßt, unter welchen Bedingungen die Entladung eine oszillatorische sein wird, und in welcher der Einfluß der »elektrodynamischen Kapazität« oder das, was heute als Induktanz bezeichnet ist, auf die Form der Entladung hervorgehoben wurde.

Er entwickelte hierbei eine Gleichung der Energie, aus welcher hervorgeht, daß die Energie einer geladenen Leydenerflasche während der Entladung sich teilweise in Wärme umsetzt, teilweise aber als Stromenergie im Stromkreise aufrecht erhalten bleibt.

In irgend einem Zeitpunkte der Entladung der Flasche ist die freigegebene Energie gleich der in Wärme umgesetzten Energie mehr der in dem Stromkreise enthaltenen Stromenergie.

Wenn die Kapazität der Flasche mit  $K$ , der Widerstand des Entladungsstromkreises mit  $R$ , die Induktanz des Stromkreises mit  $L$  und die Elektrizitätsmenge mit  $q$  bezeichnet wird, so ergibt sich folgende Gleichung:

$$\frac{L}{R} KR q'' + KR q' + q = 0$$

oder wenn  $\frac{L}{R}$  mit  $T$  und  $KR$  mit  $T_1$  geschrieben wird

$$T T' q'' + T' q' + q = 0$$

in welchen  $q'$  und  $q''$  das erste und zweite Zeitdifferenziale von  $q$  bedeuten.

Diese Gleichung läßt entsprechend den Beziehungen zwischen den Konstanten  $L$ ,  $K$  und  $R$  zwei Lösungen zu.

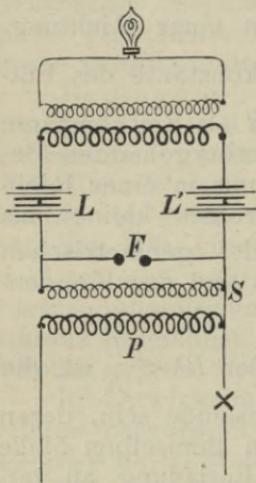
Wie nun Lord Kelvin gezeigt hat, ist die Natur der Lösung obiger Gleichung durch die relativen Werte von  $\frac{L}{R}$  und  $K L$  oder von  $\frac{L}{R}$  und  $\frac{L}{R} K R$  bestimmt. Wird  $\frac{1}{4} \frac{R^2}{L^2}$  größer als  $\frac{1}{K L}$  oder  $R > \sqrt{4 \frac{L}{K}}$ , beziehungsweise  $R^2 > 4 \frac{L}{K}$ , so erfolgt die Entladung der Flasche nur in einer Richtung. Der Ausdruck  $\frac{L}{R} = T$  wird nun als Zeitkonstante des Entladungsstromkreises und das Produkt  $K R$  als Zeitkonstante des Kondensators bezeichnet. Nach den vorhergehenden Bedingungen erfolgt sonach die Entladung nur in einer Richtung, wenn  $T$  die Zeitkonstante des Stromes kleiner als  $\frac{1}{2} \sqrt{T T'}$  oder kleiner als die Hälfte des geometrischen Mittels der Zeitkonstante des Stromkreises und des Kondensators ist.

Anderweitig muß, wenn  $R < \sqrt{4 \frac{L}{K}}$  oder  $R^2 < \frac{L}{K}$  ist, die Entladung eine oszillatorische oder abwechselnde sein, deren maximaler Wert in beiden Richtungen in demselben Maße abnimmt, als die Zeit vom Beginne der Entladung an verläuft.

Wie vorhin bereits erwähnt wurde, bildet die einfache Entladung einer Leydenerflasche nur eine schwache Quelle für das Entstehen solcher Schwingungen. Um daher derartige elektrische Schwingungen zu erzeugen, die sich für experimentale Untersuchungen besser eignen, ist es notwendig, günstigere Anordnungen für das Entstehen solcher Schwingungen zu schaffen. Eine dieser Anordnungen wurde schon in Fig. 49 dargestellt. Eine Anordnung, welche gleichfalls gute Resultate zeitiget, zeigt Fig. 51. Hier sind zwei Serien von Leydenerflaschen  $L L^1$  vorgesehen, deren innere und äußere Beläge mit einander verbunden sind. Die inneren Beläge dieser beiden Sätze stehen mit den beiden Kugeln der Funkenstrecke  $F$  in Verbindung und ist im

Nebenschlüsse hierzu die Sekundärwicklung  $S$  eines Induktoriums geschaltet. Der Strom der Primärspule  $P$  wird durch einen Wehnelts oder einen sonstigen geeigneten Unterbrecher in raschen Intervallen geschlossen und unterbrochen. An Stelle der Speisung des Induktoriums mit Gleichstrom und Anwendung eines Unterbrechers kann auch ein Wechselstrom von hoher Frequenz in die Primärspule eingeleitet werden. Um den günstigsten Effekt zu erhalten, soll die Induktionsspule mit möglichst dickem Draht umwunden werden. Die äußeren Beläge

Fig. 51.



der Leydenerflaschen sind mit einander durch einen dicken Kupferdraht verbunden, in welchem auch die Oszillationen entstehen. Wird nun die Induktionsspule betätigt, so werden die inneren Beläge der zwei Sätze von Leydenerflaschen in entgegengesetzter Richtung geladen, und werden sich, wenn die beiden Kugeln der Funkenstrecke nahe genug aneinanderliegen, über dieselbe entladen, und bei jeder dieser Entladungen in dem Kreise, welcher die äußeren Beläge der Flaschen verbindet, elektrische Oszillationen entstehen.

Einfluß des Widerstandes auf die Wirkung der Kondensatoren, beziehungsweise auf deren Entladung. Der Grund, weshalb der sekundäre Stromkreis der Induktionsspule einen so kleinen Widerstand als möglich haben soll, liegt darin, daß ein Kondensator, welcher durch einen Widerstand mit einer bestimmten elektromotorischen Kraft durch eine kurze Zeit geladen wird, nicht jene Ladung annimmt, welche dem vollen, seiner Kapazität und der Spannung zukommenden Wert entspricht, und um dies zu erzielen, die Dauer der Ladung auf das fünf- bis zehnfache der Zeitkonstante des Kondensators verlängert werden müßte. Ist  $K$  die Kapazität des Kondensators in Mikrofarad und  $R$  der Widerstand des Lade-Stromkreises in Megohms, dann bildet das Produkt  $K R$ , in Sekunden oder Teilen einer Sekunde ausgedrückt, die Zeitkonstante des Kondensatorstromkreises. Die Kapazität einer großen Leydenerflasche kann mit  $\frac{1}{300}$  Mikrofarad angenommen werden, und würden daher sechs solcher

Flaschen, parallel geschaltet, eine Kapazität von  $\frac{1}{50}$  Mikrofarad haben. Wir haben nun zwei Sätze solcher Flaschen, die wieder in Serien geschaltet sind, und beträgt deren Kapazität zusammen, wenn die Kapazität der zweiten Serie mit  $K_1$  bezeichnet wird,  $\frac{K K_1}{K + K_1}$  Mikrofarad. Oder wenn  $K_1 = K$

ist die halbe Kapazität eines Satzes dieser Flaschen. Sind nun je sechs Flaschen parallel und diese beiden sodann in Serien verbunden (gemischte Schaltung), so beträgt unter obiger Annahme der gleichen Kapazität der beiden Sätze die Gesamtkapazität derselben nur mehr  $\frac{1}{100}$  Mikrofarad.

Der Widerstand der Sekundärspule eines Induktatoriums von zirka 20 cm Funkenlänge beträgt annähernd 10.000 Ohm oder  $\frac{1}{100}$  Megohm. Dementsprechend beträgt die Zeitkonstante, wenn eine solche Spule zum Laden der beiden Sätze von Leydenerflaschen verwendet wird

$$KR = \frac{1}{100} \times \frac{1}{100} = \frac{1}{10.000}$$

einer Sekunde.

Die elektromotorische Kraft, um diese Flaschen entsprechend ihrer Kapazität auf das Maximum ihrer elektromotorischen Kraft zu laden, muß in diesem Falle mindestens  $\frac{1}{1000}$  Sekunde lang aufrecht erhalten werden. Wird demnach der Strom der Primärspule durch einen Wehneltunterbrecher, welcher ungefähr 1000 Unterbrechungen in der Sekunde ergibt, unterbrochen, so entspricht dies so ziemlich den Bedingungen. Vergrößert sich jedoch die Zeitkonstante durch Vergrößerung des Widerstandes der Sekundärspule, so wird auch dementsprechend die erforderliche Ladezeit vergrößert werden müssen. Die Entladungen können sich nicht so rasch folgen und die Wirkung wird eine geringere. Sind jedoch die Abmessungen entsprechend, so kann mit einem Schnellunterbrecher eine Serie von mächtigen intermittierenden Oszillationen erhalten werden, die allerdings nicht kontinuierlich sind, sondern in Gruppen auftreten.

Wirkung des Dielektriums. Ein weiterer Umstand, von welchem das Entstehen elektrischer Oszillationen abhängt, ist das Verhalten der Luft oder anderer Gase unter steigendem elektrischen Drucke. Jedes Dielektrium, welches einem steigenden elektrischen Drucke ausgesetzt wird, hat einen gewissen, am besten in Kilovolts pro Zentimeter zu messenden kritischen Wert, bei welchem eine molekulare

Änderung im Materiale eintritt, welcher sich durch das Durchschlagen der Entladung zu erkennen gibt. Bei Gasen als Dielektrium tritt, wenn die Stromquelle nur einen schwachen Strom zu liefern vermag, die Entladung immer in Form eines Funkens auf. Der plötzliche Übergang eines gasförmigen Dielektriums unter dem Einflusse einer elektrischen Spannung, von dem fast nicht leitenden in einen gut leitenden Zustand, wird der Teilung der Atome in noch kleinere Partikelchen, welche als gasförmige Ionen oder auch Elektronen bezeichnet werden, zugeschrieben. Dieser Übergang von dem nichtleitenden in den leitenden Zustand erfolgt bei Luft und einigen anderen Gasen, wenn die Spannungsdifferenz zwischen den Entladungsflächen 300—400 Volt erreicht, wobei natürlich auch die Entfernung derselben voneinander eine ganz bestimmte Rolle spielt. Tatsache ist jedoch, daß die Gase bis zu einem bestimmten kritischen Werte der Potentialdifferenz zwischen den Elektroden nahezu vollkommen Nichtleiter bleiben, jedoch sofort, wie dieser Wert erreicht oder überschritten wird, zu guten Leitern werden, wodurch der Ausgleich der Spannung erfolgen kann. Hierbei wird das Gas durch den hindurch gehenden Strom erhitzt. Diese Leitungsfähigkeit verschwindet jedoch sofort, wenn die Spannungsdifferenz unter diese kritische Grenze sinkt.

Eine bemerkenswerte Tatsache bei Gasen ist, daß der Durchschlagswiderstand derselben auf die Längeneinheit bezogen umso größer wird, je dünner die Gasschicht ist. So tritt der Durchschlag einer Luftschicht von 2 mm Stärke bei einer Spannung von 57 Kilovolts, einer Luftschicht von 16 mm, hingegen bei einer solchen von nur 27 Kilovolts pro Zentimeter ein. Dementsprechend ist die zum Durchschlagen einer 16 mm starken Luftschicht erforderliche Spannung nur etwa viermal so groß, als die, welche zum Durchschlagen einer 2 mm Luftschicht benötigt wird, also auf die Einheit bezogen um die Hälfte geringer.

Die zur Erzielung eines Funkens pro Zentimeter erforderliche elektromotorische Kraft hängt sowohl von dem Gasdrucke als auch der Funkenlänge ab. Wie jedoch Peace nachgewiesen hat, läßt sich unter einer Spannung von 300 Volts in keinem Falle ein Funken erzielen.

Professor Trowbridge hat ferner gezeigt, daß atmosphärische Luft unter normalem Drucke bei Einwirkung einer Spannung von 2,000.000 Volts leitend wird und sich dann

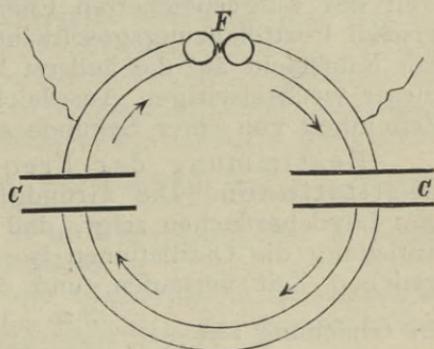
ebenso verhält, wie verdünnte Gase unter dem Einflusse geringerer elektromotorischer Kräfte.

Leinöl und Baumöl haben einen bedeutend größeren Durchschlagswiderstand als atmosphärische Luft und wurden deshalb Versuche unternommen, die Funkenkugeln in diese Öle einzulegen, um auf diese Weise eine größere Potentialdifferenz zwischen den Kugeln zu erreichen, ehe die Entladung erfolgt. Es zeigte sich hierbei jedoch der Übelstand, daß der Durchschlag bei Anwendung der Ölisolation nicht so plötzlich erfolgt als bei gasförmigen Dielektrikums.

Verfolgung des Vorganges bei der Entladung von Leydenerflaschen oder Kondensatoren. Um den Vorgang, welcher sich bei

Entladung der Leydenerflaschen durch die Funkenkugeln in der in Fig. 51 gegebenen Anordnung abspielt, genauer verfolgen zu können, bedienen wir uns der etwas vereinfachten Darstellung in Fig. 52, bei welcher die Verbindung mit dem Induktorium nur angedeutet erscheint. Sobald durch die Primärspule in der Sekundärspule des Induktoriums ein Strom induziert wird, ladet derselbe die beiden inneren Beläge der beiden

Fig. 52.



Sätze von Leydenerflaschen im entgegengesetzten Sinne, wodurch eine elektrische Spannung in dem, die beiden Beläge trennenden Dielektrikum entsteht und der gegenüberliegende Belag im entgegengesetzten Sinne geladen wird. Hierdurch tritt gleichzeitig auch eine sich immer verstärkende Spannung zwischen den Funkenkugeln auf. Wird nun der Luftraum zwischen den beiden Kugeln unter dem Einflusse der herrschenden Spannung leitend, so gleichen sich die Spannungen der inneren Beläge in Form eines momentanen Stromes aus. Infolgedessen muß, da die gegenüberliegenden Beläge die entgegengesetzte Ladung haben, auch durch den, selbe verbindenden ununterbrochenen Leiter ein Strom gleicher Richtung hindurchgehen, wie dies durch die Pfeile angedeutet ist. Sobald die Stromarbeit vollständig durch den Widerstand aufgezehrt ist, gelangt das ganze System so-

fort wieder in den ursprünglichen Ruhezustand; da dies aber bei geeigneter Wahl des Widerstandes nicht sofort der Fall ist, wird vorerst nur ein Teil der Stromarbeit in Wärme umgesetzt, während der andere Teil, da der Stromkreis Induktanz besitzt, in dem Leiter einen Strom entgegengesetzter Richtung induziert. Hierdurch werden nun wieder die äußeren Belege der Flaschen, und zwar im entgegengesetzten Sinne wie vorher, geladen und influenzieren an den inneren Belegen der Flaschen gleichfalls eine Ladung entgegengesetzter Richtung wie vorher, die wieder, solange die Spannung groß genug ist, um die Luft zwischen der Funkenstrecke leitend zu machen, einen neuerlichen Funken, und zwar in entgegengesetzter Richtung auslöst, worauf das Spiel von neuem beginnt und sich solange fortsetzt, bis der größte Teil der aufgespeicherten Energie aufgezehrt ist. Bei der großen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität wird mit Rücksicht auf die äußerst kurze Leitungslänge die Zahl dieser wechselseitigen Ausgleiche oder Oszillationen in der Zeiteinheit von einer Sekunde eine sehr große sein.

Bestimmung der Frequenz dieser elektrischen Oszillationen. Die Grundgleichung für die Entladung von Leydenerflächen zeigt, daß im Falle der oszillatorischen Entladung die Oszillationen isochron sind, d. h. stets in der gleichen Zeit verlaufen, und daß die Zeitperiode  $t$  durch

$$\text{die Gleichung } t = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LK} - \frac{R^2}{4L^2}}} \text{ bestimmt wird.}$$

Nun ist fast in allen praktischen Fällen der Ausdruck  $\frac{R^2}{4L^2}$  im Vergleiche zu  $\frac{1}{LK}$  sehr klein, so daß die Zeitperiode unter Vernachlässigung des zweiten Gliedes annähernd durch die Gleichung  $t = 2\pi\sqrt{LK}$  gegeben. Wenn ein materieller Körper unter dem Einflusse von Masse, Trägheit und Elastizität kleine Schwingungen vollführt, so wird die Zeit

dieser Vibrationen durch die Gleichung  $t = 2\sqrt{\frac{J}{K}} = 2\pi\sqrt{JP}$

ausgedrückt, wobei  $K$  den Quotienten der vereinigten mechanischen Wirkungen, welche die kleine Winkelverschiebung verursachen, geteilt durch die Größe dieser Verschiebung darstellt und welche als jene Kraft bezeichnet werden kann, welche die Einheit der Winkelverschiebung hervorruft. Der

reciproke Wert von  $K$ , d. i.  $1/K$ , welcher auch mit  $P$  bezeichnet erscheint, läßt sich zweckmäßig als die elastische Geschmeidigkeit bezeichnen. Dementsprechend ist die Zeitperiode der Schwingungen eines Körpers, welcher nur kleine Schwingungen vollführt,  $2\pi$ mal das geometrische Mittel des Trägheitsmomentes  $J$  um die Achse der Schwingungen und dessen elastischer Geschmeidigkeit  $P$ .

Bei elektrischen Oszillationen tritt an Stelle des Trägheitsmomentes, die Induktanz des Stromkreises und an Stelle der elastischen Geschmeidigkeit, die Kapazität der Kondensatoren, beziehungsweise Flaschen, so daß die Zeitperiode der elektrischen Oszillationen  $2\pi$ mal dem geometrischen Mittel aus dem Produkte der Induktanz des Stromkreises mit der Kapazität der Leydenerflaschen entspricht, wobei jedes derselben nach dem gleichen Maßsysteme entweder dem elektromagnetischen oder dem elektrostatischen bestimmt werden muß. Wird  $K$  nach dem elektrostatischen System bestimmt, so ist obige Formel, weil  $9 \times 10^{20}$  elektrostatische Einheiten einer elektromagnetischen Einheit entsprechen, in die Formel

$$t = \frac{2\pi}{3 \times 10^{10}} \sqrt{L K}$$
 abzuändern. Für den Fall, daß  $K$  in Mikrofarads gemessen wird, so ist  $L$  in Megahenry oder in Zentimeter geteilt durch 10 auszudrücken.

Es ist nun angezeigt, die Kapazität in Mikrofarads, welche  $9 \times 10^5$  Centimeter oder Einheiten der Kapazität bedeuten, auszudrücken, und man erhält sodann

$$t = 2\pi \sqrt{\frac{L(\text{cms.}) \times K(\text{mfd.})}{10^{15}}}$$

Da nun die Frequenz  $n$  den reziproken Wert von  $t$  darstellt, so erhalten wir für dieselbe annähernd folgenden Ausdruck

$$n = \frac{5,000,000}{\sqrt{K(\text{mfd.}) \times L(\text{cms.})}}$$

Die Induktanz eines Stromkreises kann nach der etwas abgeänderten bekannten Formel von Neumann

$$L = 2l \left( 2.3026 \log_{10} \frac{4l}{d} - 1 \right)$$

bestimmt werden, in welcher  $l$  die Drahtlänge und  $d$  den Drahtdurchmesser bedeutet.

Hat nun der Draht einen Durchmesser von  $4\text{ mm}$  und eine Länge von  $1\text{ m}$ , so berechnet sich  $L$  mit  $1.230\text{ cm}$ . Beträgt die Kapazität der Flaschen  $1/300$  Mikrofarads oder

3000 *cm*, so beträgt die Zeit der Oszillation

$$t = \frac{2\pi}{3 \times 10^{10}} \sqrt{3000 \times 1.230} = \frac{3.787}{10^{10}} \text{ Sekunden}$$

und die Zahl der Oszillationen in der Sekunde beläuft sich auf annähernd  $2.1/2$  Millionen. Die vorstehende Berechnung, beziehungsweise Formel bezieht sich jedoch nur auf gerade gestreckte Drähte. Ist jedoch der Draht zu einem Rechtecke gewunden, so läßt sich, wenn die Länge des Drahtes  $l$  im Vergleiche zum Querschnitte  $d$  desselben sehr groß ist, ohne allzugroßen Fehler durch die Formel  $L = 2l \left( \log \frac{4l}{\pi d} - l \right)$  ausdrücken. Ist nun der Draht in einer Reihe von Windungen aufgewunden, so ist die Induktanz desselben, wenn deren Zahl  $N$  nicht allzugroß ist, beinahe  $N^2$ mal so groß als wenn nur eine Windung vorhanden wäre und ist dementsprechend die Induktanz einer in Windungen von großem Durchmesser aufgewundenen Spule von  $N$ -Windungen hinreichend genau durch die Formel

$$L = 2l N^2 \left( 2.3016 \log_{10} \frac{4l}{d} - l \right)$$

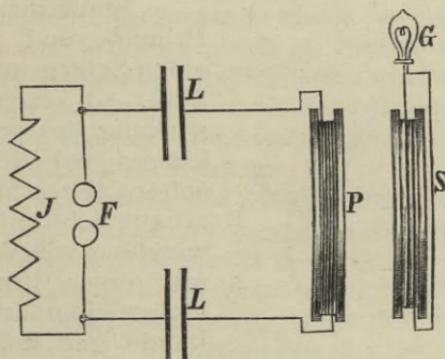
wobei  $l$  die Länge des Drahtes und  $d$  den Durchmesser desselben, der jedoch im Verhältnisse zu  $4l$  sehr klein sein muß, darstellt.

Man ist sonach in der Lage, die Zahl der in der Sekunde zu vollführenden elektrischen Oszillation durch Vermehrung oder Verminderung der Windungszahl  $N$  innerhalb gewisser Grenzen annähernd regulieren zu können.

Die Erzeugung sekundärer elektrischer Schwingungen. Wenn man in die Nähe eines Stromkreises mit derartigen Windungen  $P$  (Fig. 53), in welchem Oszillationen erregt werden, eine ganz gleiche jedoch in sich geschlossene Spule  $S$  parallel zu derselben anordnet, so entstehen in der letzteren gleichfalls elektrische Oszillationen, welche durch den Primärstromkreis induziert werden. Besteht die Spule  $S$  aus nur wenigen Windungen, so lassen sich die Oszillationen durch eine, mit den beiden Enden derselben verbundene kleine Glühlampe  $G$  nachweisen, indem dieselbe sofort aufleuchtet, sobald in der Primärspule  $P$  Oszillationen entstehen. Hierbei kann die Entfernung zwischen diesen beiden Spulen, je nach der Intensität der primär erregten Schwingungen bis zu 1 *m* und darüber betragen. In der Figur

bedeuten ferner noch  $L$  die Leydenerflaschen,  $J$  die Sekundärspule des Induktoriums und  $F$  die Funkenstrecke. Es werden hier die Schwingungen, und zwar über einen bedeutenden Luftwiderstand, herabtransformiert. Demnach müssen, um diese Fernwirkungen vollziehen zu können, um den ganzen Raum der Primärspule oszillierende magnetische Schwingungen entstehen, deren Richtung sehr rasch wechselt. Die Kraftlinien des so entstandenen schwingenden magnetischen Feldes, welche die Windungen der Sekundärspule durchdringen, induzieren sonach in denselben sekundäre elektrische Oszillationen von der gleichen Frequenz der Primärspule, deren

Fig. 53.



elektromotorische Kraft je nach der relativen Anzahl von Windungen größer oder kleiner wird.

In ganz ähnlicher Weise lassen sich die Schwingungen hinauftransformieren. Windet man beispielsweise den Draht des Primärkreises um eine Ebonitröhre, welche in ein zylindrisches Glasgefäß eingesenkt wird, und ist dieses Glasgefäß an der Außenseite mit vielen Windungen isolierten Drahtes umhüllt, so läßt sich, wenn die beiden Enden mit zwei Vakuumröhren verbunden sind, nachweisen, daß die elektromotorische Kraft des Sekundärkreises größer ist als die des Primären.

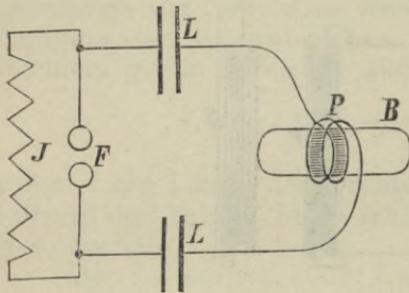
Um solehe sekundäre Schwingungen hervorzurufen, ist es jedoch nicht notwendig, daß der sekundäre Stromkreis aus einem festen Leiter besteht, indem derartige Schwingungen auch in ähnlicher Weise in verdünnten Gasen erzeugt

werden können. Wird eine Glasbirne *B* (Fig. 54), welche möglichst verdünnte Luft enthält, durch einige Windungen *P* des primären Stromkreises umschlossen, so entsteht in dieser Glasbirne, sobald im Primärkreise oszillatorische Ströme entstehen, an der Stelle, welche von den Windungen umgeben ist, ein lebhaft leuchtender Ring. Die Leydenerflaschen, Sekundärspule des Induktoriums und Funkenstrecke sind wie vorhin mit *L*, *I* und *F* bezeichnet. Dieses Experiment liefert ferner einen Beweis dafür, daß verdünnte Gase sehr gute Leiter sind, wesentlich bessere als elektrolytische Flüssigkeiten oder manche Metalle.

Schirmwirkung. Die sekundären elektrischen Oszillationen lassen auch die Erscheinung der magnetischen Schirmwirkungen in deutlichster Weise hervortreten.

Stellt man zwischen die Primär- und Sekundärspule einen Schirm aus perforiertem Zink, so erscheint die Einwirkung des primären Stromkreises auf den Sekundären nahezu abgeschnitten. Ein derartiger Schirm würde bei Anwendung von Wechselströmen mit einer Frequenz bis zu einigen hundert in der Sekunde gar keine hemmende Wirkung ausüben.

Fig. 54.



Häufig wird die Erscheinung der magnetischen Schirmwirkung dem neutralisierenden Einflusse des sekundären Stromes auf die Masse des Schirmes zugeschrieben. Diese Art der Erklärung erscheint jedoch nicht ausreichend und dürfte die folgende jedenfalls deutlichere physikalische Erklärung für die Ursache der Schirmwirkung bessere Dienste leisten.

Die Fortpflanzung magnetischer Strömungen durch und in einen Leiter läßt sich in jeder Beziehung mit der Diffusion von Flüssigkeiten oder mit der Fortpflanzung der Wärme in einem Leiter vergleichen. Sowohl die Gesetze der Diffusion als auch die der Wärmeverbreitung sind genau bekannt und mathematisch festgelegt und sind die diesbezüglichen Gleichungen mit jenen, welche die Fortpflanzung magnetischer Strömungen oder elektrischer Ströme in einem Leiter bestimmen lassen, vollkommen identisch. Für den Fall magnetischer Strömungen steht deren Fortpflanzungsfähigkeit im umgekehrten Ver-

hältnisse zur elektrischen Leitungsfähigkeit und der magnetischen Permeabilität des Materiales.

Wird beispielsweise ein Eisenzylinder plötzlich in ein gleichförmiges magnetisches Feld gebracht, so beginnen die Kraftlinien vorerst in die Oberfläche einzudringen und sodann sozusagen mehr oder minder rasch in die Masse einzusickern. Dies wurde experimentell nachgewiesen und gezeigt, daß die Zeit, welche bis zu einer vollkommen gleichmäßigen Durchdringung der Kraftlinien durch das Eisen verfließt, im Verhältnis zum Quadrate des Durchmessers des Zylinders zunimmt. Hieraus folgt, daß der Eisenzylinder oder ein anderer magnetisch leitender Körper, welcher in ein rasch wechselndes magnetisches Feld gebracht wird, niemals bis zum Mittelpunkte der Masse vom magnetischen Kraftflusse durchströmt wird, wenn dessen Durchmesser einen bestimmten Wert, der von der Zahl der Wechsel abhängt, überschreitet, indem der Kraftfluß einer Richtung verschwindet, bevor er Zeit hat, die ganze Masse zu durchdringen, so daß eine Fortpflanzung desselben durch den Körper nicht stattfinden kann. Hierdurch ist diese Schirmwirkung auch erklärt.

Skineffekt. Genau die gleiche Erscheinung ist, wie ja allbekannt, bei zylindrischen Leitern, welche von einem Wechselstrom von sehr großer Frequenz durchflossen werden, zu beobachten. Die Erklärung dieser Erscheinung, welche allgemein als »Skineffekt« bezeichnet wird, liegt darin, daß der Strom nicht die Zeit hat, bis in das Innere des Leiters einzudringen, wodurch sich auch der Widerstand des Leiters scheinbar erhöht. Daß diese Erscheinung bei Leitern von größerem Durchmesser viel auffälliger hervortritt, als bei solchen von kleinem Durchmesser, erklärt sich von selbst.

Für Wechselströme sehr hoher Frequenz, als welche die oszillatorischen Ströme zu bezeichnen sind, läßt sich der scheinbare Widerstand des Leiters nach nachstehender einfacher Formel feststellen  $R^1 = \sqrt{\pi n l \mu} R = R \sqrt{\pi n \mu l S}$  in welcher  $R$  den wirklichen Ohmschen Widerstand des Leiters,  $l$  dessen Länge,  $\mu$  die Permeabilität,  $n$  die Frequenz und  $S$  den Querschnitt bedeutet. Demnach wechselt der scheinbare Widerstand im Verhältnis zur Quadratwurzel der Frequenz.

Als Beispiel für das scheinbare Ansteigen des Widerstandes sei angenommen, daß der Kupferleiter die Länge von 1 m und den Querschnitt von 1 cm<sup>2</sup> habe und die Frequenz 10<sup>6</sup> betrage. In diesem Falle wird  $\mu = 1$  und berechnet sich demnach dieser Widerstand mit dem 44fachen des Ohmschen Widerstandes.

Die scheinbare Induktanz eines von oszillierenden elektrischen Strömen durchflossenen Leiters  $L^1$  drückt sich durch die Formel  $L^1 = A + \frac{R^1}{2 \pi n}$  aus, wobei  $A$  eine Größe ist, welche von der geometrischen Form des Leiters, aber nicht von dessen Leitungswiderstand abhängt und  $R^1$  wieder den scheinbaren Widerstand und  $n$  die Frequenz bedeutet. Es nimmt demnach die scheinbare Induktanz ab, sobald die Frequenz ansteigt.

Die Verdichtung eines Wechselstromes an der Außenseite eines Leiters oder der Skineffekt tritt namentlich bei magnetischen Metallen, selbst bei niederen Frequenzen auffallend hervor. Nach Untersuchungen von J. J. Thomson mit sehr dünnen flachen Platten nimmt die Stromdichte von der Oberfläche nach einwärts im quadratischen Verhältnisse ab, wenn die Entfernung von der Oberfläche im arithmetischen Verhältnisse zunimmt. Diese Abnahme ist für jeden von der Oberfläche entfernten Punkt im Inneren der Leitungsmasse durch den Faktor  $f = 2 \pi \sqrt{\frac{\mu \cdot n}{\rho}}$  bestimmt, in

welchem  $\mu$  die magnetische Permeabilität,  $\rho$  den spezifischen Widerstand des Materials und  $n$  die Frequenz bezeichnet.

Bei einer Eisenplatte, für welche bei  $\rho = 10^4$ ,  $\mu = 1000$  ist, beträgt dieser Faktor unter Annahme einer Frequenz von 100 annähernd 20 und wird infolgedessen der Strom, dessen Maximalwerte an der Oberfläche gleich 1 angenommen, bei Eindringen in eine Tiefe von 0.5 mm Tiefe nur mehr 0.368 betragen, bei Eindringen bis zu einer Tiefe von 2 mm hingegen nur mehr 0.018. Der Strom wird also praktisch nicht tiefer als 2 mm in den Eisenleiter eindringen, während sich diese Distanz für Kupfer um das 13fache, also auf 26 mm, erhöht.

Es ist nun auf Grund des Vorstehenden ohne weiteres einzusehen, daß bei elektrischen Oszillationen, welche eine Frequenz von Millionen haben, der Teil des Leiters, welcher den Strom leitet, kaum  $\frac{1}{100}$  mm dick ist. Dementsprechend übt auch der spezifische Widerstand des Leitungsmaterials auf die Gesamtwirkung nur wenig Einfluß aus und wird die ganze Wirkung hauptsächlich durch die Frequenz und Induktanz bestimmt, welche letztere wieder von der geometrischen Form des Stromkreises abhängt.

Hierdurch findet jedoch eine solche Stromverdichtung in den äußeren Partien des Leiters statt, daß dieselben mehr

Strom führen, als genügen würde, denselben zu schmelzen, wenn der Strom ein kontinuierlicher wäre.

Durch die Tatsache, daß bei Wechselströmen hoher Frequenz die Strombahn nur an der Oberfläche des Leiters führt, wird nicht nur der Widerstand des Leiters für die Einheit der Länge bedeutend größer, als dies für Gleichströme der Fall wäre, weil eben weniger vom Leiter in Aktion gelangt, sondern es verringert sich auch die Induktanz des Leiters.

Entstehen der Induktanz. Um sich das Entstehen der Induktanz zu erklären, kann man sich den in einem Drahte fließenden Strom in eine Reihe von Stromfäden zerlegt denken. Änderungen der Stärke in einem dieser Stromfäden oder Stromelemente erregen durch Induktionswirkung entweder entgegengesetzt wirkende oder unterstützende elektromotorische Kräfte in den übrigen Stromelementen. Je näher aneinander gepreßt diese Stromfäden verlaufen, desto größer wird die gegenseitige induktive Wirkung, desto größer auch die Selbstinduktion oder Induktanz des betreffenden Stromkreises sein. Im Gegensatz hierzu wird die Selbstinduktion umso geringer sein, je weiter diese Stromelemente voneinander abstehen. Verläuft nun der Strom nur an der Oberfläche des Leiters, wie dies bei den oszillatorischen Strömen der Fall ist, so stehen die einzelnen Stromelemente so weit als möglich voneinander ab, und muß infolgedessen die Induktanz des ganzen Stromkreises viel geringer werden, als wenn der Gesamtstrom einheitlich über den Querschnitt des Leiters verbreitet ist. Theorie und Experiment zeigen in gleicher Weise, daß bei periodisch rasch wechselnden Strömen nur die Oberfläche des Leiters stromdurchflossen ist, und daß eine eben so rasch wechselnde magnetische Kraft ebenfalls nur eine Magnetisierung an der Oberfläche eines magnetisierbaren Materiales hervorruft, weil die magnetischen Kraftlinien nicht Zeit haben, tiefer in das Innere desselben einzudringen. Aber auch die Form des Leiters beeinflußt die Induktanz des Stromkreises. Gibt man dem Leiter eine solche Form, daß die mittleren Partien desselben möglichst nahe der Oberfläche liegen, z. B. den eines flachen Streifens, so wird der Stromkreis eine geringere Induktanz aufweisen, wie wenn ein Leiter von gleichem Querschnitt verwendet würde.

Die Induktanz ändert sich mit der Form des Querschnittes ebenso, wie der Torsionswiderstand. Bei gleicher Querschnittsfläche hat der flache Streifen eine geringere In-

duktanz und einen geringeren Torsionswiderstand wie ein kreisförmiger Draht aus demselben Material.

Beziehung zwischen Skineffekt und allmählich abnehmenden elektrischen Oszillationen. Im vorhergehenden wurde im allgemeinen angenommen, daß die elektrischen Oszillationen gleichförmig seien, d. h. Stromstärke und Amplitude für jeden Wechsel gleich sind. Bei den oszillatorischen Strömen, wie solche durch die Entladung von Leydenerflaschen entstehen, trifft diese Voraussetzung jedoch nicht zu, indem beide fortwährend abnehmen, bis selbe endlich gänzlich verschwinden. Für derartige, sozusagen allmählich absterbende Ströme wurde nun nachgewiesen, daß selbe den Skineffekt erhöhen, wodurch der scheinbare Widerstand des Leiters ebenfalls größer werden muß, während umgekehrt dieser erhöhte Skineffekt das Entstehen von Oszillationen bei Entladungen begünstigt.

Nach der einleitend gegebenen einfachen Theorie soll, wenn der Ohmsche Widerstand des Stromkreises  $R = \sqrt{\frac{4L}{K}}$  beträgt, die Entladung von der oszillatorischen Form in die einfache Entladung nach einer Richtung übergehen. Tatsächlich wurde jedoch experimentell erwiesen, daß die Entladung in diesem Falle noch immer eine oszillatorische ist. Nach vorstehendem sind demnach drei verschiedene Arten von elektrischen Widerständen zu unterscheiden und zwar: 1. der Ohmsche Widerstand ( $R$ ), d. i. jener Widerstand, welchen ein Leiter dem Durchgange eines kontinuierlichen Gleichstromes entgegengesetzt, 2. der Widerstand, welchen ein Leiter dem Durchgange eines gleichmäßigen, wechselnden Stromes entgegengesetzt und welcher als Wechselstromwiderstand  $R'$  bezeichnet werden kann, und endlich 3. der Widerstand, welchen der Leiter dem Durchgange eines oszillatorischen, sich allmählich abdämpfenden Stromes entgegengesetzt und welcher der Einfachheit halber oszillatorischer Widerstand  $R''$  benannt werden soll.

Dieser letztere Widerstand, welcher bedeutend höher als der Ohmsche Widerstand und auch größer als der Wechselstromwiderstand ist, hängt sowohl von der Frequenz, als auch von dem Dämpfungsfaktor ab. Die Erklärung der Erhöhung des Widerstandes eines Leiters bei Durchgang von vergehenden oszillatorischen Strömen, wird dadurch zu geben versucht, daß man die Entstehung von elektrischen Wellen,

welche sich vom Leiter loslösen, in einem solchen Stromkreise annimmt.

Dies bildet eine Quelle zur Zerstreung der Energie, welche als nicht rückwirkend, gleichwertig mit der Erhöhung des wirklichen Widerstandes des Stromkreises, wie solcher für Wechselströme berechnet wird, angesehen werden kann.

Das Verhältnis  $R''/R'$  zwischen oszillatorischen und Wechselströmen gleicher Frequenz hängt von dem Dämpfungsfaktor  $k$  ab und beträgt 2·197 wenn  $k=1$  und 7·85 wenn  $k=3$  ist, was besagt, daß  $R''$  im ersteren Falle 2·197 und im zweiten Falle 7·35mal größer ist als  $R'$ .

Einfluß der Induktanz des sekundären Stromkreises. Im sekundären Stromkreise, auf welchen elektrische Schwingungen übertragen werden, übt die Induktanz einen großen Einfluß auf den Durchgang elektrischer Schwingungen aus, indem selbe ein Hindernis für selbe bildet und dieselben, sobald selbe eine gewisse Höhe erreicht haben, erdrosselt. Nehmen wir das in Fig. 53 bereits erläuterte Beispiel, bei welchem in den Sekundärstromkreis eine Glühlampe eingeschaltet wird, die bei Durchgang induzierter oszillatorischer Ströme erglüht und denken wir uns in denselben einen Draht von so geringem Widerstande, daß er die Größe der Oszillationen nicht beeinflussen kann, derart in Windungen eingeschaltet, daß diese Windungen leicht auseinandergezogen oder zusammengedrückt werden können. Sind diese Windungen weit auseinandergezogen, so üben sie keinen Einfluß auf die Helligkeit der Glühlampe aus, sobald selbe aber sehr nahe aneinander gerückt und hierdurch die Induktanz des Stromkreises erhöht wird, verlischt das Licht plötzlich.

Diese Steigerung der Induktanz läßt sich auf die gegenseitige Einwirkung der einzelnen Windungen zurückführen, indem der in jeder Windung zirkulierende Strom in der benachbarten Windung eine entgegengesetzt wirkende elektromotorische Kraft induziert, so daß sich diese Ströme gegenseitig in ihrer Wirkung hehindern. Will man daher elektrische Oszillationen unterbinden, so braucht man den Draht des Stromkreises nur in vielen und engen Windungen aufzuspulen, da selbst nur wenige Windungen bereits ein großes Hindernis für den Durchgang elektrischer Oszillationen bilden.

Die Magnetisierung von Eisen durch oszillatorische Ströme. Führt man in die Höhlung der Spule  $S$  (Fig. 53) des sekundären Stromkreises einen Eisenkern oder ein Bündel von Eisendrähten ein, so hat dies entweder keinen oder nur

einen sehr geringen Einfluß auf die Induktanz derselben. Man ersieht dies am besten, wenn man diese Spule, jedoch ohne Eisenkern, soweit von der Primärspule entfernt, daß das Glühen der Lampe gerade noch bemerkbar ist. Schiebt man jetzt den Eisenkern ein, so ist die Wirkung bedeutend geringer, als wie selbe in dem vorhergehenden Falle war, wo nur ein geringes Näherrücken der einzelnen Windungen des zu einer Rolle aufgewundenen Nebendrahtes, ein vollständiges Erlöschen der Lampe herbeiführte. In ähnlicher Weise lassen sich eine Reihe von Experimenten ausführen, welche zur Anschauung Veranlassung geben können, daß die Induktanz einer derartigen Spule, bei elektrischen Oszillationen durch die Gegenwart von Eisen nicht in empfindlicher Weise beeinflußt wird und daher den Schluß gestatten, daß eine Magnetisierung des Eisens durch oszillatorische Ströme nicht erfolgt. Es geht eben aus den vorhergehenden Erklärungen hervor, daß die durch die Oszillation hervorgerufenen, rasch wechselnden Kräfte für jeden Fall nur eine Magnetisierung des Eisens bis zu einer sehr geringen Tiefe desselben bewirken können, welche mit steigender Frequenz noch weiter herabgedrückt wird.

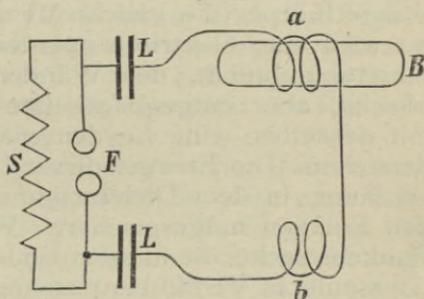
Die Ansicht, daß Eisen und andere ferromagnetische Materialien durch elektrische Oszillationen nicht magnetisiert werden, hat sich jedoch als nicht stichhältig erwiesen. Wenn auch Hertz zu dem Schlusse gelangte, daß im Falle der Verwendung von Eisendrähten an Stelle von Kupferdrähten für die induzierte Spule des Sekundärkreises die magnetische Suszeptibilität keine Rolle spielt und die Induktanz nicht erhöht wird, wurde späterhin doch nachgewiesen, daß die Oszillationen bei Eisendrähten viel rascher gedämpft werden, als wenn Kupferdrähte zur Verwendung gelangen. Es muß sonach eine Energieabsorption durch Magnetisierung des Eisens stattfinden.

Dies läßt sich auch durch folgendes Experiment nachweisen: Wird der von den äußeren Belägen der Leydenerflaschen  $L$  abgehende Stromkreis in zwei Rollen  $a, b$  (Fig. 55) aufgewickelt und in Rolle  $a$  eine bis auf das Maximum der Leitungsfähigkeit luftleer gemachte Glasbirne  $B$  eingesteckt, so werden, wie dies bereits erklärt wurde, in derselben sekundäre Oszillationen induziert, welche sich durch das Entstehen eines helleuchtenden Ringes in derselben kundgeben. Steckt man jedoch in die Höhlung der Spule  $b$  einen leitenden Körper ein, welcher elektrische Energie zu absorbieren vermag, indem in selbem entweder tertiäre elektrische Oszillationen

erregt werden oder derselbe magnetisiert wird, so zeigt sich der dämpfende Effekt dieses Körpers sofort durch das Verschwinden des leuchtenden Ringes in *B* an.

Dieses Experiment läßt sich nun auch so ausgestalten, daß bei Einführung eines Bündels aus Kupferdraht in die zweite Windung *b* des primären Stromkreises nur eine geringe Schwächung des Leuchteffektes in der Glasbirne hervorgerufen wird. Sobald man jedoch das Bündel aus Kupferdraht durch ein solches aus Eisendraht von gleicher Größe ersetzt, tritt das vollständige Verlöschen in *B* sofort ein. Da nun der Leitungswiderstand des Eisendrahtes viel größer ist als der des Kupferdrahtes, läßt sich diese Erscheinung nur dadurch erklären, daß das Eisen hierbei magnetisiert wird, hierdurch die elek-

Fig. 55.



trischen Schwingungen dämpft, beziehungsweise Energie absorbiert. Die Schwächung der Energie bei Einbringung des Eisens läßt sich aber auch durch entsprechende photographische Aufnahme des in der Funkenstrecke auftretenden Funkens nachweisen, indem

sich hierbei zeigt, dass die Oszillationen desselben durch das Eisen verzögert und rasch gedämpft werden.

Als hinreichender Beweis der Magnetisierbarkeit des Eisens durch elektrische Oszillationen genügt jedoch die längst bekannte Tatsache, daß Nähnadeln durch die Entladung von Leydenerflaschen magnetisiert werden können. Gerade die Unregelmäßigkeit in der Polarität des rückbleibenden Magnetismus waren es, welche Josef Henry zur Vermutung führten, daß die Entladungen dieser Flaschen oszillatorische sind. Nach all dem Vorangehenden zeigt sich, daß die elektrischen Oszillationen alle Eigenschaften von Wechselströmen aufweisen, indem sie auch auf und ab transformiert werden können und das Eisen zu magnetisieren vermögen.

Sie zeigen aber im Gegensatze zu denselben eine außerordentliche Empfindlichkeit gegen die Induktanz der Stromkreise, welche sie durchlaufen sollen und im Falle der sekundären Übertragung oder Transformation, für die Schirmwirkung metallischer Leiter, welche bei Wechselströmen kaum bemerkbar ist.

Die Oszillationsperiode. Die Frequenz  $N$  elektrischer Oszillationen, welche in einem mit den Oberflächen von Leydenerflaschen verbundenen Entladungsstromkreis von geringem Widerstande erzeugt werden, läßt sich auch durch die Formel

$$N = \frac{3 \times 10^{10}}{2 \pi \sqrt{L K}}$$

ausdrücken, wobei  $L$  die Induktanz des Stromkreises in elektromagnetischem Maße und  $K$  die Kapazität der Flaschen in elektrostatischen Einheiten gemessen darstellt. Faraday hat nun den allgemein giltigen Satz aufgestellt, daß jede elektrische Ladung eines Körpers in ihrer Natur der Ladung einer Leydenerflasche ähnlich ist. Es ist sonach unmöglich, einem Körper eine positive Ladung zu geben, ohne daß irgend andere Körper die gleiche Menge negativer Ladung erhalten. So wird eine elektrisch geladene und isolierte Kugel in ein Zimmer gebracht, den Wänden desselben eine in Quantität gleiche, aber entgegengesetzte Ladung erteilen und sonach mit denselben eine Leydenerflasche oder einen Kondensator darstellen. Die Energie dieser Ladung ist, wie man dermalen annimmt, in dem Dielektrikum oder Zwischenraum zwischen den Belägen aufgespeichert. Werden die zwei Kugeln einer Funkenstrecke, die mit den Enden der Windungen einer Induktionsspule in Verbindung stehen, und zwar in einem einander entgegengesetzten Sinne, geladen, so stellt dies wieder nichts anderes dar, als einen Kondensator, und man kann annehmen, daß ähnlich wie bei den Magneten ein System elektrischer Spannungs- oder Kraftlinien den Zwischenraum von der einen Kugel zur anderen erfüllt.

Es entspricht sonach jeder Fall einer elektrischen Ladung und Entladung, wenn auch nicht in der Form, so doch dem Wesen nach dem Verhalten eines Kondensators unter den gleichen Bedingungen. Entladet man z. B. eine isolierte geladene Metallkugel dadurch, daß man den Fingerknöchel demselben nahe bringt, so entspricht dies vollkommen der Entladung eines Kondensators, wobei die geladene Kugel den einen Belag, die Zimmerwände und der mit derselben in Verbindung stehende Mensch den zweiten Belag und die zwischenliegende Luft das Dielektrikum darstellen. Für den überspringenden Funken sind alle Bedingungen zu dessen oszillatorischer Entwicklung gegeben und wird derselbe daher in der Regel oszillatorischer Natur sein. In der Tat sind die zwischen zwei Kugeln in einer Funkenstrecke auftretenden Entladungen unter

bestimmten Bedingungen, wie dies Feddersen experimentell durch Aufnahme des Funkens nachgewiesen hat, oszillatorischer Natur und zeigen die aufgenommenen Bilder deutlich den alternierenden Charakter und das sukzessive Abnehmen der Intensität der zahlreichen Einzelfunken an, aus welchen sich der unserem Auge erscheinende und rasch vergehende Gesamtfunke zusammensetzt. Die Zwischenzeit, welche zwischen zwei in gleicher Richtung überspringenden Funken während einer einmaligen Entladung vergeht, wird als die »Zeit- oder Oszillationsperiode« des Leiters bezeichnet. Jeder Leiter hat hierbei eine natürliche Oszillationsperiode. Man ist in der Lage, die Oszillationsperiode ebenso zu forzieren, wie man dies bei einem Pendel, einer Feder etc. durch Anwendung besonderer Mittel zu erreichen in der Lage ist. Sobald jedoch diese Körper durch einen forzierten Impuls zu Schwingungen veranlaßt und dann sich selbst überlassen werden, nehmen selbe nach kurzer Zeit jene Schwingungsdauer an, welche durch die Trägheit und die Elastizität des Körpers bestimmt ist.

Dasselbe trifft auch für jeden elektrischen Leiter und leitenden Stromkreis zu. Jeder derselben hat eine natürliche Oszillationsperiode, die durch die geometrische Form und die Natur des umgebenden Mediums oder in anderen Worten durch deren Induktanz und Kapazität bestimmt ist.

Die mathematische Begründung für die Feststellung der natürlichen Periode von durch elektrische Ladungen hervorgerufenen Oszillationen wurde von J. J. Thomson gegeben und läßt sich für eine leitende Kugel vom Halbmesser  $r$  in Zentimetern durch nachfolgende Formel berechnen:

$$t = \frac{r}{4.135 \times 10^6} \text{ sec.}$$

Dementsprechend würde die Periode einer Oszillation für eine Kugel von 6 cm Halbmesser 100 Milliontel oder 0.0000001 einer Sekunde betragen.

Die Erde als geladene Kugel betrachtet, würde annähernd eine Zeitperiode von  $\frac{1}{6}$  sec. und die Sonne eine solche von  $16\frac{2}{3}$  sec. haben.

Nach demselben Autor ist die Zeitperiode der elektrischen Oszillationen zweier konzentrischer Kugeln von nahezu gleichem Radius, deren eine positiv, die andere negativ geladen ist.

$$t = \frac{r}{6.756 \times 10^6} \text{ sec.}$$

In diesem Falle würde sich, wenn den zweiten entgegengesetzt geladenen Belag die obere Erdatmosphäre bildet, die Zeitperiode der Oszillation für die Erde auf ungefähr  $\frac{1}{11}$  sec. belaufen.

Es zeigt sich nun auf Grund eingehender theoretischer Untersuchungen, daß bei Leitern von bestimmter Form die Oszillationen sehr rasch vergehen, bei anderen hingegen lange andauern. So verschwinden beispielsweise solche Oszillationen, in einer Kugel erregt, sehr rasch, während hingegen bei Erregung in einem nahezu geschlossenen kreisförmigen Ringe so lange an, bis die gesamte elektrische Energie durch Umwandlung in Wärme aufgezehrt ist. Wir haben somit im ersteren Falle einen sehr kräftigen Dämpfungsfaktor, der jedoch nicht durch den elektrischen Widerstand, sondern wie dies noch ausführlich erläutert wird, dadurch gegeben ist, daß die elektrische Energie durch Umwandlung derselben in »Elektrische Wellen« im Leiter rasch aufgezehrt wird.

Elektrische Radiatoren. Es läßt sich demnach ebenso gut, wie von guten und schlechten Leitern, auch von guten oder schlechten Radiatoren sprechen. Ein Analogon findet sich hier in der Wärmeausstrahlung. Ein heißer Körper von geringem Rauminhalt und großer Oberfläche, der außerdem mit Lampenruß bedeckt wird, strahlt die Wärme viel schneller aus und erkaltet infolgedessen viel rascher, als ein gleichfalls heißer aber massiger Körper mit glänzend polierter Oberfläche. Der erstere ist mit einem guten, der letztere mit einem schlechten elektrischen Radiator zu vergleichen. In dem vorerwähnten, als schlechten Radiator bezeichneten, Metallringe dauern die elektrischen Oszillationen relativ sehr lange an und es sind mehrere hunderte, ja tausende solcher Oszillationen zu verzeichnen, ehe sie zum Stillstande gelangen. Im Gegensatze hierzu treten in einem guten Radiator kaum zwei solcher Oszillationen auf.

Im allgemeinen läßt sich sagen, daß offene Stromkreise, wie Stangen, Kugeln, Ellipsoide etc. gute elektrische Radiatoren sind, während nahezu geschlossene Stromkreise, also Ringe oder Drahtschlingen, als schlechte Radiatoren bezeichnet werden müssen.

Bei Leitern, welche aus zwei durch einen geraden Draht verbundenen Kugeln bestehen, und welche unter dem Namen Kugelradiatoren bekannt sind, gestalten sich die Verhältnisse etwas anders. Ist die Kapazität jeder der Kugeln gleich  $K$ , so ist die der beiden in Serie verbundenen Kugeln gleich

$K/2$ . Vernachlässigt man nun die Kapazität des Drahtes, welche eine sehr geringe ist, und nimmt an, daß der Draht nur mit Induktanz, die bei den Kugeln jedoch nur mit Kapazität behaftet seien, so erhält man für die Zeit der Vibration folgenden Ausdruck:  $t = \pi \sqrt{2 K L}$ .

Daß hierbei mit der Kapazität der beiden in Serie verbundenen Kugeln oder mit der halben Kapazität einer Kugel gerechnet werden muß, wurde bereits von Hertz angedeutet, aber erst von Poincaré positiv nachgewiesen.

Dieser Ausdruck für die Zeit einer Vibration eines Kugelradiators kompliziert sich sehr, wenn man die Wechsel in dem Werte der Induktanz des Drahtes, wie solcher durch die Ansammlung des Stromes an der Oberfläche der Kugeln bedingt wird, berücksichtigt, doch ist ein Eingehen hierauf, da man mit obigem im allgemeinen das Auslangen findet, nicht unbedingt notwendig.

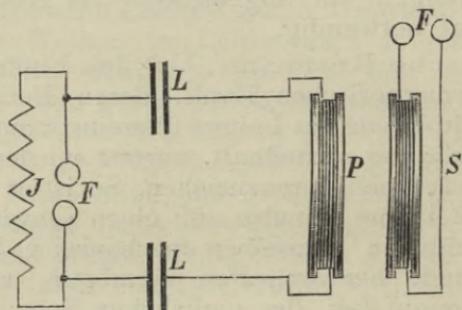
Elektrische Resonanz. Um den Einfluß einer periodischen elektromotorischen Kraft, deren Periode mit der natürlichen Zeitperiode des Leiters übereinstimmt, zu studieren, ist es zur Erklärung vorteilhaft, vorerst wieder ein analoges physikalisches Beispiel heranzuziehen. So ist es eine bekannte Tatsache, daß kleine Impulse auf einen schwingungsfähigen Körper ausgeübt in demselben mechanische Schwingungen großer Amplitude hervorzurufen vermögen, wenn diese Impulse in Bezug auf Zeit, der natürlichen Schwingungsperiode dieses Körpers entsprechen. Akustische Beispiele lassen sich hierfür viele finden, so z. B. wenn an die Zinke einer Stimmgabel eine Schnur befestigt wird, deren Länge und Spannung abgeändert werden kann. Es zeigt sich nun, daß diese Schnur dann in Schwingungen von beträchtlicher Amplitude versetzt wird, wenn die Länge und Spannung derselben so bemessen wird, daß deren natürliche Schwingungsperiode, mit der Periode der Impulse, welche durch die tönende Stimmgabel auf selbe übertragen werden, übereinstimmt. Diese Erscheinung ist es, welche als Resonanz bezeichnet wird.

Eine hübsche Anwendung dieses mechanischen Resonanzprinzipes findet sich in Campbells Frequenzzähler, durch welchen die Frequenz eines gewöhnlichen Wechselstromes festgestellt wird. Bei diesem Instrumente wird die Länge einer Stahlfeder so lange geändert, bis ihre natürliche Schwingungsperiode mit der Frequenz des Wechselstromes übereinstimmt, welcher einen Elektromagnet durchfließt, der sodann

die Feder durch die periodische Anziehung in Schwingung versetzt.

Elektrische Resonanzerscheinungen bei Wechselströmen geringer Frequenz sind schon lange bekannt. Ein Beispiel hierfür bietet die Erfahrung, daß, wenn eine Wechselstrommaschine mit einem konzentrischen Kabel in Verbindung steht, bei einer bestimmten Länge des Kabels und einer bestimmten Frequenz die Spannung zwischen den beiden Leitern viel größer wird, als die Spannung der Maschine an den Klemmen ohne dieses Kabel, bei sonst gleicher Geschwindigkeit und gleicher Erregung. Diesbezüglich angestellte Versuche mit einem Kabel, welches durch einen Transformator mit einer Wechselstrommaschine in Verbindung stand, und

Fig. 56.



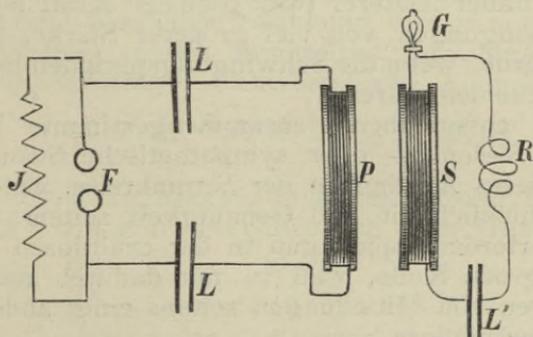
dessen Länge behufs Änderung der Kapazität des Systemes geändert wurde, ergaben, daß bei einer ganz bestimmten Kapazität die Spannung an den Alternatorklemmen schnell bis zum Vierfachen jener normalen Höhe anstieg, welche die Maschine ohne Verbindung mit dem Kabel erreichen konnte.

Hertz hat nun bei seinen berühmten Versuchen über elektrische Oszillationen nachgewiesen, daß derartige Resonanzerscheinungen auch in einem sekundären Stromkreise auftreten, wenn derselbe, wie dies Fig. 56 zeigt, nicht geschlossen ist, sondern in eine Funkenstrecke endet. Durch Änderung der Kapazität des Sekundärkreises in der Weise, daß an die Enden zwei parallele Drähte angesetzt wurden, konnte nun festgestellt werden, daß der in der Funkenstrecke auftretende Funke bei einer ganz bestimmten Länge der Drähte ein Maximum erreichte und sofort nachzulassen be-

gann, wenn man diese Drähte verlängerte oder verkürzte. Dieses Maximum tritt mit einer gewissen Plötzlichkeit auf und geht ebenso plötzlich wieder herunter, und ist hieraus mit voller Sicherheit zu schließen, daß man es hier mit elektrischen Resonanzerscheinungen zu tun hat, welche nur dann auftreten, wenn die gegenseitige Abstimmung nahezu vollkommen ist.

Die gegenseitige Abstimmung zweier Stromkreise kann nun entweder durch Änderung der Kapazität, wie dies Hertz getan, oder durch Änderung der Induktanz erfolgen. Im letzteren Falle ist, da eine Änderung des Widerstandes wovöglich nicht stattfinden soll, der einfachste Weg der, daß die

Fig. 57.



leitenden Drähte eines oder auch beider Kreise zu einer Spirale aufgerollt werden und die Änderung der Induktanz durch Nähern oder Entfernen der einzelnen Windungen zu, beziehungsweise voneinander erfolgt. Man ist hierdurch auch in der Lage, die Zeitdauer der natürlichen Vibrationen innerhalb gewisser Grenzen nach Belieben abzuändern. Um zwei Stromkreise gegenseitig elektrisch abzustimmen, müssen dieselben so adjustiert sein, daß das Produkt aus Kapazität und Induktanz beider Stromkreise vollständig gleich, oder daß dieses Produkt des einen Stromkreises ein ganzes gerades Vielfaches des zweiten Stromkreises beträgt.

Die Übertragung der Oszillationen eines Stromkreises auf einen zweiten Stromkreis wird nun wesentlich erleichtert, wenn der sekundäre Stromkreis in der vorbeschriebenen Weise mit dem primären in Abstimmung gebracht ist. Werden daher, wie dies in Fig. 57 dargestellt ist, in den sekundären Strom-

kreis eine oder mehrere Leydenerflaschen in Verbindung mit einer regulierbaren Drahtspule eingeschaltet, und wird sodann dieser so zusammengestellte Sekundärstromkreis, jedoch vorerst mit ausgeschalter Flasche und Regulierrolle, in die Nähe des Primären gebracht und ist letzterer erregt, so wird das kleine Glühlämpchen  $G$ , welches als Stromanzeiger dient, zu leuchten beginnen. Rückt man jedoch die Sekundärspule von der Primärspule immer mehr weg, so tritt endlich ein Moment ein, wo der Kohlenfaden der Lampe zu glühen aufhört. Bei Einschaltung der Leydenerflasche  $L^1$  und der Regulierrolle  $R$  und geeigneter Adjustierung derselben beginnt aber die Lampe sofort wieder hell zu brennen.

Der Sekundärkreis ist nun mit dem Primärkreise abgestimmt oder in die gleiche Schwingungsperiode gebracht, und erregt daher letzterer trotz gleicher Kraft im Sekundärkreise Schwingungen von viel größerer Stärke, als dies der Fall sein würde, wenn die Schwingungsperioden beider Stromkreise verschieden wären.

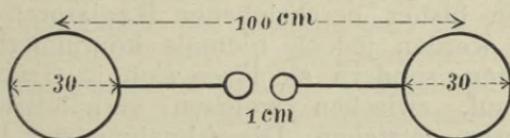
Derlei entsprechend zusammengestellte Stromkreise werden als Resonanz- oder sympathetische Stromkreise bezeichnet. Dieses Abstimmen der Stromkreise, welches jedoch große Geschicklichkeit und Genauigkeit seitens des Experimentators erfordert, spielt nun in der drahtlosen Telegraphie eine sehr große Rolle, weil es nur dadurch möglich wird, das Auffangen von Mitteilungen seitens einer anderen dritten Station zu verhindern.

Der bekannten Tatsache entsprechend, daß deutliche Resonanzerscheinungen, seien dieselben mechanischer, akustischer oder elektrischer Natur, nur dann entstehen können, wenn die Dauer der einzelnen in den gegebenen Zwischenraum einander folgenden schwachen Impulse eine relativ lange ist, also sich die Impulse durch längere Zeit regelmäßig wiederholen, muß auch in diesem Falle für eine längere Aufrechterhaltung der in entsprechender Periode verlaufenden Impulse Sorge getragen werden. Nach dem Vorhergegangenen zeigt es sich sofort, daß ein guter Radiator (bei welchem die Schwingungen also rasch vergehen) nur dann in einem sekundären Stromkreise Resonanzerscheinungen hervorzurufen vermag, wenn in demselben ein großer Vorrat von elektrischer Energie aufgespeichert wird.

Bestimmung der Oszillationsdauer der Radiatoren. Zur Illustrierung der sukzessiven Abnahme der elektrischen Energie in einem guten Radiator sei folgendes von

Hertz gegebenes Beispiel herangezogen: Zwei metallische Kugeln von 15 cm im Halbmesser sind durch einen Draht von 100 cm, in dessen Mitte sich eine Funkenstrecke von 1 cm befindet, verbunden (Fig. 58). Werden nun diese beiden Kugeln bis zu jener Potentialdifferenz geladen, bei welcher der in der

Fig. 58.



Funkenstrecke überspringende Funke oszillatorischer Natur ist, so entspricht dies einer Spannung von 36.000 Volts. Die in diesem Systeme sonach unmittelbar vor Überspringen des Funkens aufgespeicherte elektrostatische Energie berechnet sich mit

$$\frac{1}{4} \frac{15 \times 36 \times 36 \times 10^6}{9 \times 10^{11}} = \frac{54}{10^4} \text{ Joule.}$$

Der Verlust an Energie in einem solchen Radiator bei jeder halben Oszillation berechnet sich nach Hertz durch

$$V = \frac{\pi^4 Q^2 l^2}{3 \lambda^3},$$

wobei  $Q$  die Ladung jeder der beiden großen Kugeln,  $l$  die Länge des verbindenden Drahtes und  $\lambda$  die Wellenlänge darstellt. Letztere wurde von Hertz für den vorliegenden Fall mit 480 cm bestimmt. Demnach beträgt der Energieverlust durch Ausstrahlung oder Radiation in jeder halben Periode 2400 Ergs. oder  $24/10^5$  Joules. Es wird sohin nach 11 halben Oszillationen oder  $5\frac{1}{3}$  vollen Perioden bereits die Hälfte der aufgespeicherten Energie zerstreut sein, und können daher, bis die Gesamtenergie praktisch durch Ausstrahlung verschwunden ist, im ganzen kaum volle 10 Oszillationen stattfinden.

Nun beträgt die Wellenlänge 480 cm und die Geschwindigkeit der Fortpflanzung  $3 \times 10^{10}$  cm, somit die Zeitdauer einer Oszillation 1,6 Hundertmilliontel einer Sekunde. Die Gesamtdauer, in welcher der Radiator Energie ausstrahlt, beläuft sich sohin auf 16 Hundertmilliontel einer Sekunde,

wobei die gesamte ausgestrahlte Energie  $\frac{54}{10^4}$  Joule beträgt.

Die auf diese Weise in einer Sekunde ausstrahlende Energie würde sohin nahezu gleich 45 P. S. entsprechen. Um daher die Ausstrahlung ohne Unterbrechung aufrecht zu erhalten, müßte dem Oszillator von der Energiequelle eine Energiemenge von 3375 *M.kg* in der Sekunde zugeführt werden, also ein Energieaufwand, welcher genügen würde, gegen 500 16kerzige Glühlampen brennend zu erhalten.

Bei den bisher beschriebenen Radiatoren mit offenem Stromkreise werden jedoch niemals kontinuierliche Oszillationen erhalten, sondern sie lösen sich in Gruppen von Oszillationen auf, zwischen welchen verhältnismäßig große Zwischenpausen entstehen. Die Abnahme der Energie oder die Dämpfung in Radiatoren mit offenem Stromkreis läßt sich nach M. Planck für den Fall, als zwei Kugeln durch einen Draht verbunden sind, aus folgender Formel berechnen:

$$\sigma = \frac{16 \pi^4 l^2 K}{3 \lambda^3},$$

wobei *K* die Kapazität des Kondensators des vibrierenden Systemes, *l* die Entfernung zwischen den Kugeln oder Platten und  $\lambda$  die Wellenlänge bedeutet. Um daher längerwährende Oszillationen, oder was dasselbe ist, eine geringe Dämpfung zu erhalten, muß die Kapazität oder die Induktanz des ausstrahlenden Stromkreises sehr groß gewählt werden.

Bedingungen für die Konstruktion der Oszillatoren. Es stellt sich nun die wichtige Frage, wie können große Energiemengen in einem Vibrator aufgespeichert werden, um selbe in elektrische Oszillationen umzusetzen? Die in einem Kondensator aufzuspeichernde Energiemenge ist der Kapazität und dem Quadrate der Spannung oder der Potentialdifferenz zwischen den Platten proportional. Will man diese Aufspeicherung durch große Kapazität erreichen, so bedingt dies eine Verlängerung der Wellenlänge, die jedoch für gedachte Zwecke nicht ungebührlich vergrößert werden darf. Aber auch die Aufspeicherung durch Erhöhung der Spannung begegnet gewissen Hindernissen, indem selbe bei dem Hertzschens Oszillator durch die Länge der Funkenstrecke begrenzt ist. Nun zeigt sich aber, daß über eine bestimmte Länge der Funkenstrecke die Funken nicht mehr oszillatorischer Natur sind, indem entweder der Raum zwischen den Funkenkugeln nicht leitend genug wird oder die Leitungsfähigkeit desselben nicht lange genug aufrecht bleibt, um das Entstehen oszillatorischer

Funken zu ermöglichen. Diese Grenze liegt bei dem Hertzschens Oszillator zwischen 1—2 *cm* und läßt sich demnach die Potentialdifferenz zwischen den beiden Funkenkugeln praktisch nicht höher als mit 30.000 Volt bemessen.

Will man bei Verwendung einer Induktionsspule gewöhnlicher Konstruktion, als Quelle der elektromotorischen Kraft, die Kapazität erhöhen, so stellt sich der große Widerstand der Sekundärspule des Induktoriums als Hindernis entgegen, indem infolge desselben das ganze elektrische System eine große Zeitkonstante bekommt, wodurch die Spule nicht rasch genug die erforderliche Elektrizität nachzuliefern vermag, weshalb in diesem Falle nur sehr kleine Kapazitäten versorgt werden könnten.

Verwendet man, wie dies bereits gelungen ist, Transformatoren mit sekundärem Stromkreis von geringem Widerstande, welche trotzdem geeignet sind, die erforderliche Spannung und Quantität zu liefern, so ist allerdings diese Schwierigkeit überwunden, aber es macht sich nun ein neues Hindernis geltend. Es entsteht nämlich bei dem Versuche, einen Kondensator, der auf diese Weise geladen wird, über eine Funkenstrecke zu entladen, die mit den Enden der Sekundärspule verbunden ist, zwischen den beiden Entladungskugeln ein Lichtbogen oder eine Flammenentladung, die jede oszillatorische Entladung hemmt. Es muß also dieser Flammenbogen in einer Weise beseitigt werden, daß die oszillatorische Entladung des Kondensators hierdurch nicht behindert wird. Eine Reihe von Methoden hierzu wurden von Tesla vorgeschlagen. Eine dieser Methoden beruht darauf, die Funkenstrecke in ein starkes magnetisches Feld zu bringen, welches den Lichtbogen sofort bei dessen Bildung magnetisch ausbläst. Andere dieser Methoden beruhen auf der Verwendung eines rotierenden Kontaktunterbrechers, welcher den Lichtbogen intermittierend zum Erlöschen bringt.

Eine andere viel wirksamere Methode besteht in der Anwendung eines Luftgebläses, welches den Bogen intermittierend ausbläst. Um jedoch hierbei zu einem Resultate zu kommen, muß der Luftstrom sehr kräftig sein, weil nur in diesem Falle der Bogen verlöscht, die disruptive Entladung des Kondensators aber aufrecht erhalten bleibt. Bei Anwendung eines Strahles von Kohlensäure mit einem Drucke von 3 *kg* pro Quadratcentimeter können auf diese Weise über 100.000 Funken in der Sekunde erhalten werden.

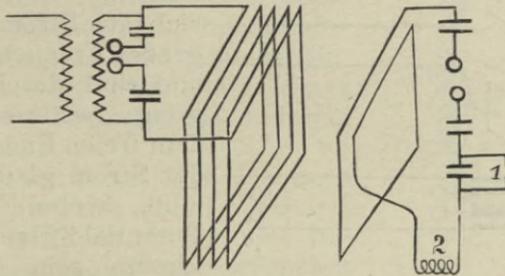
Wirksam ist auch die von Leslie Miller vorgeschlagene Methode, nach welcher ein Transformator mit in sich geschlossenem magnetischen Kreis verwendet wird, bei welchem die primären Windungen auf der einen, die sekundären auf der anderen Seite des magnetischen Rahmens aufgesetzt werden. Infolge der starken magnetischen Streuung wird für den Fall des Entstehens des Lichtbogens die Potentialdifferenz an den Enden der Sekundärwicklung so weit herabgedrückt, daß der Lichtbogen verlöscht. D'Arsonval und Fleming wendeten gegeneinander rotierende Funkenkugeln an, wobei der erzeugte Luftwirbel den Lichtbogen verlöscht.

Eine Anordnung, mittelst welcher sehr große Spannungen erzeugt werden können, ohne daß in der Entladung ein Lichtbogen entsteht, wurde von Elihu Thomson angegeben. Er benützt einen Gleichstrommotor, an dessen Achse zwei Ringe isoliert befestigt sind, die mit zwei Punkten des Ankerstromkreises so verbunden werden, daß der Motor Wechselstrom abzugeben vermag. Dieser Strom wird in einen Transformator auf eine Spannung von 20.000 Volt transformiert, und zur Ladung einer Serie von Kondensatoren ausgenützt, wobei jedoch die Verbindung des Transformators mit den Kondensatoren erst in dem Momente hergestellt wird, wenn die Spannung im Transformator das Maximum erreicht hat. Die Kontaktvorrichtung, durch welche diese Verbindung hergestellt wird, ist gleichfalls an der Achse des Motors befestigt. Außerdem steht mit dieser Achse noch ein Kommutator in Verbindung, durch welchen die Kondensatoren bei der Ladung parallel, bei der Entladung hingegen in Serie geschaltet werden. Hierdurch erreicht man eine enorme Spannung für die Entladung, indem beispielsweise zehn Kondensatoren mit je 20.000 Volt geladen, bei der Serienschaltung eine Spannung von 200.000 Volt erhalten. Auf diese Weise erhält man eine oszillierende Funkenentladung von bedeutender Länge, bei welcher sehr große Spannung mit hoher Frequenz verbunden sind.

Gegenseitige Abstimmung zweier Stromkreise und die Methoden zur Anzeige derselben. Werden (Fig. 59) um einen hier nicht dargestellten hölzernen Rahmen mehrere Windungen isolierten Drahtes gelegt, dessen Enden einesteils mit den Außenbelägen von zwei Leydenerflaschen, anderenteils mit den Enden der Sekundärwindungen eines Induktoriums, beziehungsweise eines Transformators ver-

bunden sind, ferner die Innenbeläge der Flaschen mit einer Funkenstrecke verbunden, so entstehen, wenn die Sekundärspule in Wirkung versetzt wird, elektrische Oszillationen in diesem Stromkreise. In einiger Entfernung hiervon befindet sich ein ähnlicher sekundärer Stromkreis, bestehend aus einer Drahtwindung und zwei Leydenerflaschen, deren Innenbeläge durch eine Funkenstrecke verbunden sind. Bei dieser Anordnung werden die in dem einen dieser Stromkreise erregte Oszillationen, in dem zweiten Stromkreise durch Resonanz sympathische Schwingungen hervorrufen, was sich durch Erscheinen von Funken in der Funkenstrecke desselben kundgibt. Schaltet man nun in den zweiten Stromkreis eine dritte Leydenerflasche ein und verringert hierdurch die Kapazität

Fig. 59.



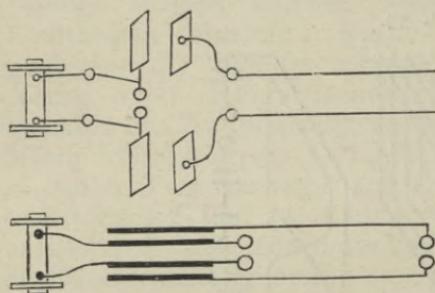
des Sekundärstromkreises, so hören die Funken in diesem Stromkreise sofort auf. Dieselben können aber sofort wieder zum Entstehen gebracht werden, wenn die Induktanz desselben erhöht wird. Es kann also die verringerte Kapazität durch eine erhöhte Induktanz vollkommen kompensiert werden. Dies stimmt mit der Theorie vollkommen überein, wonach der Ton eines Systems durch das Produkt aus Kapazität und Induktanz bestimmt wird, und es dabei gleichgültig ist, ob eine dieser Größen ab-, die andere hingegen zunimmt, wenn nur das Produkt derselben stets das Gleiche bleibt.

Demnach werden zwei elektrische Systeme, jedes aus einer Kapazität und Induktanz, in Serien gebildet, welche mit  $K$ , beziehungsweise  $K'$  und  $L$ , beziehungsweise  $L'$  ausgedrückt werden, dann in Resonanz, Sympathie oder auf gleichem Ton stehen, wenn das Produkt  $KL$  gleich dem Produkte  $K'L'$  ist. Die geringste Änderung der Kapazität

ist hierbei imstande, die gegenseitige Abstimmung sofort aufzuheben.

Stationäre elektrische Oszillationen in offenem Stromkreise. Werden vier Kondensatorplatten, welche zwei Kondensatoren darstellen (Fig. 60), so verbunden, daß die beiden inneren Platten durch eine Funkenstrecke und außerdem in Abzweigung mit der sekundären Wickelung eines Induktoriums verbunden sind, während jede der beiden äußeren Platten mit einem isolierten längeren Drahte in Verbindung steht, wobei diese Drähte gerade in einem gewissen

Fig. 60.



Abstande zu einander parallel verlaufen, so entstehen in diesen Drähten, wenn deren Länge und Abstand entsprechend bemessen und das ganze System in Betrieb ist, stationäre elektrische Oszillationen. Dieselben setzen sich aus Strömen von sehr großer Frequenz zusammen und sind durch die Bedingung bestimmt, daß an dem freien Ende der Drähte der Strom gleich Null sein muß, wobei jedoch die Potentialdifferenz ein Maximum sein kann. Die

Eigentümlichkeit dieser Oszillationen liegt darin, daß in einem Teile jedes Drahtes ein Strom zirkuliert, der die entgegengesetzte Richtung hat, wie in einem anderen Teile desselben Drahtes und daß dieser Draht gewisse Punkte aufweist, in welchen überhaupt kein Strom existiert.

Dies kann dadurch nachgewiesen werden, daß man um den Draht einen isolierten Platindraht lose herumlegt, welcher einen Zweig einer Wheatsonschen Brücke bildet. Durch jede Erhitzung des Drahtes wird die Brücke aus dem Gleichgewichte gebracht, was einen Ausschlag der Nadel des Brückengalvanometers bedingt. Nun wird das Platin in allen jenen Fällen erhitzt, in welchen er um eine Stelle gewunden ist, welche von elektrischen Oszillationen durchflossen ist. Durch Verschieben dieser Platinschlinge längs des Drahtes können alle Punkte, an welchen kein Strom zirkuliert, genau festgestellt werden.

Mit diesem Bolometer durchgeführte Untersuchungen zeigen, daß die durch die elektrischen Impulse des Primär-

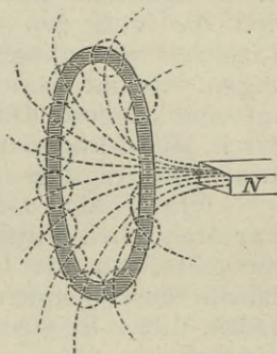
kreises erregte Schwingung in den Drähten entweder eine der Länge des Drahtes entsprechende, oder eine solche Wellenlänge haben, daß der Drahtlänge ein ungerades Vielfaches der Wellenlänge entspricht.

Verbindet man die beiden parallel verlaufenden Drähte an ihren Enden mit einer Vakuumröhre und legt über diese beiden Drähte, welche blank sein müssen, einen metallischen Draht, so daß zwischen diesen Drähten ein Kurzschluß entsteht, so lassen sich trotzdem bei Verschieben dieser Brücke ein oder mehrere Punkte finden, bei welchem die Vakuumröhre leuchtet. Dies tritt dann ein, wenn sich die beiden, durch die Brücke geschaffenen Stromkreise in Resonanz befinden.

**Elektrische Absorption.** Eines der bekanntesten Erscheinungen der Optik zeigt, daß irgend eine Substanz sich für Lichtstrahlen bestimmter Frequenz vollkommen durchlässig, hingegen für andere Strahlen größerer oder geringerer Frequenz als undurchlässig erweist.

In gleicher Weise läßt sich auch von elektrischer Absorption sprechen. Denkt man sich einen für eine bestimmte Frequenz abgestimmten Stromkreis und nimmt man an, daß induktive Impulse von sehr zahlreichen verschiedenen Frequenzen auf ihn gleichzeitig einwirken. Es läßt sich nach dem soeben erklärten sofort ersehen, daß dieser Stromkreis nur auf jene Frequenz ansprechen wird, welche der Frequenz, auf welche derselbe abgestimmt ist, entspricht. Dieser Stromkreis ist sonach für die Impulse, auf welche er anspricht, als undurchlässig anzusehen, was sich aus folgender Betrachtung ergibt. Es wäre (Fig. 61) ein aus nur einer Windung bestehender in sich geschlossener Resonator der Einwirkung eines magnetischen Feldes in der Weise ausgesetzt, daß selbes in dem Resonator eine elektromotorische Kraft induziert, welche zu dem Entstehen eines elektrischen Stromes Anlaß gibt. Die durch den elektrischen Strom im Resonator hervorgerufenen magnetischen Kraftlinien haben nun eine solche Richtung, daß sie bestrebt sind, den Kraftlinien, welche den Strom erregt haben, entgegenzuwirken oder dieselben zu annullieren. Wird dies tatsächlich erreicht,

Fig. 61.



was in der Regel der Fall ist, wenn die Zahl der Ringe entsprechend vermehrt wird und dieselben dicht aneinander liegen, so wird dieser Resonator für die Wellen bestimmter Frequenz, welche eben infolge der Abstimmung den Strom, beziehungsweise die Ströme hervorrufen, tatsächlich undurchdringlich sein.

Das elektromagnetische Medium. Die Tatsache, daß in einem Stromkreis erregte elektrische Oszillationen in einem anderen Stromkreise auf relativ weite Entfernungen gleichfalls sekundäre elektrische Oszillationen hervorzurufen vermögen, regt zur Forschung an, die Ursachen zu finden, durch welche diese Fernwirkung hervorgerufen, beziehungsweise ermöglicht wird. Um nun diese Fernwirkungen zu erklären, muß man sich die von den hervorragenden Physikern erwiesene Tatsache vor Augen halten, daß physikalische Veränderungen, welche von einem Körper in einem anderen Körper auf eine gewisse Entfernung hin hervorgerufen werden, nur durch Mitwirkung eines zwischenliegenden Mediums, welches diese Übertragung schrittweise vermittelt, ermöglicht werden.

Clark Maxwell war es nun, welcher auf Grund der Faradayschen Experimental-Untersuchungen zu entscheiden versuchte, ob die Ideen Faradays, welche sich mit den damals herrschenden Ansichten nicht in Einklang bringen ließen, nicht in eine mathematische Form gebracht werden können.

In seiner berühmten Publikation »A Dynamical Theorie of the Electromagnetic Field« führte derselbe aus, daß bei elektrischen und magnetischen Wirkungen stets Energie umgesetzt wird und diese Energie in zwei Formen, nämlich als elektrostatische und elektrokinetische Energie, auftritt, welche große Ähnlichkeit mit der Spannungs- und Bewegungsenergie haben. Ferner läßt die Umwandelbarkeit der verschiedenen Energieformen, und die Tatsache, daß wir selbe nach ihrem Äquivalent der Bewegungsenergie bewerten können, darauf schließen, daß die Grundursache jeder Energieform gleicher Natur sei.

Die Untersuchung der Beziehung zwischen elektrischen und magnetischen Quantitäten zeigt ferner, daß die magnetischen und elektrischen Größen in eine Ordnung gebracht werden können, in welcher der Wert jeder einzelnen Größe mit einer der bekannten dynamischen Größen vergleichbar ist. So lassen sich Masse mit der Induktanz, Geschwindigkeit mit dem elektrischen Strome, Beschleunigung mit der Ge-

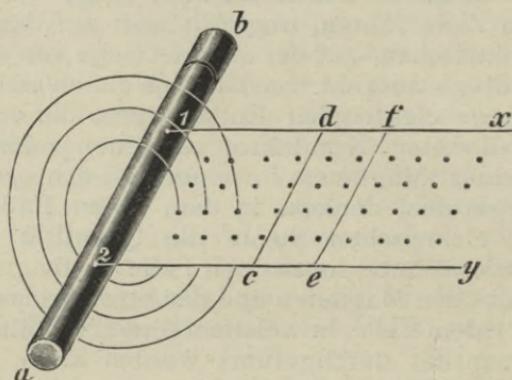
schwindigkeit des Stromwechsels, Bewegungstrieb mit der magnetischen Strömung, Kraft mit der elektromotorischen Kraft oder der Selbstinduktion, Energie mit der Stromenergie und lebendige Kraft mit der Streuung der Stromenergie in eine Parallele stellen. In ähnlicher Weise lassen sich auch Analogien zwischen mechanischen und elektrischen, beziehungsweise magnetischen Kräften finden, so für Zug und Druck, elektrische und magnetische Kräfte, elastische Nachgiebigkeit, magnetischer Kraftfluß, Spannungsenergie, dielektrische Konstante oder magnetische Permeabilität etc.

Die Wechselbeziehung zwischen magnetischen und elektrischen Größen läßt nun zur Bestimmung irgend einer elektrischen oder magnetischen Größe zwei Wege offen, die immer zu demselben Ziele führen, obgleich man auf der einen Seite von einer elektrischen, auf der anderen Seite von einer magnetischen Grundlage ausgeht. So läßt sich ein elektrischer Strom durch eine Serie elektrischer Entladungen, die von einem mit Spannung behafteten Konduktor ausgehen oder durch die Bewegung eines Magnetes in einer in sich geschlossenen Spule hervorgerufen, denken. In dem einen Falle bildet das Maß für den elektrischen Strom die Quantität  $K$  oder die Dielektrizitätskonstante, im zweiten Falle die magnetische Permeabilität  $\mu$  des den Magneten und den Stromkreis umgebenden Mediums. In jedem Falle, in welchem diese zweifältige Messung derselben Quantität durchgeführt werden kann, beträgt das numerische Verhältnis der beiden Messungen, je nachdem selbe in absoluten oder dynamischen Einheiten ausgedrückt werden, eine Zahl, welche entweder durch das geometrische Mittel von  $K$  und  $\mu$  gleich  $\sqrt{K\mu}$  oder durch das Quadrat dieses Ausdruckes bestimmt wird. Man erhält sohin einen numerischen Wert für das Produkt dieser Größen, welches für ein bestimmtes Medium stets das gleiche ist. Eingehende Untersuchungen haben für atmosphärische Luft ergeben, daß das Produkt  $K\mu$  annähernd dem Werte  $\frac{1}{9 \times 10^{20}}$  entspricht. Die Quadratwurzel aus dem reziproken Wert dieses Ausdruckes, welcher mit dem Symbol  $v$  bezeichnet wird, entspricht nun genau der Geschwindigkeit des Lichtes, wenn selbe in ihm per Sekunde gemessen wird.

Diese Gleichheit muß sohin eine physikalische Bedeutung haben, die sich an der Hand des von Maxwell eigens für diese Zwecke aufgestellten Vectorpotentials

einigermaßen klar legen läßt. Um eine Einsicht in die physikalische Bedeutung dieses Vektorpotentials zu gewinnen, sei ein einfaches Beispiel gewählt: Es sei (Fig. 62)  $a b$  ein gerader Stromleiter, durch welchen ein Strom fließt, wobei der Rückleiter in einer bedeutenden Entfernung von  $a b$  gelegen gedacht werden muß. In diesem Falle werden die magnetischen Kraftlinien den Leiter in zueinander parallelen konzentrischen Kreisen, deren Mittelpunkt in der Achse des Leiters liegt, umgeben. Zieht man nun von den beiden Punkten 1 und 2 des Leiters senkrecht zur Achse zwei parallele Linien  $x y$  und denkt sich die von diesen Linien

Fig. 62.



eingeschlossene Fläche aus irgend einem für die magnetischen Kraftlinien durchlässigen Materiale gebildet, so stellen die Punkte jene Stellen dar, an welchen diese Linien die Fläche durchsetzen. Zieht man ferner die beiden Linien  $cd$  und  $ef$  parallel zu dem Leiter in einem sehr geringen Abstand voneinander, und nimmt man ferner an, daß in dem Leiter plötzlich ein elektrischer Strom entsteht, so kann man sich das Auftreten der magnetischen Linien entweder in der Weise vorstellen, daß dieselben gleichzeitig entstehen oder so, daß sich dieselben in ähnlicher Weise ausdehnen, wie die im ruhigen Wasser entstehenden Wellen, wenn in selbes plötzlich ein Stein geworfen wird. Geht man von dem zweiten wahrscheinlicheren Fall aus und denkt sich, daß auf den Linien  $cd$  und  $ef$  je ein Beobachter steht, welcher das Fortschreiten der Kraftlinien längs der Fläche verfolgt, so werden diese beiden die Ausdehnung, beziehungsweise das sukzessive Fortschreiten

der Linien in ähnlicher Weise sehen, wie wenn sich eine Prozession längs einer Straße bewegt.

Hätten nun die beiden Beobachter die Zahl der Kraftlinien, welche die beiden Grenzlinien  $cd$  und  $ef$  bis zu einem bestimmten Zeitpunkte überschritten haben, festgestellt, so muß die Differenz der Zahl der so bestimmten Kraftlinienzahl jene Zahl der Kraftlinien ergeben, welche die Fläche  $cdef$  durchsetzen. Maxwells Vektorpotentials stellt nun tatsächlich nichts anderes dar, als die Zahl  $N$ , welche vom Beginne des Stromes an gezählt, eine dieser Grenzlinien überschritten haben. Es ist nun selbstverständlich, daß die Differenz zwischen den beiden an den Grenzlinien gefundenen Werten von  $N$ , welche als  $dN$  bezeichnet werden soll, den totalen magnetischen Kraftfluß oder die Intensität des magnetischen Feldes in der Fläche  $cdef$  im bezeichneten Momente darstellt. Sei nun  $cd$  gleich der Einheit und die Entfernung  $ce$  gleich  $\delta x$ , so haben wir zwischen  $N$  und  $P$ , also der Zahl der Kraftlinien, die  $cd$  und  $ef$  passieren, die Beziehung  $P\delta x = -dN$ , wobei das Minuszeichen vor  $dN$  dadurch gegeben ist, daß die Zahl der Kraftlinien  $P$  geringer ist als die von  $N$ . Da der totale magnetische Kraftfluß in der Fläche  $abcd$  aber auch von der Zeit abhängig ist, und das Zeitmoment des Wechsels das Maß für die elektromotorische Kraft, welche rund um die Fläche  $cdef$  wirkt, bildet, ist derselbe auch gleich dem Linienintegral der um diese Grenzen wirkenden elektromotorischen Kraft. Wären die Linien  $cd$  und  $ef$  metallische Drähte, so müßten diese Kraftlinien Anlaß zur Entstehung elektromotorischer Kräfte in diesen Drähten genau so geben, wie bei einer Dynamomaschine, wo die magnetischen Kraftlinien durch die sich bewegenden Drähte des Ankers geschnitten werden. Wäre der ganze Umfang  $cdef$  ein in sich geschlossener Stromkreis, so ließe sich zeigen, daß zwischen den in  $cd$  und  $ef$  erregten elektromotorischen Kräften und dem totalen magnetischen Kraftfluß, welcher die Fläche  $cdef$  durchsetzt, eine ganz bestimmte Beziehung besteht.

Nimmt man vorerst an, daß die magnetischen Kraftlinien stille- und in bestimmten Zwischenräumen voneinander abstehen, was der Fall sein wird, wenn ein kontinuierlicher und durchaus gleichmäßiger Strom den Leiter  $ab$  durchfließt, so wird nicht nur in dem Stromkreise  $cdef$  vollständige Ruhe herrschen, sondern es wird auch die Dichte der Kraftlinien in der Nähe des Stromleiters eine viel größere sein, als in größeren Entfernungen, und ändert sich deren Dichte

in der Voraussetzung, daß der Stromleiter gerade und sehr lang ist, nahezu im umgekehrten Verhältnisse zu der Entfernung. Denkt man sich nun den Stromkreis  $cdef$  (Fig. 62) längs der Fläche stets zu  $ab$  parallel verschoben und sei die Geschwindigkeit, mit welcher dies erfolgt, gleich  $V$ , die Kraftliniendichte längs der Seite  $cd$  gleich  $B$  und wird  $cd = 1\text{ cm}$  lang angenommen, so ist die bei Bewegung von  $cdef$ , weil die Kraftlinien alle senkrecht geschnitten werden, in  $cd$  auftretende elektromotorische Kraft  $E = BV$ .

Wäre die Entfernung zwischen  $ab$  und  $cd$  im gegebenen Moment gleich  $x$ , die Entfernung zwischen  $cd$  und  $ef$  gleich  $\delta x$  und würde das Rechteck mit einer Geschwindigkeit von  $\delta t$  auf die Entfernung  $\delta x$  verschoben, so ist  $V = \delta x / \delta t$ . Da nun die Kraftliniendichte mit der Entfernung  $x$  wechselt, wird die in  $cd$  erregte elektromotorische Kraft gleichfalls im Verhältnis zum Wechsel von  $x$  variieren. Ist nun die Bewegung des Viereckes  $cdef$  eine konstante und gleichförmige, so wird die durch die Änderung von  $x$  hervorgerufene Schwankung der elektromotorischen Kraft  $E$  gleich der Schwankung der ebenfalls mit  $x$  wechselnden Kraftliniendichte  $B$  sein und

wir haben daher folgende Beziehung: 
$$\frac{dE}{dx} = V \frac{dB}{dx}.$$

Da nun  $V = dx/dt$  oder  $dx = V dt$  ist, so schreibt sich diese Gleichung auch wie folgt:

$$\frac{dE}{dt V} = V \frac{dB}{dx} \quad \text{oder} \quad \frac{dE}{dt} = V^2 \frac{dB}{dx}.$$

Demnach ist die Schwankung der elektrischen Kraft in der Zeit gleich der Schwankung der Dichte der Kraftlinien multipliziert mit dem Quadrate der Geschwindigkeit der Bewegung.

Würde sich statt des Drahtviereckes ein ebenes Blatt eines Dielektrikums von der Länge  $1$ , der Breite  $dx$  und der Dicke  $dz$  in derselben Art parallel zum Leiter verschieben und wäre die dielektrische Konstante desselben  $K$  und die magnetische Permeabilität  $\mu$ , so würde entsprechend den Maxwell'schen Anschauungen in diesem Dielektrikum dieselbe elektrische Kraft erregt, wie in dem geschlossenen Drahtstromkreise bei dessen Bewegung.

In diesem Falle der Anwendung eines Dielektrikums findet jedoch eine Ausdehnung oder eine Verschiebung  $D$  der elektrischen Kraft statt, und drückt sich die Beziehung zwischen  $D$  und  $E$ , wenn selbe in rationellen Einheiten aus-

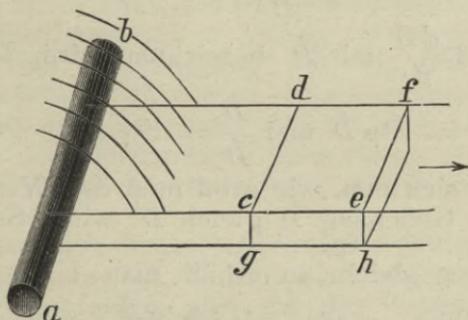
gedrückt sind, durch die Gleichung  $D = K \cdot E$  aus, was besagt, daß diese elektrische Verschiebung für die Flächeneinheit proportional der elektrischen Kraft und der Dielektrizitätskonstante ist.

Dementsprechend ist die Zeitrates des Wechsels der Verschiebung proportional der Zeitrates des Wechsels der elektrischen Kraft oder

$$\frac{dD}{dt} = K \frac{dE}{dt} \text{ und umgekehrt } \frac{dE}{dt} = \frac{dD}{dt, K}$$

Betrachtet man (Fig. 63) den sich in dem Felde bewegenden dielektrischen Körper, so sieht man, wenn der

Fig. 63.



Kraftlinienverlauf parallel zu der Seite  $cg$  erfolgt und die magnetische Induktion mit  $B$  bezeichnet wird, daß diese Induktion parallel zur Seite  $eh$ , weil  $ce = x$ , durch den Wert  $\frac{dB}{dx} dx$  ausgedrückt wird.

Die Induktion  $B$  bildet das Produkt der Felddichte, beziehungsweise magnetisierenden Kraft und der Permeabilität und ist sohin  $B = \mu \cdot H$ .

Nach Maxwells Entwicklung ist ein Wechsel in der elektrischen Verschiebung in magnetischer Wirkung ein elektrischer Strom, sohin auch von der Entstehung magnetischer Kraftlinien begleitet. Es ist sohin jede zeitliche elektrische Verschiebung als elektrischer Strom (Verschiebungsstrom) anzusehen.

Nach dem Maxwellschen Kreisgesetze muß nun das Linienintegral der magnetischen Kraft rund um den Block

in der Richtung  $cegh$  gleich sein der totalen elektrischen Verschiebung parallel zu  $cd$  oder  $ef$ .

Das Linienintegral der magnetischen Kraft rund um  $cegh$  wird durch die Quantität  $\frac{1}{\mu} \frac{dB}{dx} \delta x \delta z$  und die totale Verschiebung für die gleiche Fläche durch  $D' \delta x, \delta z$  ausgedrückt, wenn  $D'$  die elektrische Verschiebung für die Einheit der Fläche darstellt. Man erhält sohin

$$\frac{dD'}{dt} = \frac{1}{\mu} \frac{dB}{dx} \text{ oder } \frac{dB}{dx} = \mu \frac{dD'}{dt}$$

substituiert man nun die so für  $\frac{dE}{dt}$  und  $\frac{dB}{dx}$  gefundenen

Werte in die Gleichung  $\frac{dE}{dt} = V^2 \frac{dB}{dx}$ , so erhält man, wenn

$\frac{dD}{dt}$  mit  $\dot{D}$  und  $\frac{dD'}{dt}$  mit  $\dot{D}'$  bezeichnet wird, folgende Gleichungen:

$$\frac{1}{K} \dot{D} = V^2 \mu \dot{D}' \text{ und } \frac{\dot{D}}{\dot{D}'} = V^2 \mu K.$$

Es fragt sich nun, wie groß muß der Wert von  $V$  sein, daß in obiger Gleichung  $D$  gleich  $D'$  wird. Setzt man die-

selben einander gleich, so erhält man  $V = \frac{1}{\sqrt{K\mu}}$ , was, wie

bereits vorgeführt wurde, wieder der Geschwindigkeit des Lichtes entspricht. Dementsprechend muß, wenn der dielektrische Block parallel zu sich selbst und senkrecht zu dem Kraftlinienfluß mit dieser Geschwindigkeit bewegt wird, die Verteilung des Kraftflusses im Dielektrikum mit der Verteilung der elektrischen Verschiebung übereinstimmen.

Nimmt man im Gegensatz zur vorhergehenden Auffassung an, daß der dielektrische Körper in Ruhe bleibt, hingegen die Kraftlinien sich über denselben parallel zu sich selbst mit konstanter Geschwindigkeit bewegen, so müssen sich diese Kraftlinien gleichfalls mit der Geschwindigkeit

$\frac{1}{\sqrt{K\mu}}$  in Zentimeter pro Sekunde bewegen, um die gleiche Übereinstimmung zu erhalten.

Lange bevor die Richtigkeit dieser Übereinstimmung der Geschwindigkeit der Bewegung des magnetischen Kraftflusses mit der Geschwindigkeit des Lichtes experimentell nachgewiesen wurden, kam Maxwell auf Grund dieses von

ihm in ausführlicher mathematischer Form ausgearbeiteten Gesetzes zur Anschauung, daß die Fortpflanzung des Lichtes in inniger Verbindung mit der Fortpflanzung elektromagnetischer Impulse von Punkt zu Punkt mit gleicher und bestimmter Geschwindigkeit steht, ja vielleicht mit selber identisch ist. Zahlreiche optische Tatsachen erweisen, daß längs des Weges eines Lichtstrahles an ganz bestimmten Punkten des Weges sowohl die Richtung als die Größe der hier wirkenden Energie vollständig umgekehrt wird und diese Umkehrung 400—700 Billionenmal in der Sekunde erfolgt und daß diese Punkte auf eine Entfernung von  $\frac{1}{16000}$ — $\frac{1}{25000}$  mm von einander entfernt sind.

Die Tatsache nun, daß man in der Lage ist, durch bekannte Prozesse elektrische Radiation oder, wie es auch genannt werden kann, ein nicht leuchtendes elektrisch erzeugtes Licht herzustellen, welches in Bezug auf die bestimmte Geschwindigkeit der Übertragung mit der Übertragung des sichtbaren Lichtes vollkommen übereinstimmt, lassen die Hypothese, daß die Entstehung sowohl des Lichtes als der Elektrizität in der gleichartigen Einwirkung auf ein und dasselbe Medium ihren Ursprung hat, als wahrscheinlich annehmen.

Denkt man sich demzufolge in einem Drahte einen Strom zirkulieren und nimmt an, daß der magnetische Kraftfluß zum Stillstande gelangt wäre, also die den Leiter umgebenden Kraftlinien im Ruhezustande verblieben sind, so wird bei einer plötzlichen Umkehrung der Stromrichtung das magnetische Kraftfeld nicht sofort umgekehrt, sondern es benötigt hierzu eine gewisse Zeit, die dem Fortschreiten der Kraftlinien oder deren Ausdehnung entspricht. Diese Geschwindigkeit der Fortpflanzung der Kraftlinien entspricht der Geschwindigkeit des Lichtes und wird daher das Feld auf 30.000 Millionen Zentimeter Entfernung von der Ausgangsstelle erst nach einer Sekunde umgekehrt sein.

Bei diesem einfachen Beispiele kommen zwei ganz bestimmte Quantitäten in Betracht, und zwar die elektrische Kraft ( $E$ ), welche die elektrische Verschiebung parallel zu dem Drahte oder der Linie  $cd$  und die magnetische Kraft ( $H$ ), welche einen magnetischen Kraftfluß senkrecht zu dem Drahte oder der Linie  $cd$  hervorruft. Hierbei steht die Änderung von  $E$  in einer bestimmten Zeit oder deren Zeitrates in einem ganz bestimmten Verhältnisse zu der Änderung von  $H$  für eine bestimmte Entfernung, wie solche durch die Bewegung

der Kraftlinien  $N$  in der zu  $E$  senkrechten Richtung hervorgerufen wird und welche als deren Raumrate bezeichnet werden kann. Diese drei Größen stehen zueinander stets im rechten Winkel und werden die Werte von  $E$  und  $H$  von der Zeit und Raumänderung einer dritten Größe abgeleitet, welche als das Vektorpotentiales bezeichnet wird.

Die mathematische Beziehung dieser beiden Änderungen führt nun zu einer Differentialgleichung, welche ganz mit jener Gleichung übereinstimmt, welche man erhält, wenn man die Fortpflanzung einer Tonwelle in einer unendlich langen Pfeife mathematisch feststellt.

Auf Grund aller dieser Erwägungen kam Maxwell zu dem Schlusse, daß, wenn ein magnetischer Kraftfluß an irgend einem Punkte eines Dielektrikums entsteht, dieser sich fort und fortwährend ausdehnt und sich hierbei mit einer ganz bestimmten Geschwindigkeit von Punkt zu Punkt fortpflanzt.

Das Vorhergehende zusammengefaßt, gelangt man zu dem Schlusse, daß in irgend einem Punkte eines Dielektrikums zwei Vorgänge elektromagnetischer Natur möglich sind.

Vorerst läßt sich an diesem Punkte ein physikalischer Zustand denken, welcher als elektrische Verschiebung bezeichnet und durch eine elektrische Kraft hervorgerufen wird. Die Erzeugung einer derartigen Verschiebung bedingt nun einen Energieverbrauch und dieser Verbrauch für die Volumseinheit wird, wenn  $D$  die Verschiebung, welche durch eine elektrische Kraft  $E$  hervorgerufen wird, bedeutet, durch  $\frac{1}{2}ED$  oder  $\frac{1}{2}KE^2$  ausgedrückt, wobei  $K$  die Dielektrizitätskonstante bezeichnet. Wechselt diese elektrische Verschiebung mit der Zeit, so wird die Zeitperiode dieses Wechsels durch  $D$  ausgedrückt und  $dD/dt$  äquivalent einem elektrischen Strome sein. Dieser elektrische Strom ist unter allen Bedingungen von einem diese Verschiebung kreisförmig umgebenden magnetischen Felde begleitet, welches senkrecht zur Verschiebungsrichtung steht. In diesem Falle ist das Linienintegral der magnetischen Kraft in rationalen Einheiten ausgedrückt, gleich der Zeitrates der Änderung der Verschiebung. Die hierbei für die Volumseinheit ausgegebene Energie zur Erzeugung des magnetischen Kraftflusses  $B$ , hervorgerufen durch die magnetische Kraft  $H$ , wird durch  $\frac{1}{2}BH$  oder  $\frac{1}{2}\mu H^2$  bestimmt.

Nach der zweiten Auffassung läßt sich denken, daß sich magnetische Kraftlinien in stets gleicher Richtung nach vorwärts durch ein Dielektrikum bewegen. Betrachtet man den

Vorgang, wenn diese zu einander parallelen Linien (Fig. 62) eine Linie  $cd$  des Dielektrikums durchschneiden, so sieht man sofort, daß dieselben in dieser Linie eine elektrische Kraft  $E$  erregen müssen, deren Wert  $E = VB = V\mu H$  ist, wobei  $V$  die Geschwindigkeit,  $H$  die magnetische Kraft entlang der Kraftlinien und  $\mu$  die Permeabilität des Dielektrikums darstellt.

Das Schneiden der Linie  $cd$  durch die sich ausdehnenden magnetischen Kraftlinien erregt in derselben eine elektrische Kraft, welche wieder eine elektrische Verschiebung oder einen Verschiebungsstrom senkrecht zur Bewegung der Kraftlinien hervorruft, der sofort wieder vergeht, wenn die elektrische Kraft verschwindet. Durch die Vorwärtsbewegung der Kraftlinien im Dielektrikum werden nun alle Teile desselben geschnitten und ist sonach diese Kraftlinienverschiebung von einer Anzahl von Verschiebungsströmen begleitet, welche sowohl senkrecht zur magnetischen Kraft als auch senkrecht zur Bewegungsrichtung stehen.

Man hat sonach, sofern man sich diesen Vorgang nur einigermaßen sinnlich darzustellen vermag, eine wirkliche Wellenbewegung der Elektrizität vor sich.

Wenn man diesen Prozeß der Wellenfortpflanzung untersucht, so gelangt man zu dem Schlusse, daß zu irgend einem Zeitpunkte die Energie pro Volumseinheit halb magnetischer und halb elektrischer Natur sein muß, wonach  $\frac{1}{2}KE^2 = \frac{1}{2}\mu H^2$  wird. Kombiniert man diese Gleichung mit der Gleichung  $E = V\mu H$ , so kommt man auf einem anderen Wege zum Schlusse, daß  $V^2\mu K = 1$  und  $V = 1/\sqrt{K\mu}$ , oder wieder gleich der Geschwindigkeit des Lichtes ist.

Diese innige Beziehung zwischen der Geschwindigkeit des Lichtes in einem Dielektrikum und der elektrischen und magnetischen Konstanten desselben, kann kein Zufall sein und beweist ferner, daß irgend eine Wechselbeziehung zwischen den beiden Phänomenen bestehen muß.

Der Brechungsindex. Bekanntermaßen bewegt sich das Licht durch irgend einen transparenten Körper viel langsamer, als durch einen leeren Raum, wie dies experimentell vielseitig nachgewiesen wurde. Nimmt man Wasser als transparenten Körper an, so wird das Verhältnis der Geschwindigkeit des Lichtes im freien Raume zu der Geschwindigkeit desselben im Wasser als Brechungsindex  $i$  bezeichnet. Wird nun die Geschwindigkeit des Lichtes im Raume durch den Ausdruck  $1/\sqrt{K\mu}$  bestimmt, so ist wohl die

Annahme berechtigt, daß diese Geschwindigkeit im Wasser mit  $1/\sqrt{K'\mu'}$  ausgedrückt werden kann, wobei  $K$ , beziehungsweise  $K'$  die dielektrischen Konstanten und  $\mu$ , beziehungsweise  $\mu'$  die Permeabilitäten des leeren Raumes, beziehungsweise des Wassers bezeichnen.

Es wird sonach der Wert des Brechungsindex durch den Ausdruck  $\sqrt{K'\mu'}/\sqrt{K\mu}$  bestimmt.

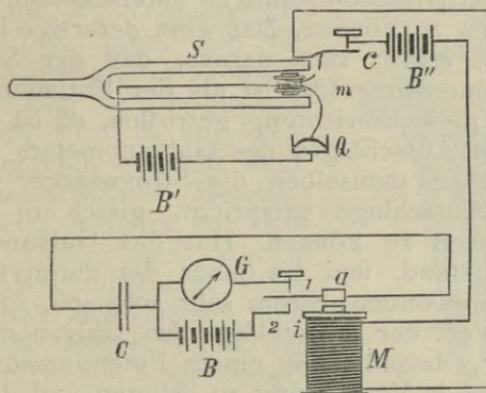
Die Untersuchungen zeigen nun, daß die Permeabilität des Wassers  $\mu'$  nicht wesentlich von der Permeabilität  $\mu$  des leeren Raumes verschieden ist, und erhält man daher für den Brechungsindex den Wert  $i = \sqrt{K'}/\sqrt{K}$  oder, wenn  $K$  als die Einheit angenommen wird, so ist die dielektrische Konstante des Wassers gleich dem Quadrate des Brechungsindex, also  $i^2 = K$ . Diese Begründung findet für alle transparenten und lichtbrechenden Dielektrikas Anwendung und bietet daher einen Maßstab für die Überprüfung der Giltigkeit der Maxwellschen Gesetze über die Fortpflanzung der Elektrizität in den verschiedenen dielektrischen Körpern. Die Untersuchungen haben nun gezeigt, daß die Ausnahmen für andere Dielektrikas als Luft viel zahlreicher sind, als die Übereinstimmungen. Die dielektrische Konstante wird in der Regel durch das Verhältnis einer in der Periode relativ langsam wechselnden elektromotorischen Kraft  $E$  mit der korrespondierenden elektrischen Verschiebung  $D$  gemessen, so daß man den Wert dieser Konstanten aus der Gleichung  $K = \frac{D}{E}$  erhält.

Für Wasser erhält man nun selbst bei sehr schnell wechselnden elektrischen Verschiebungen einen nahezu an 80 grenzenden Wert von  $K$ , während derselbe für die meisten Glassorten zwischen 6 und 10 schwankt. Der optische Brechungsindex beträgt hingegen für Wasser nur 1.3 und schwankt für die verschiedenen Glassorten zwischen 1.5—1.6. Es zeigt sich demnach für diese Stoffe ein ganz gewaltiger Unterschied zwischen der Quadratwurzel aus  $K$  (9 für Wasser und 2.5 bis 3.1 für Glas) und dem Brechungsindex dieser Körper (1.3—1.6). Ausgedehntere Versuche haben jedoch gezeigt, daß sich diesbezüglich in vielen Fällen wieder eine Übereinstimmung zeigt und man daher die verschiedenen Dielektrikas in zwei Gruppen unterteilen kann, nämlich solche, für welche die Gesetze von Maxwell wenigstens annähernd Geltung haben, und solche, welche zwischen dem Werte  $K$  der Dielek-

trizitätskonstanten und dem Quadrate des Brechungsindex bedeutende Unterschiede verzeichnen lassen.

Die Bestimmung der Dielektrizitätskonstante. Unter den vielen Methoden zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten soll nur eine hervorgehoben werden, welche sich namentlich für die Untersuchung von Flüssigkeiten eignet. Es wird (Fig. 64) ein Kondensator  $C$  aus zwei metallischen Flächen, welche durch das zu untersuchende Dielektrikum getrennt werden, gebildet. Wird der Kondensator durch eine genau bekannte elektromotorische Kraft  $B$  geladen und sodann durch das ballistische Galvanometer  $G$  entladen, so

Fig. 64.



gibt selbes einen kleinen Ausschlag, dessen Größe von der Kapazität des Kondensators und der Empfindlichkeit des Galvanometers abhängt. Wird jedoch der Kondensator in rascher Aufeinanderfolge geladen und entladen, und werden die Entladungen durch das Galvanometer geleitet, so können die sich in sehr kurzen Zwischenräumen folgenden Entladungsströme füglich als ein kontinuierlicher Strom angesehen werden, welcher einen bleibenden Ausschlag der Nadel bedingen wird.

Um diese rasche Aufeinanderfolge der Ladungen und Entladungen zu erreichen, bedient man sich am besten einer Stimmgabel  $S$ , welche durch die Batterie  $B'$  den Elektromagnet  $m$  und den Quecksilberunterbrecher  $Q$  in fortwährender Schwingung erhalten wird. Durch diese Schwingungen wird der Kontakt bei  $c$  der Batterie  $B''$  abwechselnd ge-

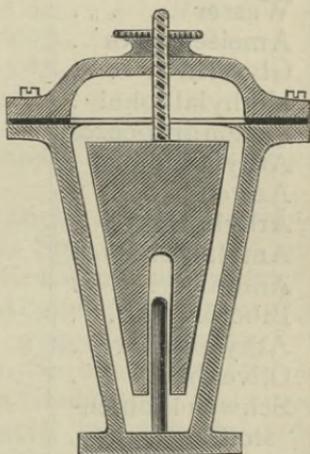
geschlossen und unterbrochen und zieht infolgedessen der Elektromagnet  $M$  den Anker  $a$  abwechselnd an und läßt ihn hierauf sofort wieder los. Die mit dem Anker verbundene Kontaktzunge legt sich daher abwechselnd an die Kontakte 1 und 2 und verbindet so den Kondensator zur Ladung mit der Batterie, und zur Entladung mit dem über das Galvanometer  $G$  führenden Entladungsstromkreise. Die Einrichtung kann hierbei auch so getroffen werden, daß das Galvanometer entweder die Entladungs- oder auch die Ladungsströme anzeigt, und erweist es sich jedenfalls von Vorteil, durch Anwendung eines entsprechenden Umschalters die Beobachtung beider Ströme zu ermöglichen. Diese Anordnung verfolgt den Zweck, die Leitungsfähigkeit des Dielektrikums, welche wohl von der Dielektrizitätskonstante zu unterscheiden ist, erkennen und bestimmen zu können. Daß eine derartige Leitungsfähigkeit existiert, ergibt sich daraus, daß der Strom für die Ladungen gemessen größer ist als der Entladungsstrom.

Ist nun diese Einrichtung getroffen, so ist es notwendig, den Wert des Ausschlages des Galvanometers genau zu bestimmen, um aus demselben die Stromstärke, welche einem bestimmten Ausschlage entspricht, gleich in Milliampères genau festsetzen zu können. Hat das Galvanometer einen großen Widerstand, und ist daher der durch die Serie von Entladungen gewonnene Strom sehr schwach, so ist der beste Weg, den Wert der Ausschläge des Galvanometers zu bestimmen, der, dasselbe mit einem Potentiometer und einem Normalelement in Verbindung zu bringen und durch eine entsprechende, im allgemeinen bekannte Anordnung den Wert der Ausschläge in gleichfalls bekannter Weise festzustellen. Ist einmal der Wert der Ausschläge des Galvanometers bestimmt, so ist man auch in der Lage, den Wert der Ausschläge dieses Instrumentes für die Entladungen des Kondensators dann zu bestimmen, wenn die Anzahl der in der Sekunde erfolgenden Entladungen bekannt ist. Sei beispielsweise der Ausschlag eines Spiegelinstrumentes von  $10\text{ cm}$  gleichwertig 1 Milliampère und gibt das Galvanometer bei der Entladung des Kondensators einen Ausschlag von  $20\text{ cm}$ , so entspricht dies einer Stromstärke von 2 Milliampère. Finden nun in der Sekunde 50 Entladungen statt, so entspricht einer einzigen Entladung ein Wert von  $0.02$  Millicoulomb. Ist die elektromotorische Kraft der Ladungsbatterie bekannt, so bestimmt sich die Kapazität des Kondensators aus dem Quotienten der in dem Kondensator vorhan-

denen Ladung durch die Spannung in Volt. Beträgt sohin die Spannung der Batterie 100 Volt, so erhalten wir für vorliegendes Beispiel eine Kapazität des Kondensators von 0,005 Mikrofarad.

Zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstante des untersuchten Mediums ist nur die Kapazität dieses Kondensators mit jener eines Luftkondensators von ganz gleicher Plattengröße und gleichem Plattenabstande zu vergleichen. Zu diesem Zwecke empfiehlt es sich namentlich für die Untersuchung von Flüssigkeiten eine Kondensatorkonstruktion zu verwenden, mit welcher sowohl die Kapazität bei Verwendung der Flüssigkeit als auch bei Verwendung von Luft als Dielektrikum gemessen werden kann. Ein für diese Zwecke geeigneter Kondensator ist in Fig. 65 dargestellt. Bei demselben wird in ein konisches Messinggefäß ein mit demselben konzentrischer Messingkonus eingesetzt, welcher von dem Außengefäß vollkommen isoliert durch einen Ebonitzapfen am Boden und eine durch den Deckel hindurch gehende Schraube in der genau konzentrischen Lage festgehalten wird.

Fig. 65.



Vorerst wird nun die Kapazität dieses Kondensators in ungefülltem Zustande, also mit Luft als Dielektrikum gemessen, sodann die Kapazität desselben mit der zu untersuchenden Flüssigkeit neuerdings bestimmt. Das Verhältnis zwischen der ersten und zweiten Bestimmung gibt die Dielektrizitätskonstante des untersuchten Körpers.

Feststellung der Beziehungen zwischen dem Brechungsindex und der Dielektrizitätskonstante. Eingehende Untersuchungen dieser Beziehungen, welche für die kritische Betrachtung der Ausnahmen von dem Maxwell'schen Gesetze von Wichtigkeit sind, zeigen nun, daß die Dielektrizitätskonstante vieler Medien in großem Maße durch die Temperatur und die Zeit der Einwirkung der elektrischen Kraft beeinflusst wird.

Die Untersuchungen von Fleming und Dewar zeigen, daß eine Erniedrigung der Temperatur, wie dies aus nachfolgender Tabelle hervorgeht, die sich ergebende Differenz zwischen  $K$  und  $i^2$  gegenüber dem Maxwellschen Gesetze teilweise auszugleichen vermag.

Dielektrizitätskonstante mehrerer Stoffe bei verschiedenen Temperaturen.

Stoff	K bei 15° C.	K bei 185° C.	Quadrat des Brechungsindex $i^2$
Wasser . . . .	80	2·6	1·779
Ameisensäure .	62	2·41	—
Glyzerin . . . .	56	3·2	—
Methylalkohol .	34	3·13	—
Mononitrobenzol	32	2·6	—
Äthylalkohol .	25·8	3·11	1·831
Azeton . . . .	21·85	2·62	—
Äthylnitrat . .	17·72	2·73	—
Amylalkohol .	16	2·14	1·951
Anilin . . . .	7·51	2·92	—
Biberöl . . . .	4·78	2·14	2·153
Äthylenäther .	4·25	2·31	1·805
Olivenöl . . . .	3·16	2·18	2·131
Schwefelkohlenstoff . . . .	2·67	2·24	2·01

Hingegen gibt eine Reihe von Substanzen auch bei normaler Temperatur, wie dies die nächste Tabelle zeigt, eine annähernde Übereinstimmung mit dem Maxwellschen Gesetze.

Stoff	Die elektrische Konstante K	Quadrat d. optischen Brechungsindex $i^2$
Schwefel . . . . .	4·73	4·89
Paraffin . . . . .	2·29	2·022
Petroleum . . . . .	1·92	1·922
Terpentin . . . . .	2·23	2·128
Benzin . . . . .	2·38	2·26

Bei vielen anderen Körpern findet jedoch eine solche Übereinstimmung, wie aus nachstehender Tabelle hervorgeht, nicht statt.

Stoff	K	$i^2$
Flintglas . . . . .	6·57	2·375
Dichtes Glas . . . . .	10·1	2·924
Kalzit . . . . .	7·7	2·734
Flußspat . . . . .	6·7	2·05
Glimmer . . . . .	6·64	2·562
Quarz . . . . .	4·55	2·41
Turmalin . . . . .	6·05	2·65
Steinsalz . . . . .	5·85	2·36

Bei Gasen findet sich hingegen nahezu ausnahmslos eine ziemlich genaue Übereinstimmung.

Einen großen Einfluß übt auf die Dielektrizitätskonstante in vielen Fällen auch die Frequenz des Stromes aus und läßt sich im allgemeinen sagen, daß diese Konstante umso kleiner wird, je höher die Frequenz ansteigt. Allgemein giltig ist dies jedoch nicht, da manche Stoffe sich gegen Änderung der Frequenz ziemlich indifferent verhalten. So bleibt die Dielektrizitätskonstante des Wassers für einen Gleichstrom und einen Wechselstrom von 30,000.000 Wechseln in der Sekunde nahezu stets gleich 80. Bei Alkohol hingegen ändert sich diese Konstante bei dem gleichen Frequenzwechsel von 25 bis nahezu 6·6.

Nachdem man jedoch gesehen hat, daß diese Nichtübereinstimmung der Dielektrizitätskonstante mit dem Quadrate des Brechungsindex teilweise durch Verminderung der Temperatur, teilweise durch Vergrößerung der Frequenz bis zu einem gewissen Grade verringert werden kann, läßt sich wohl vorstellen, daß unter gleichen Verhältnissen eine vollkommene Übereinstimmung sehr wahrscheinlich ist, und dies umsomehr, als die Lichtwellen nach Maxwells Anschauung 400 bis 700 Billionen Schwingungen in der Sekunde vollführen und man, soferne diese Schwingungen nach Maxwell nur als Variationen elektrischer Kräfte betrachtet werden, noch lange nicht so weit ist, derartige frequente Variationen künstlich hervor-

zurufen. Da man jedoch bereits, wie später noch gezeigt wird, in der Lage ist, elektrische Schwingungen hervorzurufen, die alle Eigenschaften der Lichtwellen, mit Ausnahme der Sichtbarkeit haben und die Dielektrizitätskonstante des Wassers unter dem Einflusse derselben auf 8.9 herabdrücken lassen, so ist die Annahme Maxwells als eine wohlbegründete anzusehen. Es stellt sich nun noch die Frage, was ist die Ursache, daß verschiedene Körper bei normaler Temperatur eine so außerordentlich große Dielektrizitätskonstante haben, die das Quadrat des Brechungsindex oft um ein mehrfaches Vielfaches überschreitet? Dies läßt sich durch folgende Betrachtung beantworten. Die Einwirkung einer elektrischen Kraft auf einen dielektrischen Körper ist eine zweifache. Selbe ruft in dem Äther, d. i. dem eigentlichen elektromagnetischen Medium, unmittelbar eine elektrische Spannung hervor und in zweiter Linie wirkt selbe auf die Moleküle der Materie ein, in denselben eine zusätzliche Spannung oder elektrische Verschiebung hervorrufend. Es zeigt sich nun, daß speziell jene Körper, welche eine große dielektrische Konstante haben, sehr leicht der chemischen Zersetzung durch die Verschiebung oder Ausscheidung von gewissen Radikalen unterliegen. C. B. Thwing hat nun nachgewiesen, daß für eine große Anzahl von Körpern eine innige Beziehung zwischen der Dielektrizitätskonstante und der Dichte derselben besteht, indem diese Konstante stets 2.6mal so groß wie die Dichte ist. Er zeigte ferner auch, daß diese Konstante für viele Körper im vorhinein rechnerisch bestimmt werden kann. Das hierfür entwickelte Gesetz lautet: Das Produkt aus dem Molekulargewichte eines Körpers und der Dielektrizitätskonstante geteilt durch dessen Dichte ist gleich der Summe gebildet aus dem Produkte 2.6mal der Anzahl der Atome jeder Gattung mal dem Atomgewicht derselben. Eine Ausnahme findet nur dann statt, wenn das betreffende Molekül gewisse Radikale enthält, deren Konstante von 2.6 differiert.

Für diesen Fall bestimmt sich diese Konstante aus der Formel:

$$K = D/M(2.6 a_1 n_1 + 2.6 a_2 n_2 + \& \text{etc.} + k a_3 n_3 + k a_3 n_3 + \& \text{etc.}),$$

wobei  $K$  die Dielektrizitätskonstante,  $M$  das Molekulargewicht,  $D$  die Dichte des betreffenden Körpers,  $a, a, a$  das Atomgewicht, beziehungsweise Molekulargewicht,  $n$  die Anzahl der einzelnen Atome oder Radikale und  $k$  die zu jedem Radikale zugehörige Konstante bezeichnet.

Hierbei wird der Faktor 2·6 angewendet, wenn das Element aus Atomen, wie Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenstoff etc. und der Faktor  $k$ , wenn das Element aus Radikalen, wie  $OH$ ,  $CO$ ,  $COH$ ,  $NO_2$ ,  $CH_2$ ,  $CH_3$  oder  $S$  zusammengesetzt ist.

Die Werte  $k$  für diese Radikale erscheinen untenstehend verzeichnet.

Radikal	Molekulargewicht	Wert von $k$
OH	17	80·6
CO	28	52·0
COH	29	33·8
NO <sub>2</sub>	46	67·6
CH <sub>2</sub>	14	2·86
CH <sub>3</sub>	15	3·12
S	32	0·016

Die Dielektrizitätskonstante des Wassers ( $H_2O$  oder  $H, OH$ ) berechnet sich nach dieser Formel, da das Molekulargewicht des Wassers = 18 und dessen Dichte = 1 ist, wie folgt:

$$K = 1/18 (2·6 \times 1 + 80·6 \times 17) = 75·4,$$

da in diesem Falle  $a_1$ , beziehungsweise  $n_1 = 1$  ist.

Für Äthylalkohol von der chemischen Zusammensetzung ( $CH_3, CH_2, HO$ ) ist

$$K = 0·815/46 (3·12 \times 15 + 2·86 \times 14 + 80·6 \times 17) = 25·6,$$

was mit den experimentell gefundenen Werten so ziemlich übereinstimmt.

Hiernach ergibt sich, daß das Vorhandensein eines Radikales in einem Molekül dadurch, daß die Verbindung desselben mit den anderen Atomen keine so innige ist, wie die der Atome unter sich, einen bedeutenden Einfluß auf das dielektrische Verhalten der Körper ausübt und infolgedessen die Eigenschaften des elektromagnetischen Mediums durch die Gegenwart materieller Körper wesentlich modifiziert werden.

Die Rolle des Äthers, Elektronen. Die Maxwell'sche Theorie beruht auf der Annahme, daß jene Wirkungen,

welche als elektrische Verschiebung oder elektrische Ladung und magnetischer Kraftfluß oder magnetische Induktion bezeichnet werden, wenn selbe in einem Raume auftreten, in welchem sich kein fester Körper befindet, Einwirkungen auf ein Medium sind, welches Energie in zwei verschiedenen Formen aufzuspeichern vermag. Sowohl die Dielektrizitätskonstante, als auch die magnetische Permeabilität unterliegen bei Gegenwart eines materiellen Körpers stets einer Änderung. Hierbei vergrößert sich die Dielektrizitätskonstante unter allen Umständen, während die Permeabilität sowohl ansteigen als auch abfallen kann.

Diese beiden Qualitäten bestimmen nun die Geschwindigkeit der Fortpflanzung einer elektrischen Welle innerhalb des Mediums, welche stets dann hervorgerufen wird, wenn eine sehr plötzliche elektrische Verschiebung hervorgerufen wird oder dieselbe ebenso plötzlich verschwindet.

Wie bisher zu ersehen war, werden elektromagnetische Effekte von Platz zu Platz mit einer ganz bestimmten Geschwindigkeit fortgepflanzt, welche genau dem reziproken Wert von  $\sqrt{K\mu}$  entspricht und welche im Vakuum und in der Luft und anderen Gasen, ferner in gewissen Flüssigkeiten und festen Körpern genau der Geschwindigkeit des Lichtes, beim Durchgange durch diese Materialien entspricht.

Der Beweis dafür, daß Licht undulatorischer Natur ist, beruht auf der allgemein bekannten Tatsache der Interferenz, d. i. jener Erscheinung, wonach sich die Amplituden einander begegnender Wellen summieren und die hierdurch entstehende neue Welle eine Amplitude aufweist, welche der algebraischen Summe der Amplituden aller dieser Wellen entspricht. Die Entstehung und die gleichen Eigenschaften der Undulationen elektrischen Ursprunges lassen nicht nur der Vermutung Raum geben, sondern liefern beinahe den absoluten Beweis, daß das undulierende Material und die Natur dieser Undulationen gleichartig sein müssen.

Um nun eine einigermaßen plausible Erklärung für die hierbei auftretenden physikalischen Erscheinungen geben zu können, ist man zu der Annahme eines allgegenwärtigen Mediums, welches mit Trägheit und Beweglichkeit ausgestattet ist, nämlich des hypothetischen Äthers gezwungen.

Eine der Hauptschwierigkeit, eine Hypothese über die Struktur dieses Äthers zu geben, liegt in der Frage, wie kann denn der Äther so ungeheure Energiemengen auf-

nehmen und abgeben und doch keinen Widerstand gegen die Bewegung der Materie in demselben leisten. Von den vielen hierfür aufgestellten Theorien erscheint die beste Erklärung für die bekannten Erscheinungen die Annahme zu geben, daß der Äther Drehungselastizität besitzt, d. h. daß jedes Teilchen desselben gegen die Drehung in einer Richtung absoluten Widerstand leistet, wohingegen die verschiedenen Teile desselben anderweitig fortbewegt werden können, ohne Widerstand zu leisten.

Es wird nun angenommen, daß in einem derartigen ruhenden Äther Spannungszentren hervorgerufen werden können, welche mit dem Namen Elektronen bezeichnet werden und welche sich in dem ruhenden Äther frei bewegen.

Diese Elektronen sind zweierlei Natur, nämlich positiver und negativer.

Materielle Atome werden nun aus einer Anhäufung solcher Elektronen, welche sich ununterbrochen in einer Kreisbahn um sich drehen, bestehend angesehen.

Diese Elektronen bilden im Ruhestande das, was man als Elektrizität bezeichnet und geben, wenn in Bewegung, Anlaß zur Entstehung von elektrischen Strömen und magnetischen Kräften.

Die neuere physikalische Richtung zeigt allgemein das Bestreben nachzuweisen, daß die Elektrizität atomischer Struktur ist und daß das, was als Atom der Elektrizität bezeichnet wird, das Grundelement für die Zusammensetzung der Moleküle ist. Als Grundlage für diese Annahme dient die nachgewiesene Tatsache, daß die Kathodenstrahlung im Vakuum mit dem Vorhandensein elektrischer oder elektrisierter Körperchen, deren Masse 0.001 der Masse eines Wasserstoffatoms beträgt, in inniger Verbindung steht.

Die Theorie bezeichnet diese Körperchen nun als Elektronen oder gasförmige Ionen, aus welchen die Atome aufgebaut werden und welche nach Larmours Ansicht nichts anderes als elektrische Spannungszentren in dem Äther sind. Diese Theorie gibt nun die besten Anhaltspunkte für die Erklärung mancher Verschiedenheiten zwischen elektrischen und Lichtwellen, weshalb derselben hier Erwähnung geschah, um selbe späterhin zu verwerthen.

Die verschiedenen Wellenformen. Um die verschiedenen Wellenformen zu charakterisieren, ist es notwendig, das Entstehen derselben in den verschiedenen Körpern einer Analyse zu unterziehen.

Stellt man sich vorerst ein kommunizierendes Rohr etwa bis zur Hälfte mit Wasser gefüllt vor und nimmt an, daß der Wasserstand in jedem der nach aufwärts ragenden Rohrarme der Gleiche sei. Wird nun dieses Gleichgewicht in der Weise gestört, daß durch einen Druck der Gleichgewichtszustand in der Weise aufgehoben ist, daß der Wasserspiegel in dem einen Rohre sinkt und in dem anderen steigt, so wird nach Aufhören dieses Druckes das Wasser das Bestreben haben, wieder in den Gleichgewichtszustand zurückzukehren. Als treibende Kraft wirkt hier die Schwere. Nachdem jedoch das Wasser als materieller Körper Trägheit besitzt, schießt es bei dem Zurückfließen über die gegebene natürliche Grenze hinaus, um sodann das gleiche Spiel, wenn auch in etwas verringertem Maße, in entgegengesetzter Richtung und sofort zu wiederholen, bis es endlich nach längerem Hin- und Herschwanken in die Ruhe zurückkehrt. Da dieses Hin- und Herschwanken in regelmäßigen Intervallen erfolgt, haben wir es hier tatsächlich mit einer Wellenbewegung zu tun und werden derartige Wellen als Gravitationswellen bezeichnet.

Wird jedoch in eine ruhende Wassermasse ein Stein geworfen, so muß sich die Oberfläche des Wassers, um dem Steine den Durchgang zu ermöglichen, ausdehnen. Die Oberfläche irgend einer Flüssigkeit setzt jedoch der Ausdehnung ebenso wie jeder andere elastische Körper einen gewissen Widerstand entgegen und gelangt sohin durch diese Einwirkung in einen gewissen Spannungszustand. Nach Aufhören der Einwirkung, also in diesem Falle wenn der Stein zu Boden gesunken ist, wird dieselbe in die normale Lage zurückzukehren suchen, aber auch hier infolge der Trägheit wieder etwas über das Ziel schießen und so zu einer Wellenbewegung Veranlassung geben. Der auf die bestimmte Wasserpartie ausgeübte Einfluß wird sich jedoch in diesem Falle infolge des labilen Zustandes der benachbarten Wasserpartien fortpflanzen und dieselben zur Erzeugung neuer Wellen veranlassen, die sich im Umfange immer weiter ausdehnen, hingegen immer weniger über dem normalen Wasserspiegel erheben, bis sie endlich gänzlich verschwinden. Daß man es hier mit einer wirklichen Fortpflanzung der Wellen und nicht mit einer ausgreifenden Verschiebung der Wasseroberfläche zu tun hat, beweist die Tatsache, daß ein auf der Wasseroberfläche schwimmender Kork, wenn eine derartige Wellenbewegung stattfindet, nicht mit den Wellen verschoben wird,

sondern an Ort und Stelle verbleibt und nur den Hebungen und Senkungen der Wasseroberfläche folgt.

Diese Art der Wellen, welche sich von der vorherbeschriebenen Wellenbewegung wesentlich unterscheidet, werden als Kräuselwellen oder auch Kapillarwellen bezeichnet und danken ihre Entstehung dem elastischen Widerstande, welchen die Oberfläche irgend einer Flüssigkeit der Dehnung entgegensetzt.

Denkt man sich hingegen, sagen wir einen Kanonenschuß abgefeuert, so wird durch den plötzlich, auf die Luft ausgeübten Druck, dem selbe nicht so rasch nachgeben kann, eine partielle Zusammendrückung derselben stattfinden. Die demselben unmittelbar nachfolgende Ausdehnung derselben übt nun wieder einen Druck auf die benachbarte Luftschichte aus, die dadurch gleichfalls eine Kompression erfährt und in gleicher Weise auf die folgende Luftpartie wirkt.

Da jedoch die Ausdehnung der Luft nach erfolgter Zusammenpressung infolge der Trägheit eine größere sein wird, als der normalen Dichte der Luft entspricht, entsteht an Stelle der früher komprimierten Luft ein luftverdünnter Raum, in welchen die benachbarten, nicht beeinflussten Luftmassen und zwar gleichfalls stoßweise eindringen und neuerdings eine Kompression der Luft hervorrufen. Es entstehen sohin Luftwellen, bei welchen einer Kompression stets eine Expansion folgt und welche sich im Raume und zwar stets in der Richtung der Anregung fortpflanzen. Auch hier findet eine direkte Bewegung des Mediums in der Richtung des Anstoßes nicht statt. Derartige Wellen lassen sich als Kompressions- oder auch Druckwellen bezeichnen und können auch in Flüssigkeiten, beispielsweise durch Explosionen unter der Flüssigkeitsoberfläche hervorgerufen werden.

Bei festen Körpern treten wieder andere Wellen auf, welche weder in flüssigen, noch in gasförmigen Körpern erzeugt werden können. Eine der charakteristischen Eigenschaften fester Körper ist die, daß sie jeder Formveränderung Widerstand zu leisten suchen. Jeder gewaltsame Angriff auf einen solchen Körper wird jedoch eine gewisse Formveränderung desselben herbeiführen, die jedoch, wenn die Elastizitätsgrenze nicht überschritten wird, keine bleibende ist, indem der Körper sofort nach Aufhören des äußeren Einflusses seine ursprüngliche Form anzunehmen sucht. Da der Körper jedoch Trägheit besitzt, wird er genau in derselben Weise wie vor-

her über das Ziel hinausschießen, sodann rückkehren, im entgegengesetzten Sinne neuerdings die normale Grenze überschreiten und so fort, bis er endlich durch die äußere Dämpfung in den normalen Ruhestand zurückkehrt.

Er vollführt eine Reihe hin- und herpendelnder Bewegungen, die, weil regelmäßig sich innerhalb gleicher Zeiträume vollziehend, als Wellen angesprochen werden können. Als Beispiel der Entstehung derartiger Wellen kann z. B. eine Metallsaite angesehen werden, die durch irgend eine Kraft gespannt und dann plötzlich losgelassen wird. Man kann hierbei das Vibrieren der Saite genau beobachten. Das Gleiche findet statt, wenn man eine Stimmgabel kräftig aufschlägt. Auch durch Verdrehen eines Körpers, z. B. eines an einem Ende eingeklemmten Stahlstabes, werden ähnliche Schwingungen erzeugt, die natürlich in diesem Falle keine hin- und hergehenden, sondern rechts und links drehende sein müssen. Diese drehenden Schwingungen lassen sich am besten durch die jedermann bekannte Erscheinung darstellen, daß man an einen, am einen Ende befestigten Strick einen Holzstab befestigt, und zwar am besten am anderen Ende des freihängenden Teiles und dann den Strick mittels dieses Holzstabes eindreht. Läßt man dann den Holzstab plötzlich los, so wird sich derselbe mit dem Stricke in der entgegengesetzten Richtung des Eindrehens zu drehen beginnen, wobei er jedoch in dieser Richtung mehr Drehungen vollführt, als zum Eindrehen erforderlich waren. Er dreht sich demnach in entgegengesetzter Weise ein, um sich sodann wieder aufzudrehen und dann wieder in der ursprünglichen Richtung einzudrehen. Dieses Spiel wiederholt sich, immer schwächer werdend, durch einige Zeit.

Diese Gattung der Wellen wird als Distortionswellen bezeichnet.

Für alle diese Wellen gilt das Gesetz, daß die Geschwindigkeit der Fortpflanzung der Wellen durch die Quadratwurzel des Verhältnisses zwischen der Elastizität und der Dichtigkeit oder der Masse pro Volumseinheit bestimmt wird. Da jedoch die Geschwindigkeit der Wellenbewegung aus dem Produkte der Wellenlänge mit der Anzahl der kompletten Oszillationen in der Sekunde, welche von irgend einem Teile des Mediums vollführt werden, wenn sich diese Wellenbewegung durch dieses Medium fortpflanzt, bestimmt wird, so erhalten wir, wenn  $V$  die Geschwindigkeit,  $n$  die Frequenz und  $L$  die Wellenlänge bezeichnet, den Ausdruck

$V = nL$  als Fundamentalgleichung für die Geschwindigkeit beziehungsweise Frequenz und Wellenlänge und können, wenn zwei dieser Faktoren bekannt sind, die Dritten aus derselben berechnen.

Die Natur der elektrischen Wellen. Aus dieser Charakterisierung der elektrischen Wellen läßt sich im Vergleichswege ein Schluß auf die Natur der elektrischen Wellen ziehen.

Wie bereits gezeigt wurde, besitzt jedes Dielektrikum zwei bestimmte Eigenschaften. Es kann in einen physikalischen Zustand versetzt werden, welcher an irgend einem Punkte desselben hervorgerufen wird und welchen man als elektrische Verschiebung bezeichnet. Dieser Zustand kann mit jenem verglichen werden, welcher in einem festen elastischen Körper eine Deformation, somit auch eine Spannung hervorruft. Das dielektrische Medium leistet ebenso wie der feste elastische Körper einen elastischen Widerstand gegen das Entstehen dieser Verschiebung.

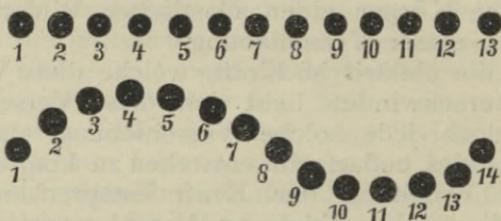
Sobald die elektrische Kraft, welche diese Verschiebung verursacht, verschwindet, hebt sich diese Verschiebung auf. Nachdem jedoch jede solche Verschiebung eines gewissen Energieaufwandes bedarf, um entstehen zu können, wird dem Gesetze der Erhaltung der Kraft entsprechend das Verschwinden dieser Verschiebung Veranlassung zur Wiederentstehung dieser Energie in anderer Form Veranlassung geben. Diese Umwandlung erfolgt nun in der Weise, daß in rechtem Winkel zu dieser Verschiebung ein magnetischer Kraftfluß entsteht, welcher bei seinem Verschwinden wieder zur Entstehung einer elektrischen Verschiebung in den benachbarten Punkten des Dielektrikums Anlaß gibt. Diese Verschiebung pflanzt sich, da sich dieser Vorgang von Punkt zu Punkt wiederholt, sohin stetig weiter. Es zeigt sich hier wieder eine Analogie mit der Vibration fester Körper, bei welchen durch einen äußeren Anlaß vorerst elastische Spannung hervorgerufen wird, welche, wenn freigegeben, die Masse in Bewegung setzt, wobei eine Umformung der Spannungsenergie in kinetische Energie stattfindet.

Um sich diesen Vorgang bildlich darzustellen, denke man sich (Fig. 66) eine Reihe von Elementarteilchen oder Molekülen eines festen Körpers dargestellt, wobei angenommen werden muß, daß diese Moleküle sehr nahe aneinanderliegen, so daß deren Zusammenhang ein fester ist. Wird nun eines dieser Partikelchen durch irgend eine mechanische Kraft auf

die Seite gezogen, so wird dieser Bewegung durch die intermolekulare Kraft der Kohäsion ein bestimmter Widerstand entgegengesetzt. Wird nun dieses Partikelchen losgelassen, so beginnt es sich in seine normale Lage zurückzugeben, wird aber infolge der Trägheit über diesen Punkt hinausgetrieben und zwingt hierbei die angrenzenden Moleküle, sich mitzubewegen. Da nun durch diese neuerliche Verschiebung wieder eine Kraft erzeugt wird, welche das, beziehungsweise die Moleküle in den Ruhezustand zurückzuführen trachtet, so hat man auch hier wieder einen periodischen Zustand, in welchem Spannungsenergie mit Bewegungsenergie abwechselt.

Betrachtet man nun die Entstehung von elektrischen Wellen, wie solche durch elektrische Verschiebungen im

Fig. 66.

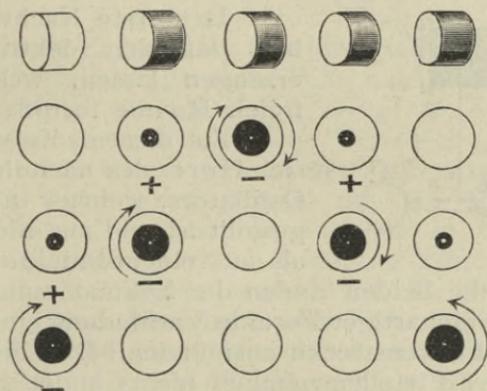


Dielektrikum hervorgerufen werden können und nimmt der Deutlichkeit halber (Fig. 67) an, daß das Dielektrikum die Form einer Röhre habe und daß die einzelnen Elementarteile voneinander in sehr geringer Entfernung abstehen, und denkt man sich ferner, daß in der mittleren Röhre durch irgend eine von außen wirkende elektromotorische Kraft eine elektrische Verschiebung hervorgerufen wird, was in den unterhalb der Röhresegmente liegenden Kreisen durch schwarze Kreise gekennzeichnet ist, so wird annähernd nachfolgender Vorgang zu beobachten sein.

Nach Maxwells Anschauung ist jede dieser Verschiebungen während ihres Anwachsens und Verschwindens nichts anderes als ein elektrischer Strom, welcher rund um sich, wie dies durch die Pfeile angedeutet ist, einen magnetischen Kraftfluß hervorruft. Die Wirkung dieses Kraftflusses ist nun die, in den benachbarten Röhren eine elektrische Verschiebung hervorzurufen, dagegen die bereits bestehende Verschiebung aufzuheben. Es ergibt sich hieraus, daß, wenn

längs einer Linie eines Dielektrikums an irgend einem Punkte derselben eine elektrische Verschiebung hervorgerufen und dann sich selbst überlassen wird, diese Verschiebung in der dasselbe umgebenden Region eine Welle dieser Verschiebung hervorrufen wird. Es entsteht in jedem Teile des Mediums in periodischer Reihenfolge eine elektrische Verschiebung, welche während ihres Entstehens und Vergehens einen magnetischen Kraftfluß hervorruft, welcher nicht nur die elektrische Verschiebung in dem betreffenden Partikelchen aufhebt, sondern auch in dem benachbarten Partikel eine ähnliche Verschiebung erzeugt.

Fig. 67.



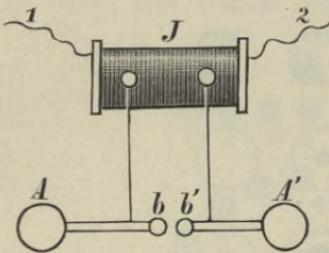
Dieser Prozeß der abwechselnden elektrischen Verschiebung in Verbindung mit dem magnetischen Kraftflusse wiederholt sich kreisförmig von Punkt zu Punkt durch das Dielektrikum und bildet eine elektrische Welle, deren Geschwindigkeit durch den Ausdruck  $\frac{I}{\sqrt{K \mu}}$  für dieses Dielektrikum bestimmt wird, wobei unter der Wellengeschwindigkeit der Quotient aus der Wellenlänge durch die Zeitperiode zu verstehen ist.

Im allgemeinen ist hierzu zu bemerken, daß jede Entstehung einer Welle einen plötzlichen Impuls voraussetzt, welcher die Störung, und als solche ist jede Verschiebung aus dem Ruhezustande zu bezeichnen, hervorruft. Man hat dies bereits bei den in einer Funkestrecke sich vollziehenden

Entladungen gesehen, die nur unter ganz bestimmten Voraussetzungen oszillatorischer oder wellenförmiger Natur sind.

Die Versuche von Hertz. Die einen bedeutenden Markstein für die Erkenntnis der Wellenbewegung der Elektrizität bildenden Grundversuche von Hertz haben die von Maxwell vorgeahnten und in seiner elektromagnetischen Theorie des Lichtes niedergelegten Vermutungen, daß die Elektrizität bei ihrer Fortpflanzung im Raume denselben Gesetzen folgt wie das Licht, vollkommen bestätigt, und wenn sich auch noch einige Verschiedenheiten nachweisen lassen, dennoch für die Wahrscheinlichkeit, daß das Licht und ebenso die Wärme elektromagnetischen Ursprunges sind, positive Beweise erbracht.

Fig. 68.



Der erste Nachweis ging dahin, daß sich elektrische Wellen erzeugen lassen, welche sich im freien Raume fortpflanzen.

Zu diesem Zwecke bediente sich Hertz des nach ihm benannten Oszillators, welcher in Fig. 68 dargestellt ist und aus nichts anderem als aus einem Induktorium besteht,

bei welchem die beiden Enden der Sekundärspule mit einem Kondensator eigenartiger Form in Verbindung sind, dessen Beläge in eine Funkenstrecke ausmünden. Die beiden Kugeln oder Flächen  $AA'$  stellen nämlich nichts anderes dar, als die Beläge eines Kondensators, zwischen welchen die Luft das Dielektrikum bildet. Die Entfernung zwischen den beiden Entladungs- oder Funkenkugeln betrug  $10,6\text{ mm}$  und konnte in der Sekundärspule eine Spannung bis zu  $20.000\text{ Volt}$  erzeugt werden. Da nun schon Mouton im Jahre 1876 nachgewiesen hat, daß die Entladungen zwischen den offenen Punkten einer Sekundärspule oszillatorischer Natur sind und hierbei Schwingungen von einer ungefähren Dauer von  $0,0001\text{ Sekunden}$  entstehen, so war die Anordnung eines Induktoriums, welches sich wegen des fortwährenden Nachschubes der Elektrizität für die gedachten Zwecke besser eignet als eine Leydenerflasche oder eine statische Maschine, von selbst gegeben und unterscheidet sich der Hertz'sche Oszillator oder auch Radiator nur durch die Anordnung des Kondensators, dessen Hauptzweck darin gelegen ist, durch Erhöhung der Spannung das Induktorium zu unterstützen,

von der Einrichtung eines Induktoriums mit offener Sekundärspule und zwischen gelegter Funkenstrecke. Die Wirkungsweise dieses Oszillators erklärt sich auf Grund der vorhergehenden Erläuterung in folgender Weise. Durch den Zufluß der Elektrizität von der Sekundärspule des Induktoriums wird eine gewisse Summe Elektrizität in den beiden Flächen des Kondensators aufgespeichert und hierdurch zwischen den beiden Entladungskugeln eine hohe Potential- oder eine große Spannungsdifferenz entstehen. Unter dem Einflusse dieser Spannungsdifferenz wird der Luftzwischenraum zwischen den beiden Entladungskugeln leitend und es findet ein Ausgleich der Elektrizität statt. Es entsteht sohin ein momentaner elektrischer Strom, welcher in dem Raum um den Strom, und zwar senkrecht zu demselben einen magnetischen Kraftfluß hervorruft.

Die statische Energie ist hierdurch sozusagen in elektromagnetische Energie umgesetzt. Wie nun der magnetische Kraftfluß allmählich verschwindet, erregt er in den beiden Kondensatorplatten eine elektrische Verschiebung entgegengesetzter Richtung, welche sich wieder als Spannungsdifferenz kundgibt und wenn groß genug, um die Luft zwischen den Kugeln leitend zu machen, wieder zu einer zweiten Entladung in entgegengesetzter Richtung führt, welche von den gleichen Erscheinungen begleitet ist. Es wird sonach so lange ein Hin- und Herwogen der Elektrizität stattfinden, als die ursprüngliche Energie nicht so weit aufgezehrt ist, daß selbe den Luftwiderstand nicht mehr zu überwinden vermag. Diese Aufzehrung der elektrischen Energie erfolgt teilweise durch Umsetzung in Wärme und teilweise durch Energieausstrahlung. Da sich die Einwirkung des entstehenden magnetischen Kraftflusses nicht bloß auf den Leiter, sondern auch auf das umgebende Dielektrikum erstreckt, welches er durchschneidet, erregt er auch in diesem eine elektrische Verschiebung, welche sich nach den bereits gegebenen Erläuterungen in Form elektrischer Wellen im Raume fortpflanzt. Wenn daher das Induktorium in fortwährendem Betrieb erhalten wird, so entstehen Gruppen von intermittierenden Oszillationen, welche wieder in den Raum ausstrahlende Gruppen von elektrischen Wellen erzeugen. Daß keine ununterbrochene Wellenausstrahlung stattfindet, erklärt sich dadurch, daß immerhin einige Zeit vergeht, bis die Kondensatorplatten nach erfolgter Entladung auf jene Spannung geladen werden, welche eine neuerliche Entladung in der Funkenstrecke ermöglicht.

Zur Lieferung des Nachweises, daß tatsächlich eine Wellenausstrahlung in den umgehenden Raum stattfindet, hat Hertz einen äußerst einfachen Apparat geschaffen, welchen er mit dem Namen Resonator bezeichnete. Derselbe besteht Fig. 69 aus einem nahezu in sich geschlossenen Drahtringe, zwischen dessen Enden eine Funkenstrecke eingeschaltet ist. Wird, wie dies Fig. 70 zeigt, noch ein Kondensator eingeschaltet, so erhöht sich die zur Beschreibung gelangende Wirkung. Bevor jedoch auf dieselben näher eingegangen wird, sei erwähnt, daß, um kurze scharfe Entladungen durch die Luft zu erhalten, wie solche zur Erzeugung elektrischer Wellen erforderlich sind, folgende Bedingungen erfüllt werden müssen:

Fig. 69.

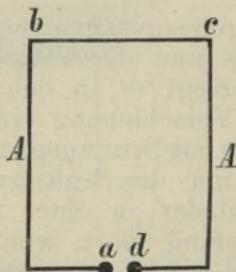
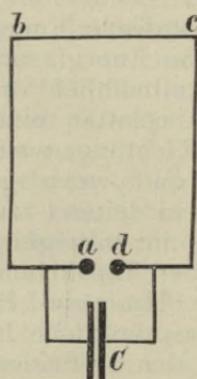


Fig. 70.



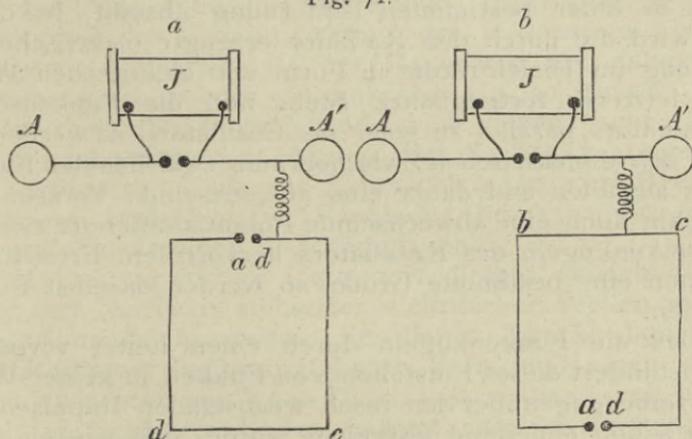
1. Die Funkenkugeln müssen rein und auf Glanz poliert sein;
2. es darf kein ultraviolettes Licht namentlich auf das negative Ende fallen, weil dies, wie schon erwähnt wurde, die Ladungen vorzeitig auslöst, und
3. die Entfernung der Funkenkugeln muß eine genau bestimmte sein, welche am besten experimentell ermittelt wird.

Wird nun die längs *AA* verlaufende Linie des Oszillators (Fig. 71) als die Achse desselben und die in der Mitte der Kugeln verlaufend senkrechte als die Grundlinie desselben bezeichnet, so lassen sich, wenn die durch *a d* gehende Linie die Achse des Resonators darstellt, drei verschiedene Hauptlagen des Resonators gegenüber dem Oszillator unterscheiden, wenn derselbe dem Oszillator in Front

derartig gegenübergestellt wird, daß die Mitte der Funkenstrecke in eine zur Grundlinie parallele Gerade fällt.

Steht hierbei die Fläche des Resonators senkrecht zur Achse des Oszillators und senkrecht zur Grundlinie, so erscheinen, wenn der Radiator in Wirkung tritt und der Resonator in entsprechender Entfernung von demselben aufgestellt wird, kleine Funken in der Funkenstrecke des Resonators. Wird jedoch der Resonator so gedreht, daß die Achse von dessen Funkenstrecke senkrecht zu jener der Funkenstrecke des Resonators steht, so verschwinden diese Funken im Resonator gänzlich.

Fig. 71.



Steht die Fläche des Resonators parallel zur Kreuzlinie, die durch die Achse und die Grundlinie des Oszillators gebildet wird (Fig. 71 a), so entstehen im Resonator, wenn sich die beiden Funkenstrecken gegenüberstehen, lebhaft Funken, die bei Drehung des Resonators in ihrer Intensität nachlassen und endlich ganz verschwinden, wenn die Funkenstrecke des Resonators die in Fig. 71 b dargestellte Lage einnimmt. Es ist sich hierbei aber die Verbindung zwischen Oszillator und Resonator weggelassen zu denken.

Bei der dritten Lage, bei welcher der Resonator mit seiner Fläche senkrecht zur Achse und parallel zur Grundlinie steht, entstehen im Resonator gar keine Funken.

Um dieses Verhalten des Resonators zu erklären, sei auf eine schon früher von Hertz nachgewiesene Erscheinung Bezug genommen. Verbindet man den Resonator, wie dies

die Fig. 71 *a* und 71 *b* zeigen, unsymmetrisch zur Funkenstrecke mit dem einen Ende der Sekundärspule des Induktoriums  $J$ , so entsteht, wenn das Induktorium in Wirksamkeit ist, ein lebhafter Funkenübergang in der Funkenstrecke  $ad$ , welcher in der Induktanz des Resonatorstromkreises begründet ist. Diese Erscheinung zeigt sich nicht, wenn diese Verbindung genau in der Mitte des Drahtes hergestellt wird, weil die Induktanz beider Stromhälften die gleiche ist, sohin sich deren Wirkungen gegenseitig aufheben. Diese Erscheinung tritt nur dann auf, wenn die Frequenz des Stromes eine sehr geringe ist. Ähnlich verhält es sich nun auch, wenn der Resonator nicht mit dem Induktorium verbunden ist und von demselben in einer bestimmten Entfernung absteht. In diesem Falle wird die durch den Radiator erzeugte elektrische Verschiebung im Dielektrikum in Form von elektrischen Wellen durch letzteres fortgepflanzt. Steht nun die Funkenstrecke des Radiators parallel zu jener des Oszillators, so werden dieselben den dielektrischen Zwischenraum zwischen den Funkenkugeln ausfüllen und daher eine abwechselnde Verschiebung und sohin auch eine abwechselnde Potentialdifferenz zwischen den Funkenkugeln des Resonators hervorrufen. Erreicht dieselbe nun eine bestimmte Größe, so werden daselbst Funken entstehen.

Daß die Funkenkugeln durch einen Leiter verbunden sind, behindert dieses Entstehen von Funken in keiner Weise, da derselbe gegenüber den rasch wechselnden Impulsen, wie dies ja schon einleitend festgelegt wurde, sich wie ein absoluter Nichthälter verhält.

Stehen jedoch die beiden Funkenstrecken in derselben Ebene senkrecht zueinander, so vermögen die Wellen, weil durch den vorstehenden Draht abgehalten, den Zwischenraum der Funkenkugeln nicht auszufüllen, und sohin in denselben auch keine elektrische Ladung hervorzurufen.

Steht hingegen die Fläche des Resonators parallel zu dem durch Achse und die Grundlinie gebildeten Kreuze, hingegen die Funkenstrecke senkrecht nach abwärts zur Achse des Radiators, so wird sich nur eine sehr schwache Funkenentwicklung zeigen. Es wird nämlich die elektrische Kraftverteilung durch den metallischen Stromkreis des Resonators gestört. Die Richtung der Wellen ist in diesem Falle nicht mehr parallel zur Achse der Funkenstrecke, so daß dieselben nur unter einem bestimmten Winkel einwirken können, wodurch sich selbstverständlich deren Einwirkung auf den

Resonator wesentlich abschwächt und sonach nur schwache Funkenbildung auftritt.

Wiewohl die, eigentliche Erregung in den Entladungskugeln direkt durch die vom Radiator ausgehenden Wellen erfolgt, so fällt dem Verbindungsdrahte zwischen diesen beiden Kugeln doch eine gewisse Aufgabe zu. Der Resonator ist als ein Stromkreis zu betrachten, welcher Kapazität und Induktanz besitzt, sonach eine natürliche elektrische Schwingungsperiode hat. Werden nun in dem Zwischenraume der beiden Kugeln periodisch wechselnde Verschiebungen oder Schwingungen hervorgerufen und stimmen dieselben mit der natürlichen Schwingungsperiode des Resonators überein, so wird die Amplitude der Verschiebungsschwingungen vergrößert und die Gesamtwirkung des Resonators hierdurch verbessert. Andererseits ist der Resonator als nahezu vollkommen geschlossener Stromkreis, ein schlechter Radiator, welcher dementsprechend auch einen sehr kleinen Dämpfungskoeffizienten hat, so daß die Schwingungen sehr lange andauern. Nach den Untersuchungen von Bjerknæs macht ein kreisförmiger Resonator bis zu 1000 Schwingungen, ehe dieselben abgedämpft sind.

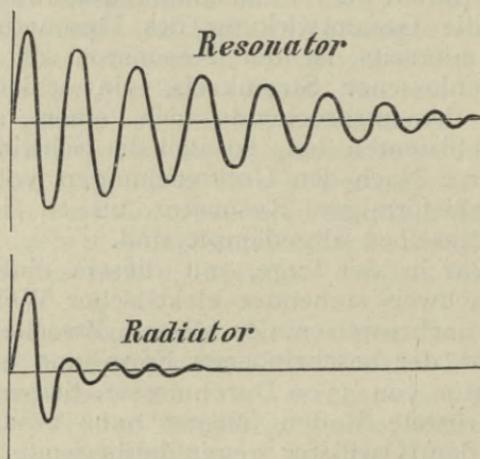
Hertz war in der Lage, mit diesem einfachen Instrumente den Nachweis stehender elektrischer Wellen in einem Dielektrikum nachzuweisen. Zu diesem Zwecke benutzte er einen Radiator der beschriebenen Form und einen kreisförmigen Resonator von 35 *cm* Durchmesser, dessen mit Funkenkugeln ausgerüstete Enden äußerst nahe zusammengerückt wurden. Die dem Oszillator gegenüberliegende Wand wurde mit einem großen Metallblatt zum Zwecke der Wellenreflexion ausgekleidet. Wurde nun der Resonator parallel zur Wand und mit den Funkenkugeln parallel zur Achse der Funkenstrecke nahe zu dem Reflektor gehalten, so zeigte sich gar keine Funkenbildung. Entfernte er hingegen den Resonator, denselben hierbei immer in der gleichen Lage erhaltend von der Wand, so begannen sich Funken zu zeigen, die sich immer stärker entwickelten, um bei einer ganz bestimmten Entfernung ihr Maximum zu erreichen.

Bei weiterer Entfernung des Resonators begann die Funkenintensität neuerdings abzunehmen, um endlich an einer ganz bestimmten Stelle gänzlich zu verschwinden. Bei Überschreitung dieser Distanz begannen sich die Funken neuerlich zu zeigen, bis man bei weiter fortschreitender Entfernung wieder zu einem Maximum gelangte. Es zeigten sich längs

einer zum Metallblatt senkrecht stehenden Linie gewisse Punkte, in welchen eine maximale und wieder andere Punkte, in welchen eine minimale Funkenbildung zu bemerken war und welche eine gewisse Periodizität der Elektrizität in diesem Raume erkennen ließen.

Die Untersuchungen von Sarazin und de la Rive zeigten nun, daß die Entfernung zwischen zwei Punkten, bei welchen keine Funkenbildung im Resonator auftrat, wesentlich von der Größe des Resonators abhängt und dieselbe ungefähr das Vierfache des Durchmessers eines kreisförmigen Reso-

Fig. 72.



nators beträgt. Unter den vielen Erklärungen, die für diese Erscheinung zu geben versucht wurden, ist die von M. Poincaré gegebene, welche die meiste Wahrscheinlichkeit für sich hat. Da der Radiator eines jener Systeme ist, in welchem sich die Schwingungen sehr rasch abdämpfen, so werden in demselben, wie dies experimentell nachgewiesen wurde, für jede einmalige Entladung kaum mehr als zwölf Oszillationen auftreten, hingegen sind die Schwingungen im Resonator sehr zahlreiche und zeigt Fig. 72 annähernd das Verhältnis dieser Schwingungsabnahme zwischen Radiator und Resonator.

Wird nun der Resonator in einer solchen Entfernung von der reflektierenden Metallwand gehalten, welche genau einem Viertel der Wellenlänge des betreffenden Resonators entspricht, so wird, wenn die vom Radiator ausgehende elek-

trische Kraft die Funkenstrecke des Resonators trifft, zwischen den beiden Funkenkugeln eine elektrische Verschiebung hervorgerufen, welche sich sodann weiter verpflanzt, bis selbe die Metallwand trifft, von selber reflektiert wird und wieder zurückkehrt. Trifft nun der Zeitpunkt der Rückkehr dieser Verschiebung mit jenem Zeitpunkt zusammen, zu welchem eine weitere Verschiebung zwischen den Funkenkugeln stattgefunden hat, so unterstützt sie selbe, wodurch die Amplitude der Verschiebung vergrößert wird. Folgen diese Unterstützungen rasch nacheinander, so wird sich die in den Funkenkugeln des Resonators entstehende Spannungsdifferenz so weit steigern, daß eine Entladung zwischen denselben stattfindet.

Es ist hiernach klar, daß die Wiederherstellung der Verschiebung zwischen der Funkenstrecke des Resonators durch die Reflektion von der Metallwand dann am kräftigsten auftritt, wenn die Entfernung zwischen Wand und Resonator ein Viertel der eigenen Wellenlänge beträgt. Sarazin und de la Rive haben nun eine Reihe verschieden großer Resonatoren angewendet, um die Punkte des Raumes, bei welchen das Funkensprühen am lebhaftesten ist, festzustellen, und sind die Ergebnisse derselben in nachstehender Tabelle verzeichnet:

Durchmesser des Resonators	Entfernung zwischen zwei angrenzenden Punkten mit maximaler Entladung
100 <i>cm</i>	406 <i>cm</i>
75 <i>cm</i>	282 <i>cm</i>
50 <i>cm</i>	222 <i>cm</i>
35 <i>cm</i>	152 <i>cm</i>
25 <i>cm</i>	120 <i>cm</i>
20 <i>cm</i>	86 <i>cm</i>
10 <i>cm</i>	38 <i>cm</i>

Dementsprechend ist die Lage des Resonators für jene Stelle, wo das Maximum der Funkenbildung auftritt, nicht durch die Länge der vorher bestandenen stationären Wellen, sondern durch die dem Oszillator selbst entsprechende Wellenlänge bestimmt. Nichtdestoweniger liefert dies den Beweis

für die Existenz stationärer Wellen zwischen Radiator und Metallreflektor.

Hertz war durch eine annähernde Schätzung der Zeitperiode der vom Radiator ausgesendeten Wellen und durch Messung der Wellenlänge oder doppelten Entfernung zwischen zwei Punkten maximaler Funkenentladung im Radiator in der Lage, auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrischen Wellen zu bestimmen, und fand, daß dieselbe annähernd genau dieselbe sei, wie die der Lichtwellen. Später gemachte eingehendere Versuche haben die volle Übereinstimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieser beiden Wellengattungen in der atmosphärischen Luft nachgewiesen.

Trowbridge und Duane haben äußerst sorgfältige Untersuchungen über die Fortpflanzung elektrischer Wellen durchgeführt, wobei sie sich der bereits in Fig. 60 dargestellten Lecherschen Anordnung bedienten.

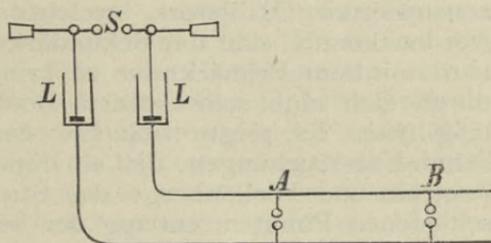
Sind die parallel zueinander gestellten Drähte hinreichend lang, so beachtet man, wenn in denselben durch den Oszillator indirekte Schwingungen erregt werden, gewisse Stellen, an denen alternierende Potentialwechsel auftreten und welche als Wellenberge, beziehungsweise Wellentäler betrachtet werden können. Zwischen diesen Stellen finden sich nun Punkte vor, an welchen sich gar keine Potentialvariation nachweisen läßt und welche Knotenpunkte darstellen. In gleicher Weise können Stromvariationen in verschiedenen Teilen der Drähte nachgewiesen werden. An einigen Stellen nimmt der Strom einen maximalen, an anderen hingegen einen minimalen Wert an. Der Strom verteilt sich sonach nicht gleichmäßig entlang dieser Drähte.

Sind die Enden des Drahtes offen, so ist der Strom an dem Endpunkte des Drahtes selbstverständlich gleich Null. Es zeigt sich hierbei, daß an allen Stellen, an welchen der Strom ein Maximum ist, die geringste Potentialschwankung und umgekehrt, bei größter Potentialschwankung die Stromschwankung eine minimale ist. Es gibt nun eine Menge Wege, um die Verteilung des Stromes und der Spannung längs des Drahtes nachzuweisen. Sind die Potentialvariationen von genügend großer Amplitude, so lassen sich die Wellenberge und Täler, welche die Form einer Schlinge annehmen müssen, ebenso wie die Knotenpunkte schon in einem dunklen Zimmer mit freiem Auge nachweisen, indem der Draht in diesem Falle ein Glimmlicht ausstrahlt, welches denselben ganz umgibt und an gewissen Punkten glänzend

auftritt, an anderen Stellen hingegen an Intensität abnimmt und an gewissen Punkten gänzlich verschwindet. Hertz bediente sich zum Studium der Fortpflanzung elektrischer Wellen entlang von Drähten seines Resonators, welchen er mit der Funkenstrecke parallel zur Drahrichtung entlang des Drahtes bewegte. Je nachdem die Funkenentladungen im Resonator zu- oder abnahmen, konnten die Punkte höheren oder niederen, beziehungsweise Null-Potentiales längs des Leiters genau festgestellt werden.

Eine andere Anordnung zur Bestimmung der Spannungsunterschiede in den verschiedenen Punkten der Leiter besteht darin, daß man auf die beiden Leitungsdrähte eine verschiebbare Funkenstrecke aufsetzt (Fig. 73) und durch das

Fig. 73.

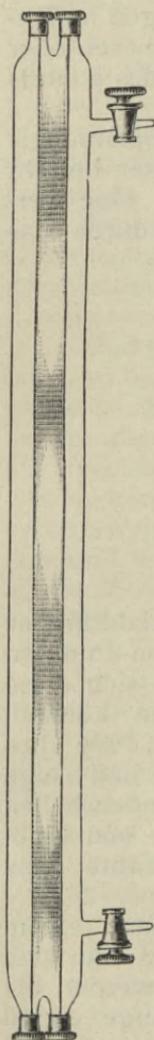


Verschieben dieser Funkenstrecke die Potentialdifferenz zwischen den beiden Drähten an den verschiedenen Punkten bestimmt. Auch durch eine Vakuumröhre lassen sich diese Potentialwellen, wie solche auch genannt werden können, darstellen, und wird dieselbe zu diesem Behufe, wie dies Lecher vorschlug, quer über die Drähte gelegt und längs derselben verschoben. Je nach dem mehr oder minder hellen Aufleuchten derselben lassen sich die Wellenberge und Knotenpunkte der elektrischen Wellen längs der Drähte ganz genau feststellen.

Um diese Wellenbewegungen längs der Drähte einem größeren Auditorium sichtbar zu machen, bedient man sich am besten der Röhre von Arons. Bei derselben werden die beiden Drähte in einer Röhre von etwa  $2\text{ m}$  Länge eingeschmolzen und sodann die Röhre evacuiert, wobei man am besten tut, um etwa eindringende Luft wegzuschaffen, selbe kontinuierlich mit einer selbsttätig wirkenden Quecksilberluftpumpe in Verbindung zu bringen. Entstehen nun auf diesen

Drähten elektrische Wellen, so beginnt die Röhre zu leuchten, und zwar so, das sie, wie in Fig. 74 angedeutet ist, dort, wo Wellenberge entstehen, am hellsten leuchtet und in dieser Leuchtkraft bis zu den Knotenpunkten stetig abnimmt, welche daher dunkel erscheinen. Das Experiment selbst wird am besten in einem verdunkelten Raume vorgeführt.

Fig. 74.



Ebenso kann ein Bolometer oder auch ein Quadranten-Elektrometer zur Feststellung dieser, in Drähten auftretenden Wellen verwendet werden. Mit den beiden letzteren Instrumenten lassen sich auch die Intensitäten numerisch feststellen.

Trowbridge und Duane bedienten sich zur vorläufigen Untersuchung des Wellenverlaufes in den Drähten eines eigens für diesen Zweck konstruierten Oszillators, welcher so reguliert werden konnte, daß der Sekundärkreis in Resonanz mit dem Primärkreis zu bringen war, wodurch sich eine sehr scharfe Beobachtung ermöglichte. Es zeigte sich bei den diesbezüglichen Untersuchungen, daß ein Knotenpunkt im Zentrum und Wellenberge des Stromes an verschiedenen Punkten entlang der beiden Drähte, mit den Knotenpunkten in regelmäßigen Abständen wechselnd, gefunden werden konnte. Die genaue Lage der einzelnen Punkte wurde mittels eines Bolometers bestimmt. Die Vibrationsperiode des Sekundärstromkreises wurde durch Photographie des Entladungsfunkens des Resonators bestimmt. Es konnte sohin die Frequenz und die Wellenlänge genau ermittelt werden. Das Durchschnittsergebnis einer Reihe sehr sorgfältiger Untersuchungen führte zu dem Schlusse, daß die Geschwindigkeit der Fortpflanzung der Wellen entlang der Drähte genau  $3 \times 10^{10} \text{ cm}$  in der Sekunde und sohin der Geschwindigkeit des Lichtes in der atmosphärischen Luft vollkommen gleich ist. Hierbei wurde auch festgestellt, daß das Materiale der Drähte, solange selbes nicht magnetisch ist, durchaus

keinen Einfluß auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ausübt.

Diese Tatsachen erweisen, daß die erzielten Wirkungen nur in der Fortpflanzung dielektrischer Wellen zwischen

den beiden Drähten ihren Ursprung haben können, wie dies auch von Poynting nachgewiesen wurde. Die gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieser Wellen im freien Raume weist eben auf diese Annahme unweigerlich hin. Um sich diesbezüglich positiv auszudrücken, kann man sagen, die Drähte dirigieren bloß die Richtung der Wellen.

Der Kohärer. Alle die vorherbeschriebenen Apparate zur Feststellung der elektrischen Wellen im Raume werden jedoch durch den von Branly zuerst geschaffenen Kohärer an Empfindlichkeit weit übertroffen. Nach seinen diesbezüglichen im Jahre 1890 durchgeführten Versuchen stellte er die Tatsache fest, daß ein loses Gemenge von Metallpulver, welches an und für sich nicht leitend ist, unter der Einwirkung elektrischer Wellen leitend wird und so den Durchgang des Stromes irgend einer Lokalbatterie und die Übertragung der Wellenpulse auf einen Empfangsapparat ermöglicht. Nach den Untersuchungen des Professors Chunder-Bose zeigen jedoch nicht alle Konglomerate von losen Körpern, die an und für sich als Leiter zu betrachten sind, die Eigenschaft unter der Einwirkung elektrischer Kräfte leitend zu werden, sondern es tritt bei einigen derselben, wie Kalium, Natrium, Kalzium etc. statt einer Verringerung eine Vergrößerung des Leitungswiderstandes ein. Andere Metalle, wie beispielsweise gepulvertes Arsenik, zeigen ein verschiedenes Verhalten gegenüber starken und schwachen elektrischen Radiationen. So erhöht sich der Widerstand von gepulvertem Arsenik, wenn selbes in einer bestimmten Entfernung von dem Radiator sich befindet; über diese Entfernung hinaus verringert sich dieser Widerstand.

Edison machte die bemerkenswerte Beobachtung, daß die Reibung und daher auch Kohärenz zwischen bestimmten Oberflächen, beispielsweise zwischen Metallflächen und Kreide, welche mit bestimmten Salzlösungen getränkt ist, bei Stromdurchgang über die Berührungspunkte sich wesentlich verringert und nützte diese Eigenschaft bei der Konstruktion seines Elektromotograph, dessen schon S. 49 Erwähnung geschah, aus. Neugschwender entdeckte, daß, wenn eine silberbelegte Glasplatte, in deren Silberbelag ein haarscharfer Ritz gemacht wird, so daß eine vollständige Trennung des Belages in zwei Hälften stattfindet, durch Anhauchen leitend gemacht wird, diese Leitungsfähigkeit unter dem Einflusse elektrischer Wellen schwindet. Die durch das Anhauchen entstehenden Wasserbläschen bieten normal eine gut leitende

Verbindungsbrücke zwischen den Belägen, welche durch die elektrischen Wellen zerstört wird.

Da entweder eine Vergrößerung oder eine Verringerung des Widerstandes lose agglomerierter Körper unter dem Einflusse elektrischer Wellen stattfindet, erscheint der von Lodge gewählte Ausdruck Kohärer, welcher von Slaby mit Fritter verdeutscht wurde, nicht als vollkommen zutreffend, und schlägt daher Fleming vor, alle Körper, welche unter dem Einflusse elektrischer Kräfte oder Wellen einer Änderung ihres Leitungswiderstandes unterliegen, als elektrovariable Leiter zu bezeichnen, wobei er diejenigen, welche unter den erwähnten Einwirkungen den Widerstand verringern, als positive, jene hingegen, welche ihren Widerstand erhöhen, als negative elektrovariable Leiter bezeichnet wissen will. Wiewohl nun die von Fleming vorgeschlagene Bezeichnung den tatsächlichen Verhältnissen besser Rechnung trägt, so soll doch für diese subtilen Empfänger die eingewohnte Bezeichnung Kohärer oder Fritter beibehalten werden. Über die Wirkungsweise der Fritter mit positiven elektrovariablen Leitern, wie solche tatsächlich fast allgemein im Gebrauch stehen, sind die Ansichten noch sehr differierender Natur.

Branly schreibt die Wirkung der Frittröhre unter Einwirkung elektrischer Schwingungen einer Modifikation des die einzelnen Feilspäne umgebenden Äthers zu. Lodge nimmt eine allerdings sehr leichte Verschweißung der einzelnen Feilspäne unter Einwirkung dieser Wellen als Ursache dieser Wirkung an. Arons, welcher diese Wirkungen unter dem Mikroskope studierte, konnte bei seinen diesbezüglichen Beobachtungen das Überspringen sehr kleiner Fünkchen zwischen den einzelnen Feilspänen beobachten und sah, daß sich zwischen den einzelnen Spänen eine Art von Brücken bildete, die dieselben verbinden. Diese unendlich feinen Brücken sollen von verflüchtigtem Metalle herrühren. Als Ursache des Entstehens dieser Brücken werden von ihm die zwischen den einzelnen Teilchen unter dem Einflusse elektrischer Wellen auftretenden disruptiven Entladungen bezeichnet. Diese Ansicht wird durch die eingehenden Untersuchungen von Thomas Tommasina einigermaßen bekräftigt. Nach den Untersuchungen von Blondel und Dobkévitsch findet eine Verschmelzung bei nicht oxydierbaren Körpern nicht statt, werden jedoch oxydierbare Körper, wie Eisen, Kupfer, Nickel etc. verwendet, so läßt sich eine solche Verschmelzung oder Verschweißung konstatieren.

Über diese Materialien, welche zur Füllung der Frittröhren benützt werden sollen, differieren die Ansichten gleichfalls. Während Marconi ein Gemenge von Silber- und Nickelspänen verwendet, ist Branly der Anschauung, daß jedes leitende Material fast gleich gute Resultate ergibt. Die Ursachen, daß in dem einen oder anderen Falle diese Frittröhren nicht genug empfindlich wirken, ist seiner Ansicht nach nur darin zu suchen, daß diese Späne nicht entsprechend hergerichtet waren. Eine der Hauptbedingungen für die Wirksamkeit eines Fritters ist, daß die Späne sehr gleichmäßig sind, weshalb Branly auch nur gesiebte Späne verwendet. Bei Anwendung solcher Späne konnte er fast mit allen Metallen gleich gute Resultate erzielen.

Aber nicht bloß Metallspäne, sondern auch Metall- und Kohlenkugeln, welche lose in einer Röhre aneinander gefügt werden, zeigen unter dem Einflusse elektrischer Wellen die Eigenschaft des Frittens und können nach demselben Autor ebensogut als Empfänger wie Metallspäne verwendet werden.

Es zeigt sich jedoch auch, daß nicht nur lose Körper in gasförmiger Umgebung, sondern auch, wenn selbe in festen Dielektrikas, wie beispielsweise Gelatine, Kollodium oder Schwefel eingebettet sind, durch den Einfluß elektrischer Wellen aus dem nichtleitenden in den leitenden Zustand übergeführt werden können.

Für den Fall, daß die feinen Späne lose in Röhren eingefüllt werden, übt die Natur und der Druck des in der Röhre befindlichen Gases einen bedeutenden Einfluß auf die Empfindlichkeit des Kohärsers aus. Nach den Ergebnissen der Versuche von Marconi zeigt sich die Anwendung eines guten Vakuums als eines der wichtigsten Bedingungen für die Konstruktion eines außerordentlich empfindlichen und verlässlichen Fritters.

Der Kohärer oder Fritter, dessen einfachste Form aus Fig. 75 ersichtlich ist, ist eines der denkbarsten empfindlichen Empfangsinstrumente, die es gibt, da das empfindlichste Meßinstrument kaum auf das Millionfache jener Energie ansprechen würde, bei welcher dieses Instrument sich noch als vollkommen verlässlich erweist. Um dies klarzulegen, sei darauf verwiesen, daß in der Sendestation kaum ein hundertstel Pferdekraft als Radiation zur Wirkung gelangt. Da die elektrischen Wellen sich in einer immer mehr erweiternden Sphäre ausbreiten, so wird der Flächenraum, welchen eine solche Sphäre oder Schale bei einer Entfernung von  $54\frac{1}{4}$  km, welche der Weite

des Kanales zwischen England und Frankreich entspricht, zirka  $37.300.000.000 m^2$  betragen, somit die auf einen Empfänger von  $1 m^2$  wirkende Kraft so unendlich klein sein, daß sie sich unserer Vorstellung nahezu entzieht.

Da der Fritter, wie sich das nach den bisherigen Erfahrungen feststellt, anscheinend auf alle elektrischen Wellen ohne Rücksicht auf deren Wellenlänge gleich gut anspricht, daher sozusagen elektrisch farbenblind ist, kann er nicht in allen Fällen den Hertzschens Resonator ersetzen, welcher, wie dies bereits gezeigt wurde, am besten dann anspricht, wenn die auf ihn einwirkenden elektrischen Wellen der natürlichen Zeitperiode desselben entsprechen.

Die Eigenschaften der elektrischen Wellen. Die Ergebnisse der Untersuchung der von einem Radiator ausgesendeten Wellen mit diesen und anderen Vorrichtungen haben nun ergeben, daß selbe in jeder Beziehung planpolarisierten Lichtwellen ähnlich sind. Polarisiertes Licht läßt sich reflektieren, brechen, beugen und

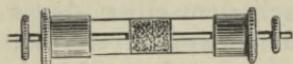


Fig. 75.

erzeugt in Verbindung mit anderen Strahlen Interferenzerscheinungen. Ganz das Gleiche läßt sich bei elektrischen Strahlen experimentell nachweisen. Um diese Eigenschaften nachzuweisen, bedient man sich in der Regel der in Fig. 76 dargestellten Vorrichtung.

Eine Hertzsche Funkenstrecke und eine Frittröhre gesondert in die horizontal liegende Brennpunkte eines gekrümmten Metallspiegels eingebaut und in einem gewissen Abstand parallel einander gegenübergestellt, so daß sie sich die offenen Seiten zukehren, lassen nach Herstellung der Verbindung mit den zugehörigen Apparaten, also in dem einen Falle mit dem Induktorium und der zugehörigen Batterie, in dem anderen Falle mit dem Lätewerke und der Lokalbatterie des Empfängers (Fig. 77) alle diese Erscheinungen in anschaulicher Weise hervorrufen. Die Paraboloiden wirken in diesem Falle, wenn die Funkenstrecke, beziehungsweise die Frittröhre genau im Brennpunkte desselben aufgestellt ist, ähnlich wie ein Parabolspiegel für das Licht, indem selbe die nach allen Richtungen sich verbreitenden elektrischen Wellen in horizontaler Richtung reflektieren und im Empfänger die aufgenommenen Strahlen wieder im Brennpunkte auf den Fritter konzentrieren. Werden nun im Geber durch Schließen des Stromkreises der Primärschleife elektrische Wellen erzeugt, so werden selbe

parallel auf den Empfänger geworfen, dort im Brennpunkte, beziehungsweise der Brennlinie konzentriert und gelangen so zum Fritter. Derselbe wird leitend und die Batterie *B* wird nunmehr das Klingelwerk *L* zum ertönen bringen.

Fig. 76.

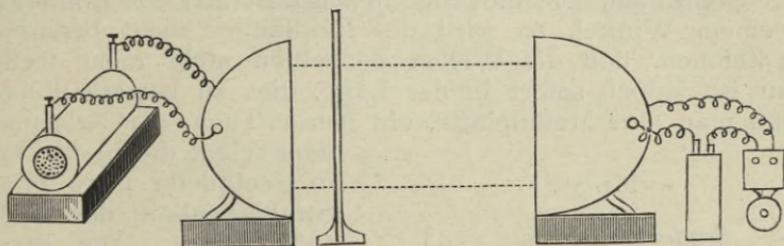
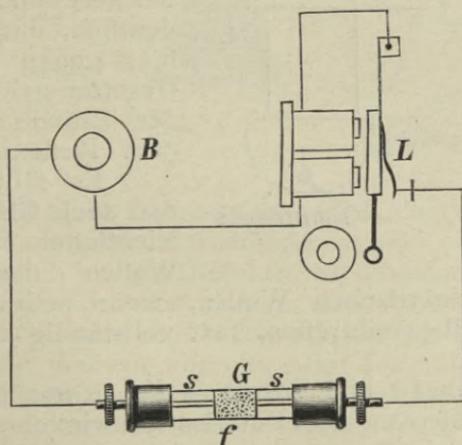


Fig. 77.

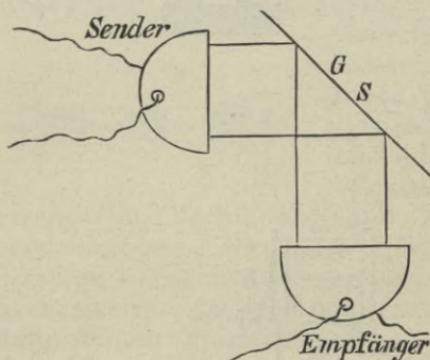


Stellt man nun, wie dies in Fig. 76 angedeutet ist, einen Metallschirm zwischen die beiden Paraboloiden, so wird, da Metalle für elektrische Wellen undurchlässig sind, der Fritter bei Betriebssetzung des Empfängers nicht mehr ansprechen. Ersetzt man diesen Metallschirm durch eine Platte aus Holz, Paraffin, Pech, Wachs, Glas, Ebonite, Leder, trockenes Tuch etc. oder sonst einen Isolator, so spricht der Fritter und mit ihm das Klingelwerk an, weil alle diese Stoffe sich für die elektrischen Wellen als durchlässig erweisen.

Alle Leiter der Elektrizität erweisen sich für den Durchgang der elektrischen Wellen als Hindernisse und sind demnach für selbe undurchlässig. Von Flüssigkeiten erweisen sich Wasser, Alkohol, Glycerin und Amyl-Alkohol als Leiter undurchlässig, hingegen Paraffinöl, Terpentin und Schwefelkohlenstoff als Nichtleiter durchlässig.

Stellt man, wie dies Fig. 78 zeigt, Sender und Empfänger in einem Winkel, so wird der Empfänger nicht beeinflusst, ein Zeichen, daß die Wellen denselben nicht mehr treffen. Man ist jedoch sofort in der Lage, dies zu bewerkstelligen,

Fig. 78.



oder selbst die bloße Hand in geeigneter Lage in die Strahlungslinie des Radiators bringt. Die diesen Schirm treffenden elektrischen Wellen werden reflektiert und zeigt sich hier deutlich, daß diese Wellen hier genau den optischen Gesetzen gehorchen, indem der Einfallswinkel gleich dem Reflexionswinkel ist.

Es fällt hierbei auf, daß auch Glas, welches als Nichtleiter für elektrische Wellen durchlässig ist,

dennoch die elektrischen Wellen, wenn selbe unter einem Winkel auf selbes eintreffen, fast vollständig rückwirft oder reflektiert.

Frtz. Gerald und Trouton haben nun gefunden, daß elektrische Wellen an dem Polarisationswinkel von der Oberfläche des Dielektrikums nicht reflektiert werden, wenn die elektrische Kraft parallel zur Polarisationssebene verläuft, daß jedoch eine Reflektion bei allen Winkeln erfolgt, wenn die Richtung der elektrischen Kraft in einem rechten Winkel zur Polarisationssebene steht.

Schon Hertz hat die Brechung elektrischer Wellen nachgewiesen. Bringt man Sender und Empfänger in eine solche gegenseitige Lage, daß der Empfänger auf die entsendeten elektrischen Wellen nicht mehr ansprechen kann, so läßt sich selber durch ein in die Strahlungsrichtung eingestelltes Pechprisma (Fig. 79) zum Ansprechen bringen. Die elektrischen

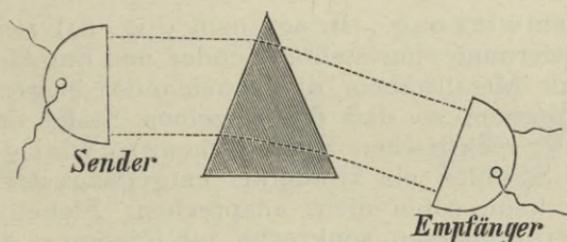
Wellen werden in dem Prisma gebrochen und sohin in eine dem Brechungswinkel entsprechende Richtung abgelenkt.

Flemings Versuche mit einem Paraffin- und Eisprisma ergaben bei einem Brechungswinkel  $i$  für Paraffin von  $60^\circ$  und einem solchen von  $50^\circ$  für Eis eine Ablenkung  $d$  der elektrischen Strahlen um  $55$  beziehungsweise  $50^\circ$ . Hiernach berechnet sich der elektrische Brechungsindex nach der Formel

$$r = \frac{\sin \frac{i + d}{2}}{\sin \frac{i}{2}}$$

mit  $1.64$  beziehungsweise  $1.83$ .

Fig. 79.

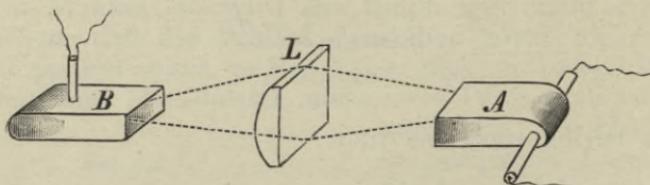


Maxwells Gesetz besagt nun, daß die Quadrate dieser Indizes gleich der Dielektrizitätskonstante sein sollen und erhält man sonach  $2.7$  als Dielektrizitätskonstante für Paraffin und von  $3.35$  für Eis. Es stimmt dies für Paraffin, dessen Dielektrizitätskonstante auf elektrostatischem Wege mit  $2.29$  bestimmt wurde, nahezu überein. Bei Eis zeigt sich jedoch eine große Differenz, indem dessen Dielektrizitätskonstante bei einer Temperatur von nahe  $0^\circ$  einen Wert von  $80^\circ$  zeigt, welcher erst bei ganz niederen Temperaturen bedeutend herabsinkt (bei  $-185^\circ \text{C.}$  auf  $2.6$ ). Diese Ergebnisse wurden späterhin durch genauere Messungen von C. Gulton und von Blondlot bestätigt und bei selben auch die Tatsache festgestellt, daß der Brechungsindex bei Zunahme der Wellenlänge abnimmt.

Konzentration der elektrischen Strahlen durch Linsen. Die Möglichkeit, elektrische Strahlen durch Sammellinsen auf einen Punkt konzentrieren zu können, bietet einen weiteren Beweis dafür, daß die elektrische Strahlung den Gesetzen der Lichtstrahlung folgt. Wird beispielsweise (Fig. 80)

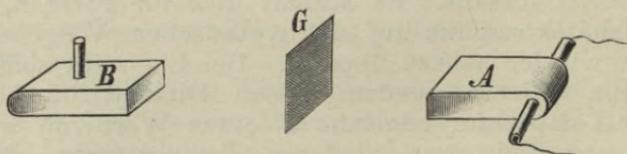
der Empfänger *B* vom Sender *A* in einer Entfernung aufgestellt, daß derselbe auf die von letzteren entsendeten Wellen nicht mehr anspricht und hierauf eine planzylindrische Linse so zwischen beiden situiert, daß der Fokus der Linse den Empfänger trifft, so wird letzterer sofort ansprechen.

Fig 80.



Schirmwirkung. Bringt man (Fig. 81) zwischen auf richtige Entfernung eingestellten Sender und Empfänger einen Rahmen mit Metallstäben, die voneinander in geringer Entfernung abstehen, so daß die einzelnen Stäbe parallel zur Richtung der elektrischen Kraft stehen, so wird dem Durchgange der Strahlen ein Hindernis entgegengesetzt und der Empfänger kann sohin nicht ansprechen. Stehen die Stäbe dieses Gitters hingegen senkrecht zur Richtung der elektrischen Kraft (Fig. 82), so ist das Gitter für die vom Sender ausgestrahlten Wellen durchlässig und der Empfänger

Fig. 81.



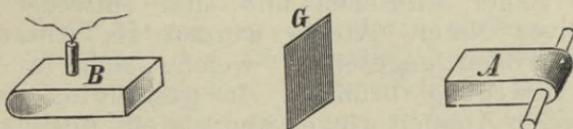
spricht somit ebensogut an, als wenn kein Schirm vorhanden wäre.

Diese Erscheinung, welche der Interferenz des Lichtes entspricht, erklärt sich folgendermaßen: Trifft im ersteren Falle die elektrische Kraft die einzelnen Stäbe, so erzeugt selbe in diesen Stäben sekundäre elektrische Ströme, deren magnetische Kraft in genau entgegengesetzter Phase zu der magnetischen Kraft der elektrischen Hauptstrahlen steht und so deren Wirkung zum größten Teile vernichtet, sohin

auch gegen die Weiterverpflanzung der elektrischen Wellen schirmt.

Erklärung der Ursachen der teilweisen Nichtübereinstimmung des Verhältnisses zwischen Brechungsindex und Dielektrizitätskonstante für elektrische und Lichtwellen bei einzelnen Dielektrikas. Werden Lichtwellen durch Wasser geleitet, so findet eine Verzögerung der Geschwindigkeit dieser Wellen statt, welche innerhalb der Grenzen  $1:1.3$ — $1.4$  liegt. Elektrische Wellen erleiden jedoch im Wasser eine Verzögerung der Geschwindigkeit im Verhältnisse von  $1:8.9$  oder diese Wellen verkürzen sich im Wasser auf nahezu ein Neuntel ihrer ursprünglichen Länge im freien Raume. Es entspricht dies auch so ziemlich dem Gesetze, wonach das Quadrat des

Fig. 82.



Brechungsindex, als welcher in diesem Falle die Zahl  $8.9$  zu bezeichnen ist, der Dielektrizitätskonstante (Wasser =  $80^0$ ) gleich ist. Es stellt sich nun die Frage, warum das Wasser die elektrischen Wellen umso vieles mehr verkürzt als die Lichtwellen?

Die Antwort auf diese Anfrage findet sich teilweise in dem Wechsel der Dielektrizitätskonstante bei Wechsel der Frequenz. Es finden sich nämlich eine große Anzahl von Substanzen von einfacher und symmetrischer chemischer Zusammensetzung, wie beispielsweise flüssige Gase, gesättigte Kohlenwasserstoffe etc., deren Dielektrizitätskonstante zwischen den Werten  $2$  und  $3$  liegt, und deren optische und elektrische Brechungsindizes die Werte  $1.4$ — $1.7$  nicht übersteigen. Diese Werte werden hierbei durch einen Wechsel der Frequenz, welcher zwischen Null und Billionen pro Sekunde liegt, nur wenig oder gar nicht beeinflusst. Es scheint sohin, daß die Materie, aus welchen diese Stoffe bestehen, bloß die Dielektrizitätskonstante des freien Raumes zu verdoppeln vermögen, ohne die qualitative Charakteristik der Dielektrizitätskonstante des Äthers zu ändern. Bei allen diesen Körpern ist die Dielektrizitätskonstante, wie dies

Twing nachgewiesen hat, 2'6mal so groß, als deren Dichte. Auf der anderen Seite zeigen alle Körper, deren Moleküle kleine Gruppen von leicht loslösbaren Atomen enthalten, also Moleküle, welche als Radikale bezeichnet werden, wie Hydroxyl, Nitryl etc., Dielektrizitätskonstanten, welche sowohl unter dem Einflusse der Frequenz als auch der Temperatur einem Wechsel unterliegen. Mit wenigen Ausnahmen verursacht eine Erhöhung der Frequenz eine Herabminderung der Dielektrizitätskonstante und läßt sich sohin als eine Regel aufstellen, daß die elektrische Verschiebung bei diesen Körpern für eine gegebene elektrische Kraft umso größer ist, je länger die Zeit ist, während welcher diese Kraft einwirkt.

Zur Aufklärung dieses anormalen Verhaltens derartiger Körper entwickelt Fleming nachstehende Theorie.

Nach Dr. Larmours Fundamentalannahme sind die Elektronen, deren bereits Erwähnung geschah, als Spannungszentren im Äther anzusehen und sind entweder positiver oder negativer Natur. Atome werden als Ansammlungen solcher Elektronen angesehen, welche sich in beständig drehender Bewegung befinden. In gesättigten chemischen Molekülen oder Atomen gilt es nun als ein Postulat, daß die Anzahl positiver und negativer Elektronen gleich ist. Wird nun weiters angenommen, daß jede Ätherspannung, wie solche durch die Einwirkung einer elektrischen Kraft hervorgerufen wird, eine Verschiebung der positiven und negativen Elektronen im entgegengesetzten Sinne zu bewerkstelligen trachtet und ist diese Verschiebung nur momentaner und rein elastischer Natur, so übt dies, ob nun die elektrische Kraft langsam oder rasch in der Richtung wechselt, auf das Verhältnis zwischen Spannung und Verschiebung oder die dielektrische Konstante keinen Einfluß aus, so daß dieselbe stets gleich bleibt. Dementsprechend ruft eine elektrische Kraft in einem derartigen Dielektrikum eine Spannung des Äthers hervor, welche nur eine leichte Störung in der Konfiguration der Elektronengruppen bedingt, aus welchen die materiellen Atome des Dielektrikums zusammengesetzt sind. Die elastische Rückwirkung gegenüber dieser Verschiebung bleibt in diesem Falle immer die gleiche, ob auch die elektrische Kraft die Richtung billionen- oder nur hundertmal in der Sekunde wechselt. Es zeigt sich hieraus, daß das Maxwell'sche Gesetz für diese Substanzen volle Giltigkeit hat.

Betrachtet man hierzu im Gegenteil eine Substanz wie das Wasser, so läßt das Verhalten desselben an-

nehmen, daß es in zwei nicht gleichartige Teile, nämlich  $H$  und  $HO$  (Hydroxyl), gespalten werden kann. Diese beiden Massen sind nun, wenn frei, als die Ionen des Wassers und als elektrisch geladen zu betrachten. Nach der Elektronen-Theorie sind sowohl Wasserstoff als Hydroxyl aus einer Ansammlung von Elektronen bestehend zu betrachten, wobei die Wasserstoffgruppe mehr positive als negative und umgekehrt die Hydroxylgruppe mehr negative als positive Elektronen enthält. Sind diese beiden Grundstoffe in einem Wassermolekül vereinigt, so besitzt dasselbe ein elektrisches Moment, was so viel besagen will, daß selbes einer Masse äquivalent ist, welche in einem Teile eine positive in dem anderen Teile eine negative Ladung hat. Es zeigt sich ferner, daß die Verbindung zwischen  $O$  und  $H$  im Hydroxyl eine viel innigere ist, als die zwischen  $H$  und  $HO$  im Wasser. Entsprechend dieser Ladung des Moleküls wird sich selbes unter der Einwirkung einer elektrischen Kraft ähnlich wie ein Magnet zu orientieren suchen, woraus sich auch der Wechsel der Dielektrizitätskonstante durch die Frequenz der elektrischen Kraft erklären läßt. Je größer diese Frequenz ist, desto geringer ist die Zeitdauer, welche für die Orientierung verbleibt, desto geringer auch die Änderung der Konstante. Bei geringer Frequenz währt die Einwirkung der Orientierungskraft entsprechend länger und wird infolge dessen die Orientierung eine größere sein und diese Konstante auch größer werden.

Die Tatsache, daß die abnormale Dielektrizitätskonstante bei Erniedrigung der Temperatur sich allmählich dem normalen Werte derselben nähert, läßt sich aus der thermodynamischen Theorie ableiten. Diese Theorie lehrt, daß wahrnehmbare Wärme ein Ergebnis einer Massenbewegung der Moleküle ist. Sobald sich die Temperatur erniedrigt, wird diese Molekülbewegung herabgemindert und die Moleküle werden sich aneinanderdrängen und zu Gruppen vereinigen. Bei derartigen Gruppen wird jedoch das elektrische Moment nahezu verschwinden, indem sich die sozusagen freien Elektrizitäten der einzelnen Moleküle gegenseitig binden. Es ist in diesem Falle genau das gleiche, wie wenn sich Gruppen voneinander gleichen kleinen Magneten von Pol zu Pol derart zu einer Gruppe vereinigen, daß selbe einen geschlossenen magnetischen Kreis bilden. In einem solchen Falle werden dieselben auch kein magnetisches Moment aufweisen können. Dementsprechend kann auch von

außen einwirkende Elektrizität nicht mehr auf diese Gruppen orientierend einwirken und sohin auch keine Vergrößerung der dielektrischen Konstante hervorrufen.

Es ist also zu ersehen, daß eine sehr große Frequenz der elektrischen Kraft (Billionen in der Sekunde) und bedeutende Temperaturerniedrigung die gleiche Wirkung auf das Wasser ausüben und dessen Dielektrizitätskonstante auf den theoretisch normalen, zwischen 2 und 3 liegenden Wert herabdrücken werden.

### Approximative Anzahl der Wellen in der Sekunde.

#### a) In der Luft.

Höchster wahrnehmbarer Ton . . . . .	33.000
Höchster musikalischer Ton . . . . .	4.000
Höchster Sopran . . . . .	2.000
Normale Sprache . . . . .	150—500
Niederster musikalischer Ton . . . . .	32
Niederster wahrnehmbarer Ton . . . . .	16
Fortpflanzungsgeschwindigkeit 340 m in der Sekunde.	

#### b) Im Äther.

Röntgenstrahlen unbestimmbar . . . über	10.000 Billionen
Aktinische Strahlen (ultraviolett) . . .	10.000 »
Violette Strahlen . . . . .	8.000 »
Grüne Strahlen . . . . .	5.500 »
Rote Strahlen . . . . .	2.800—4.000 »
Strahlende Wärme . . . . .	1.000—2.000 »
Hertzische Wellen . . . . .	50 Tausende—2.000 »

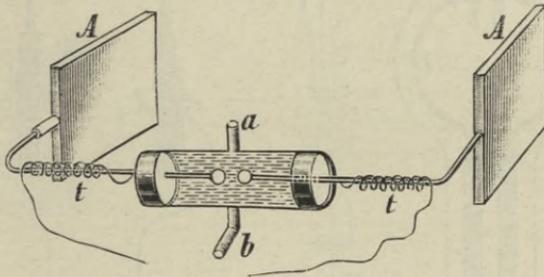
Fortpflanzungsgeschwindigkeit 300.000 km in der Sekunde.

## D. Die verschiedenen Formen der Erreger oder Oszillatoren.

Der ursprüngliche Oszillator von Hertz, dessen Konstruktion bereits klargelegt wurde, vermochte den stetig erhöhten Anforderungen nicht mehr vollständig zu entsprechen und sind dementsprechend vielseitige Bemühungen zu verzeichnen, die Wirksamkeit des Oszillators zu vergrößern. Im nachfolgenden sollen einige dieser Verbesserungen beschrieben werden.

Der Oszillator von M. Sarasin und de la Rive. Wie schon Hughes beobachtete, muß der zwischen den Funkenkugeln überspringende Funke, um die entsprechende Wirkung auszuüben, sozusagen plötzlich und mit großer Energie überspringen. Um dies zu erreichen, ist es nicht nur notwendig, die Entfernung der beiden Kugeln entsprechend der verfügbaren Energie einzustellen, sondern es müssen die Kugeln auch glatt poliert und dürfen in keiner Weise verunreinigt sein. Da jedoch, wenn auch die beiden ersten Bedingungen eingehalten sind, bei längerem Betriebe der Funkenstrecke eine Oxydation der Kugeln eintritt, so werden die überspringenden Funken nach und nach

Fig. 83.



immer unwirksamer und müssen demnach die Kugeln von Zeit zu Zeit sorgfältig gereinigt werden, was eine ziemlich umständliche und zeitraubende Arbeit ist. Um diesen Übelstand zu beseitigen, ließen Sarasin und de la Rive die Entladung durch Vaselineöl oder Petroleum hindurchgehen, wodurch sie einen viel wirksameren Erreger erhielten. Die sonst so unangenehme Reinigung der Kugeln entfiel nunmehr, da sich die Oberflächen nicht mehr oxydierten und erhielten dieselben sohin eine viel regelmäßigere Funktion des Erregers als ohne dieses Hilfsmittel möglich war. Außerdem wurde beobachtet, daß die Spannung, bei welcher die Entladung erfolgte, eine viel größere war als bei der Entladung durch die Luft.

Dieser Erreger ist in Fig. 83 bildlich dargestellt und läßt sich aus derselben ersehen, daß das Öl durch die Röhren *a b* nach Bedarf eingefüllt und abgelassen werden kann. Ebenso kann die Luft in der Glasröhre, wenn dies verlangt wird, in leichter Weise verdünnt werden.

Der Oszillator von Blondlot. Dieser Oszillator ist von dem Oszillator von Hertz wenig verschieden, indem nur, wie dies aus den Fig. 84 und 85 hervorgeht, die beiden die Kapazitäten bildenden Platten  $A B$  parallel und nahe zueinander gestellt sind und die beiden mit den Kugeln  $b b$  versehenen Drähte in dem einen Falle (Fig. 84) eine halbkreisförmige Form annehmen. Der wichtigste Unterschied liegt in der Art und Weise der Erregung des Hertzschen Feldes. In keinem der beiden Fälle sind die Drähte des Induktoriums mit den Platten oder Verbindungsdrähten

Fig. 84.

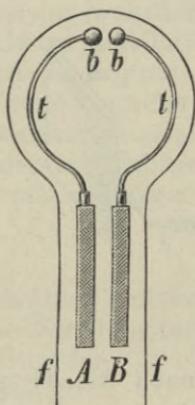
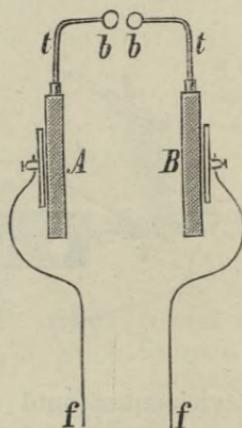


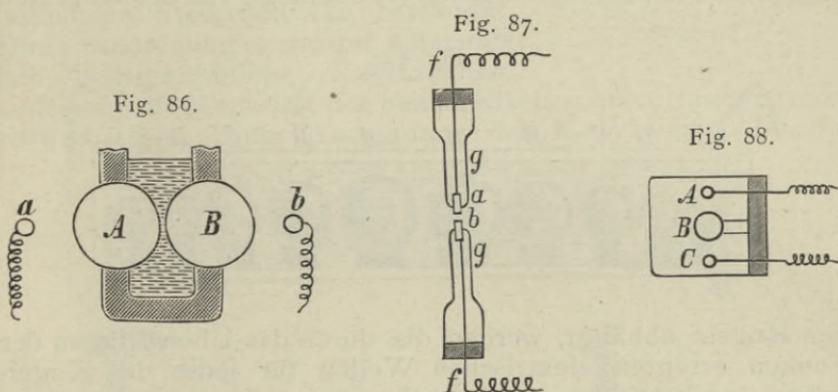
Fig. 85.



zwischen Platte und Kugeln in direkter Verbindung. In dem in Fig. 84 dargestellten Falle erfolgt die Ladung der Platten und Kugeln auf elektrodynamischem Wege, indem die von dem Induktorium ausgehenden Drähte um den Oszillator herumgelegt werden und so durch Induktionswirkung die Ladung hervorrufen. Im zweiten Falle (Fig. 85) wird der Oszillator elektrostatisch geladen und bedarf dies wohl keiner weiteren Erläuterung. Auf diese Weise ist es möglich, die Induktanz des Entladungsstromkreises auf ein Minimum herabzubringen.

Der Erreger von Righi. Bei dem Bestreben, die zu erzeugenden elektrischen Wellen möglichst kurz zu machen, mußte man, da die Periode der elektrischen Oszillationen durch den Ausdruck  $T = 2\pi \sqrt{LK}$  bestimmt wird, trachten die Kapazität des Entladungskreises so klein als erreichbar zu

gestalten. Aus diesem Grunde bildet Righi die oszillierende Funkenstrecke aus zwei Kugeln von 4 cm Durchmesser, welche teilweise in Öl getaucht sind (Fig. 86), um Oszillationen von hinreichender Intensität zu erzeugen. Diese beiden Kugeln werden durch zwei viel kleinere Kugeln *a*, *b*, die mit der Elektrizitätsquelle verbunden sind, erregt oder geladen. Von den drei zwischen *aA*, *AB* und *Bb* überspringenden Funken, ist nur der mittlere zwischen *A* und *B* oszillatorischer Natur. Die Entfernung zwischen *A* und *B* beträgt nur 1 mm, hingegen zwischen *aA* und *Bb* je 2 cm.



Mittels Hilfe dieses Erregers erhielt Righi Oszillationen, deren Wellenlänge nicht über 10 cm hinausging. Bei Verwendung von Kugeln von 0.8 cm für die mittlere Funkenstrecke *A*, *B*, konnte die Wellenlänge bis auf 2.5 cm herabgedrückt werden.

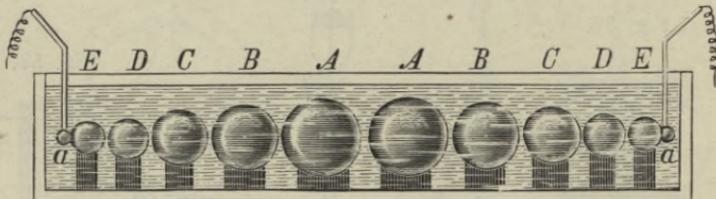
Der Erreger oder Oszillator von Lebedew. Dieser Erreger besteht (Fig. 87) aus den zwei Platinzylindern *ab* von 1.3 mm Länge und 0.5 mm Durchmesser, welche in die beiden Glasröhren *gg* eingeschmolzen sind. Diese Zylinder werden durch die mit dem Induktorium unter Zwischenlage eines Kondensators verbundenen Drähte *ff* erregt. Dieser Erreger wird in die Brennlinie eines kleinen zylindrischen Metallspiegels eingesetzt und samt demselben in Petroleum versenkt. Die mit diesem Erreger erzielte Wellenlänge betrug 6 mm.

Der Erreger von Bose. Bei demselben gelangen (Fig. 88) drei Kugeln aus Platin *A*, *B*, *C* zur Verwendung, von welchen die mittlere Kugel von 0.78 cm Durchmesser vollständig isoliert ist, wogegen die beiden Kugeln *A* und *C* direkt mit der

Elektrizitätsquelle in Verbindung stehen. Die Entladung erfolgt hierbei durch die Luft. Dieser Erreger wirkt trotz der geringen Intensität der erregten Oszillationen sehr gut auf den Resonator ein, indem sich dieselben als äußerst wirksam erweisen.

Erreger für Mehrfachtelegraphie. Um verschiedene Wellenlängen durch einen Erreger gleichzeitig zu erzeugen, werden, wie dies Fig. 89 zeigt, in ein mit Öl gefülltes Gefäß eine Reihe von Kugeln, deren Durchmesser stetig abnimmt, in kurzen und gleichen Abständen eingesetzt und durch die beiden Kugeln *aa*, die mit der Elektrizitätsquelle in Verbindung stehen, erregt. Da die Wellenlänge von der Kapazität

Fig. 89.



der Kugeln abhängt, werden die durch das Überspringen der Funken erregten elektrischen Wellen für jedes der Kugelpaare eine bestimmte und voneinander genau unterschiedene Länge haben, die nur den bestimmten Empfänger zum Ansprechen bringen. Diese Erreger finden, da eine direkte Abstimmung des bei der drahtlosen Telegraphie verwendeten Kohärrers noch nicht erreicht werden konnte, nur für die Wellentelegraphie entlang von Drähten Anwendung.

## E. Die verschiedenen Apparate zum Aufnehmen der elektrischen Wellen.

Der Resonator von Hertz. Der für die Wahrnehmung von elektrischen Wellen im Raume verwendete Resonator von Hertz, wie solcher in Fig. 69 dargestellt ist, stellt die einfachste, aber mindest sensible Form eines Empfängers dar. Empfindlicher kann derselbe durch Einstellung der Funkenstrecke mittels Mikrometerschraube gestaltet werden und stellt Fig. 90 einen derartig abgeänderten Resonator dar. Die Details der Regulierung der Funkenstrecke sind aus den Fig. 91 und 92 ohne weiteres zu ersehen und zeigt nur Fig. 92

die Regulierung mittels Mikrometerschraube in tangentialer Richtung zum Kreisumfang.

Der Resonator von Blondlot. Derselbe besteht (Fig. 93) aus einem aus starkem Leitungsdraht hergestellten Rechtecke, dessen nicht geschlossene Enden in zwei nahe aneinander gerückten Metallplatten ausmünden. An diese Metallplatten ist die durch eine Mikrometerschraube regulierbare Funkenstrecke befestigt. Diese Anordnung gestattet einerseits den Selbstinduktions - Koeffizienten, anderseits die Kapazität der beiden Flächen im vorhinein genau zu bestimmen. Unter Anwendung der Kelvinschen Formel

Fig. 90.

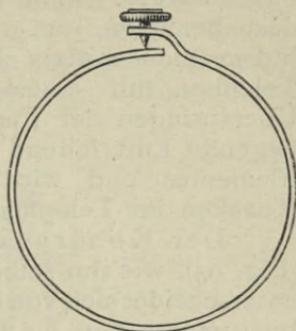


Fig. 91.

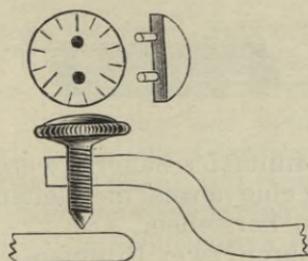
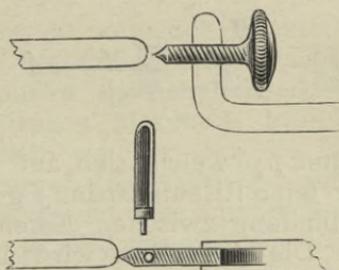


Fig. 92.



konnte Blondlot mit sehr großer Annäherung die Periodenzahl der Oszillationen, welche derselbe erregt, bestimmen.

Der unterbrochene Hertz'sche Resonator. Wird der zusammenhängende Teil des Resonators (Fig. 90) zwischen zwei Punkten *a* *b* (Fig. 94) auf wenige Zentimeter unterbrochen, so werden unabhängig von dieser Unterbrechung dennoch die Funken in der Funkenstrecke überspringen oder der

Fig. 93.

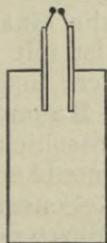
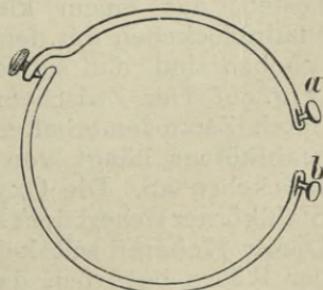


Fig. 94.



Resonator so wirken, als wenn diese Unterbrechung nicht vorhanden wäre. Man kann diese Eigenschaft des Resonators dazu benutzen, um die Zeichen telephonisch aufzunehmen, indem man mittels Klemmschrauben zwischen  $a$  und  $b$  ein Telephon mit einem Elemente einschaltet. Da durch das Überspringen der Funken an der Funkenstrecke die zwischenliegende Luft leitend wird, schließt sich der Stromkreis des Elementes und wird jeder solche Stromschluß durch ein Knacken im Telephone bemerkbar.

Der Kohärer von Popoff. Der Kohärer von Popoff (Fig. 95), wie ihn selber für seine ersten Versuche verwendete, unterscheidet sich von dem in Fig. 35 dargestellten gleichartigen Instrumente von Lodge im Prinzipie eigentlich nur dadurch, daß die Feilspäne nur in geringen Quantitäten zur Anwendung gelangen und die Röhre nicht gänzlich ausfüllen. Zwischen zwei in das Glasgefäß  $g$  eingeschobenen Platin-

Fig 95.

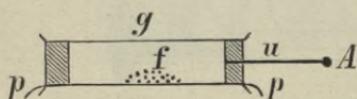
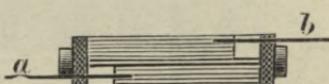


Fig. 96.



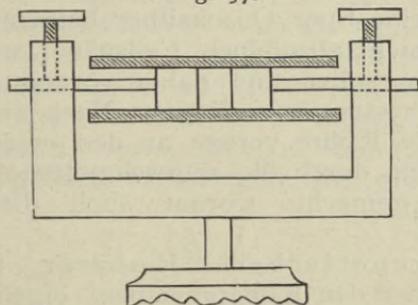
streifen  $pp$ , welche sich auf wenige Millimeter nähern, werden sehr feine Eisenfeilspäne  $f$  gelegt, die eine normal nichtleitende Verbindung zwischen diesen Streifen herstellen.

Die Glasröhre wird hierauf durch zwei Pfropfen verschlossen. Derselbe wird durch ein in den einen Pfropfen eingestecktes sehr elastisches Stück einer Uhrfeder in horizontaler Lage erhalten. Der Widerstand dieses Kohäers sank nach Popoff unter dem Einflusse elektrischer Wellen von 10.000 Ohm auf 750 Ohm.

Der neue äußerst empfindliche Kohärer von Popoff besteht aus einem kleinen Glasröhrchen, in welches zwei Platinblöckchen mit den ausmündenden Drähten  $ab$  so eingeschoben sind, daß sie sehr nahe einander zu liegen kommen, (Fig. 96). Der Zwischenraum ist mit Stahlkörnern, wie solche durch Zerstoßen erhalten werden, ausgefüllt. Die Größe dieser Stahlkörner hängt von dem Raume zwischen den beiden Blöckchen ab. Die Oxydationsschicht an der Oberfläche der Stahlkörner sichert dem Instrumente eine große Empfindlichkeit. Dieser Kohärer soll keiner Regeneration durch Erschüttern der Röhre bedürfen, daher selbstregenerierend sein.

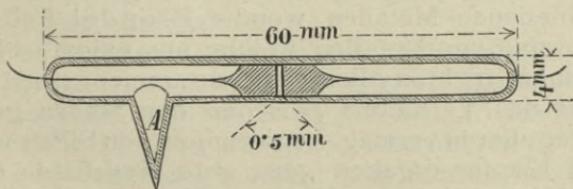
Der Kohärer von Branly. Um die größtmögliche Empfindlichkeit eines Empfängers zu erhalten, ist es notwendig, die Entfernung der beiden Elektroden im Verhältnis zur eingefüllten Menge von Feilspänen genau zu regulieren. Branly führt dies in folgender Weise aus (Fig. 97). Durch zwei

Fig. 97.



Öffnungen eines Supports werden die von den Elektroden des Kohälers abgehenden Drähte hindurch gesteckt und in dieser Lage mittels zweier Schrauben festgehalten, so daß die Entfernung der beiden Elektroden hierdurch bestimmt wird, wobei die Glasröhre, innerhalb welcher sich die Elektroden befinden, von denselben festgehalten wird. Ist nun in die Röhre zwischen den beiden Elektroden eine entsprechende Menge von Feilspänen eingefüllt, so wird die eine der beiden

Fig. 98.



Schrauben gelockert und die richtige Entfernung zwischen den beiden Elektroden durch leichte Schläge auf den ausmündenden Draht hergestellt.

Der Kohärer von Marconi (Fig. 98). Marconi ist es gelungen, seinem Kohärer eine viel größere Empfindlichkeit zu verleihen, als die Kohälers von Branly, Lodge und erste

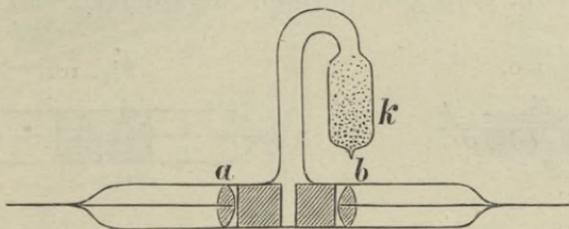
Type von Popoff besaßen. Die Röhre von Marconi hat einen Durchmesser von 3—4 mm und enthält zwei Pistons oder Elektroden aus Silber, von welchen die Ableitungsdrähte hinweggehen. Diese beiden Pistons werden einander auf eine Entfernung von 0,5 mm genähert und der Zwischenraum mit einem Gemenge von Feilspänen aus Nickel und Silber im Verhältnis von 96 Teilen Nickel und 4 Teilen Silber, welchem noch eine Spur Quecksilber beigemischt wird, ausgefüllt. Diese nicht allzufeinen Feilspäne, welche möglichst gleichmäßig sein sollen und daher vorerst gesiebt werden, dürfen keiner Pressung unterliegen. Nach dieser Zusammenstellung wird die Röhre vorerst an den beiden Enden zugeschmolzen, sodann durch die angeschmolzene Röhre A möglichst luftleer gemacht, worauf auch diese Röhre verschmolzen wird.

Der regenerierbare Kohärer von Blondel. Blondel, welcher den Kohärer einem eingehenden systematischen Studium unterzog, zeigte, daß die große Empfindlichkeit des Kohäriers von Marconi nur der außerordentlich geringen Menge der verwendeten Feilspäne sowie der besonderen Zusammensetzung derselben und der minutiösen Vorsicht, mit welcher bei der Fabrikation desselben vorgegangen wird, zuzuschreiben ist. Er zeigte auch, daß es notwendig ist, für die Späne leicht oxydierbare Metalle zu verwenden, weil an der Luft nicht oxydierbare Metalle, wie Silber, Gold, Platin den Strom immer durchlassen. Indessen lassen sich auch mit Silberspänen, welche vor dem Gebrauche sorgfältig sulphuriert wurden, wie Tissot zeigte, gute Ergebnisse erreichen. An Stelle eines Gemenges von Feilspänen aus verschiedenen Metallen wendet Blondel Feilspäne aus einer Legierung von Metallen, welche aus einem oxydierbaren und aus einem nichtoxydierbaren zusammengesetzt sind, an, wodurch er das Verhältnis zwischen den beiden genau nach Bedarf zu regulieren vermag. Legierungen von Silber und Nickel, Silber und Kupfer ergaben ganz gute Resultate. (Schweizerisches und amerikanisches Nickelgeld sowie russisches Silbergeld erwiesen sich für die Anwendung vollkommen geeignet.)

Dadurch, daß er die Menge des oxydierbaren Metalles bedeutend reduzierte, erhielt er Legierungen, welche sich erst beim Erhitzen oxydierten, und war dadurch in der Lage, den Grad der Oxydation der Späne genau bestimmen zu können, ohne befürchten zu müssen, daß sich dieselbe unter der Einwirkung der kalten Luft ändern wird.

Außer der genauen Feststellung der Mischungsverhältnisse der Metallegierungen hat Blondel auch die Evakuierung der Röhre angewendet, welche späterhin von Marconi gleichfalls angenommen wurde. Als dritte Verbesserung des Kohärrers ist dessen Regenerierungsfähigkeit durch Vorsehen eines Vorrates an Reservespänen zu bezeichnen. Dieselben sind in der Vorratskammer *k* (Fig. 99) eingebettet und gelangen dann zur Benützung, wenn die zwischen den beiden Elektroden liegenden Späne an Empfindlichkeit einzubüßen beginnen. Dieselben werden sodann durch Umlegen der Röhre nach *k* zurückgeführt, sodann durch tüchtiges Schütteln mit den Reservespänen vermischt und hierauf zwischen die Elektroden rückgefüllt, eine Arbeit, die große Sorgsamkeit

Fig. 99.



erheischt. Um ein Eindringen der Späne in den leeren Raum zwischen den Elektroden, die aus Platin gebildet nicht genau einpassen können, zu verhindern, wird jede Elektrode mit einem Pfropfen *a b* aus jenem weichen Amalgam, welches die Zahnärzte verwenden, eingerahmt.

Selbstregenerierende Kohärrer von Tommasina. Tommasina verwendet gepulverte Kohle, wie solche für die Mikrophone in Verwendung steht, als frittenden Körper. Derselbe besteht (Fig. 100) aus einer rechteckigen Ebonitplatte *p* von 15:12 mm Seitenlänge und 2,5 mm Stärke, in deren Mitte ein Loch von zirka 2 mm Durchmesser gebohrt ist. Diese Ebonitplatte wird durch zwei Glimmerplatten *gg* überdeckt, nachdem vorerst die beiden Ableitungsdrähte *a b* eingesetzt wurden, welche in das, in den Hohlraum der Ebonitplatte eingefüllte Kohleklein hineinreichen, ohne sich jedoch zu berühren. Diese Ableitungsdrähte, welche aus Neusilber gefertigt sind, haben einen Durchmesser von 0,2 mm und sind mit Ausnahme der in die Kohle reichenden, blank gemachten und polierten Teile mit

Seide übersponnen. Nach Tommasina hat dieser Kohärer, der auf jede beliebige Empfindlichkeit eingestellt werden kann, die besondere Eigenart, daß die durch elektrische Wellen bewirkte Kohärenz unmittelbar nach dem Aufhören dieser Einwirkung verschwindet, derselbe somit keiner mechanischen Einwirkung bedarf, um in den ursprünglichen nicht leitenden Zustand zurückzukehren. Als Erfordernis wird jedoch ein scharfes Trocknen des Kohlenpulvers bezeichnet.

Der Kohärer von Tissot. M. Tissot schuf einen Kohärer, bei welchem Feilspäne von magnetisierbaren Metallen, wie Eisen oder Nickel, verwendet werden. Die Elektroden können hierbei entweder aus magnetisierbarem oder auch nichtmagnetisierbarem Metalle gebildet sein. Der Kohärer selbst wird möglichst luftleer gemacht, und in denselben um eine Oxydation der Feilspäne oder Elektroden hintanzuhalten, eine ganz geringe Menge Kalziumkarbur ein-

Fig. 100.

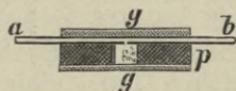


Fig. 101.



gefüllt. Die von Tissot angewendete Methode, um die Empfindlichkeit des Kohäriers zu erhöhen, besteht darin, daß derselbe in ein magnetisches Feld, dessen Kraftlinien parallel zur Achse der Röhre verlaufen, gebracht wird. Dieses Feld wird entweder durch einen permanenten Magnet, oder besser noch durch Drahtwindungen, die die Röhre des Kohäriers umgeben, erzeugt.

Bei diesem Kohärer ist es möglich, die Elektroden ziemlich weit voneinander abstehen zu lassen, etwa bis auf 1 cm, ohne daß hierdurch dessen Empfindlichkeit merklich beeinflußt wird.

Die Feilspäne werden gesiebt, so daß nur Partikelchen ganz bestimmter Größe zur Verwendung gelangen können. Das Dekohärieren durch einen Schlag erfolgt mit Leichtigkeit, nachdem das zur Anwendung gelangende magnetische Feld ein sehr schwaches ist. Unterdrückt man das magnetische Feld, so kehrt der Kohärer schon bei einer äußerst schwachen Erschütterung auf seinen ursprünglichen Leitungswiderstand zurück. Wenn man daher das erforderliche magnetische Feld durch einen von einem Relais dirigierten Elektromagneten

erzeugt, wobei das Relais beim Ansprechen den Stromkreis desselben unterbricht, sohin auch das magnetische Feld verschwindet, so erhält man einen sehr empfindlichen Kohärer, bei welchem der Erschütterer oder Klopfer ausgeschaltet werden kann. Die Form dieses Kohäriers zeigt Fig. 101.

Der Empfänger von Axel Orling und Georg Braunerhjelm. Dieser Empfänger besteht im wesentlichen aus einer Serie von leitenden Kugeln in gegenseitigem Kontakte, welche zwischen zwei Elektroden gelagert sind. Diese

Fig. 102.

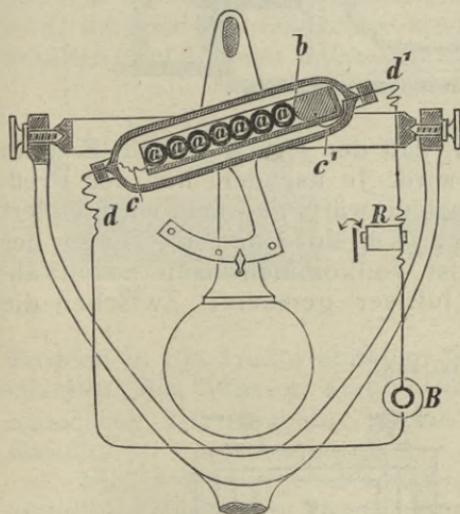
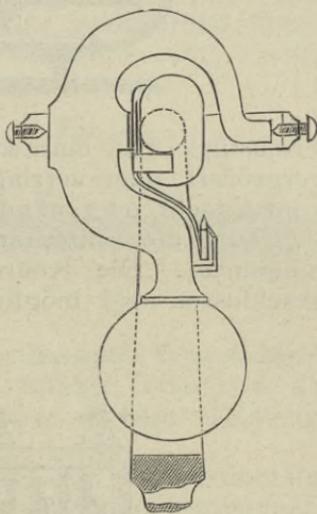
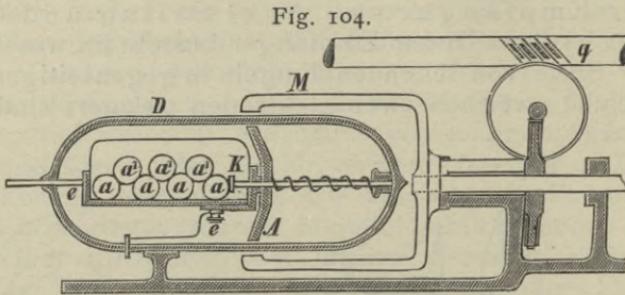


Fig. 103.



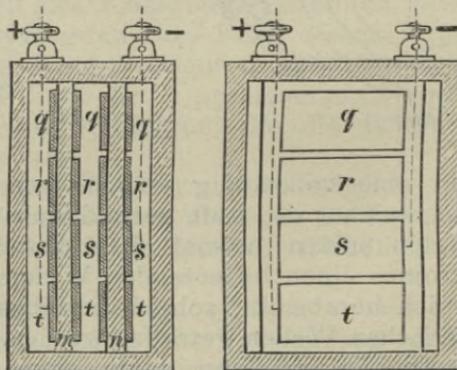
Kugeln sind in eine vollständig verschlossene Röhre eingeschlossen, aus welcher die Luft bestmöglichst ausgepumpt ist. Diese Kugeln bieten normal dem Durchgange eines elektrischen Stromes einen bedeutenden Widerstand, welcher jedoch beträchtlich herabsinkt, sobald dieselben von Wärme, Licht oder elektrischen Wellen getroffen werden. Die Empfindlichkeit dieses Empfängers kann durch eine Änderung der Neigung der Röhre genau reguliert werden. Dieser Empfänger ist in den Fig. 102 und 103 dargestellt und bezeichnen daselbst *a*, *a* die Kugeln, *b* die isolierte Röhre, *c* *c'* die beiden Elektroden, welche durch die Drähte *d* *d'* mit dem Stromkreis der Batterie *B*, in welchen der Elektromagnet *R* eingeschaltet ist, in Verbindung stehen.

Fig. 104 stellt eine Vervollkommnung des vorstehend beschriebenen Empfängers dar. Durch Drehung der Welle  $q$ , welche durch eine entsprechende Übersetzung den Elektromagnet  $M$  gleichfalls verdreht, ist man in der Lage, auf das



Eisenstück  $A$  so einzuwirken, daß der Druck auf die Kugeln vergrößert oder verringert wird. Je nachdem nun der Preßkopf  $K$  mehr oder minder nach einwärts gedrückt wird, ändert sich auch die Entfernung der Kugeln  $a$  und die Lage der Kugeln  $a_1$ . Die Röhre  $D$  ist vollkommen nach außen abgeschlossen und möglichst luftleer gemacht. Zwischen die

Fig. 105.



beiden Elektroden  $e e$  wird die hier nicht dargestellte Batterie samt den zugehörigen Relais eingeschaltet.

Empfangsapparat von Johann Christian Schaffer, Eduard Renz und Paul Lippold. Dieser Empfangsapparat ist in die Reihe der Antikohörer einzureihen,

d. h. er erhöht seinen Widerstand unter dem Einflusse elektrischer Wellen. In den Fig. 105 und 106 sind die beiden verschiedenen Typen dieses Empfängers dargestellt. Deren Wirkung beruht auf der von Neugschwendter festgestellten Tatsache, daß Wasserbläschen oder adhärierende Wasserteilchen, welche zwei Leiter verbinden, unter dem Einflusse der elektrischen Wellen ihre Leitungsfähigkeit verlieren. Es sind hier auf zwei isolierenden Leisten  $m, n$  (Fig. 105) rechts und links Metallplättchen  $q, r, s, t$  so befestigt, daß sie sehr enge aneinander liegen, ohne sich jedoch zu berühren. Diese Plättchen sind abwechselnd mit der positiven und negativen Klemme des Kästchens, in welchem sie eingebettet sind, verbunden. Dieselben werden nun fortwährend feucht erhalten, indem man entweder stetig Wasser in sehr kleinen

Fig. 106.

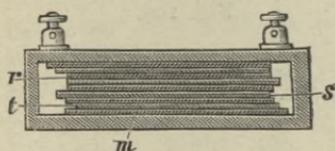
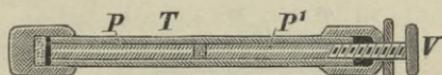


Fig. 107.



Tropfen in das Gefäß einfallen läßt, in dasselbe Wasserdampf einleitet, das Wasser durch Dochte zuführt, oder was das einfachste ist, feuchte poröse Körper in das Kästchen einfüllt.

Fig. 106 zeigt eine andere Anordnung mit horizontalen Metallplättchen, die durch eine Zwischenlage isolierenden Materiales voneinander getrennt sind. Normal ist der Widerstand dieses Empfängers so gering, daß ein Strom über denselben zirkulieren kann. Unter dem Einflusse elektrischer Wellen steigt der Widerstand so an, daß ein in den Stromkreis eingeschaltetes Relais losgelassen wird.

Der Kohärer von Ducretet. Bei diesem Kohärer, dessen Röhre  $T$  aus Glas, Elfenbein oder einem sonstigen isolierenden Materiale hergestellt ist, wird, um den Druck der Feilspäne leicht regulieren zu können, die eine Elektrode  $P^1$  mit einer Preßschraube  $V$  in Verbindung gebracht, durch welche dieselbe der Elektrode  $P$  nach Bedarf genähert oder von derselben entfernt werden kann (Fig. 107). Man kann diesen Kohärer auch, wie dies in Fig. 108 angedeutet ist, mit drei Elektroden  $P, P^1, P^2$  ausrüsten, so daß die Feilspäne in

zwei Partien getrennt bei  $L$  und  $L'$  stets zwischen einer der äußeren und der mittleren Elektrode zu liegen kommen.

Der Strom geht in diesem Falle von außen kommend durch eine Abzweigeschaltung stets gleichzeitig zu den beiden äußeren Elektroden und von diesen über die dritte Elektrode weiter. Es findet also eine Art Parallelschaltung statt. Zur Herstellung der Verbindung der mittleren Elektrode mit dem Leiter dient die Verbindungsschraube  $E$ .

Der Wellenanzeiger von Righi. In einer Tube mit verdünntem Gase sind (Fig. 109) zwei aus Metalldrähten bestehende Elektroden  $a$ ,  $b$  derart eingeschmolzen, daß das Ende je eines Drahtes von dem anderen Drahte nur um einige wenige Zehntel eines Millimeters absteht, und die Kraft einer eingeschalteten Batterie nicht ausreicht, diesen hierdurch entstandenen Widerstand zu überwinden. Sobald dieser Apparat

Fig. 108.

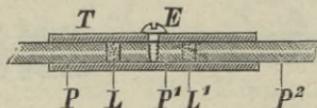
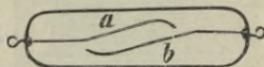


Fig. 109.



dem Einflusse elektrischer Wellen ausgesetzt ist, stellt sich jedoch die leitende Verbindung zwischen den Drähten her und ein in den Stromkreis eingeschaltetes Galvanometer zeigt sofort kräftigen Ausschlag. Dieser Wellenanzeiger, welcher ziemlich empfindlich ist, besitzt die Eigenschaft, sich selbst zu regenerieren, bedarf sohin keiner Erschütterung, um nach Aufhören der Welleneinwirkung wieder nichtleitend zu werden.

Der Wellenanzeiger von Blondel. Dieser Wellenanzeiger, welcher sich allerdings nur für kurze Entfernungen empfindlich erweist, besteht aus einer Geisler Röhre, in welche Elektroden von großer Oberfläche eingesetzt sind, die so nahe als möglich aneinander gerückt werden.

Der einfachste Wellenanzeiger. Dieser Wellenanzeiger, welcher mit Erfolg zur Anzeige von atmosphärischen Elektrizitätsentladungen verwendet wurde, besteht aus zwei blank polierten Nähnadeln, die kreuzweise übereinander gelegt werden. Jede dieser Nadeln ist mit einem Pole des Stromkreises verbunden. Normal erweist sich diese Verbindung als nichtleitend, geht jedoch unter dem Einflusse elektrischer Wellen sofort in den leitenden Zustand über. Auch dieser

Wellenanzeiger bedarf keiner Regenerierung, nur ist es Bedingung, daß selber in einem trockenen Raume aufgestellt wird.

## F. Die Wirkungsweise des Kohärrers.

Um die Tatsache, daß lose gelagerte Feilspäne unter der Einwirkung elektrischer Wellen leitend werden, zu erklären, wurde eine Reihe von Hypothesen aufgestellt, auf welche, wiewohl diesbezüglich bereits einiges gebracht wurde, dennoch etwas näher eingegangen werden soll.

Branly nimmt an, daß das Dielektrikum, welches die losen Teilchen der Feilspäne trennt, unter dem Einflusse der elektrischen Wellen leitend wird und so dem Strome Durchgang gewährt. Diese Erklärung könnte jedoch nur für solche Kohärer Anwendung finden, welche nach Aufhören der Einwirkung der elektrischen Wellen in ihren ursprünglichen, nichtleitenden Zustand von selbst zurückkehren. Für jene Kohärer hingegen, welche um diesen ursprünglichen Zustand einzunehmen einer Erschütterung bedürfen, reicht jedoch diese Erklärung nicht aus. Würde man hingegen annehmen, daß das Dielektrikum auch nach der Einwirkung der Wellen in leitendem Zustande verbleibt, also polarisiert wird, und es daher einer Erschütterung bedarf, um die Polarisation aufzuheben, so gelangt man gegenüber den sich selbsttätig dekohärierenden Kohärrern in einen Widerspruch, da sich nicht annehmen läßt, daß das gleiche Dielektrikum sich bei verschiedenen Kohärrern verschieden verhält.

Lodge stimmt der vorstehenden Ansicht nicht bei, sondern nimmt an, daß unter dem Einflusse der elektrischen Wellen in den einzelnen leitenden Partikelchen elektrische Spannungen auftreten und infolgedessen zwischen denselben kleine Fünkchen übertreten, welche Metallteilchen mitreißen, die sodann die einzelnen Späne verbinden. Es bilden sich hierdurch leitende Brücken, die jedoch so zarter Natur sind, daß sie bei der geringsten Erschütterung in sich zusammenbrechen, wodurch es sich auch erklärt, daß der Kohärer nach jeder derartigen Erschütterung in seinen ursprünglichen, nichtleitenden Zustand zurückkehrt. Da nach der Ansicht Lodges hier eine Kohäsionswirkung vorliegt, hat er auch das von Branly mit dem Namen Radiokonduktor belegte Instrumentchen als Kohärer bezeichnet.

Es scheint jedoch, als wenn diese Erklärung für eine bestimmte Sorte von Kohärern, das sind jene, welche aus einem äußerst innigen Gemenge von Metallspänen und einem schmelzbaren Dielektrikum bestehen (Aluminiumspäne und Schwefel), und welche eine kompakte Masse darstellen, nicht zutreffen würde. Doch auch hier ist diese Erklärung zutreffend, indem die Fünkchen durch die isolierende Materie hindurch gehen, wobei sie bei dem innigen Gemenge und der kompakteren Lagerung eine viel dünnere Isolierschicht zu durchschlagen haben, als bei den Kohärern mit Luft als Dielektrikum. Daß auch hier leitende Brücken entstehen, ist ebenso leicht erklärbar, wie, daß diese Brücken unter einem Schlage trotz des festen Dielektrikums zusammenbrechen. Der Schlag muß hierbei jedoch kräftiger sein, als bei Kohärern mit losen Feilspänen.

Aber auch für die sich selbsttätig regenerierenden Kohärer, welche nach Aufhören der Welleneinwirkung in ihren ursprünglichen nichtleitenden Zustand zurückkehren, findet sich nach dieser Anschauung eine Erklärung. Man hat es eben bei diesen Kohärern mit Materialien zu tun, bei welchen ein Verschmelzen oder eine Art Lötung ausgeschlossen ist, und es werden die durch das Überspringen der Funken sich gebildeten Brückchen in sich zusammenbrechen, sobald die diese Brückenbildung veranlassende äußere Einwirkung verschwindet. Es bedarf aber hierbei gar nicht der Annahme einer Brückenbildung, indem ja, ehe die Funken überspringen können, das Dielektrikum leitend geworden sein muß, und sohin das ganze Gefüge des Kohärsers während des Überspringens der Funken als Leiter anzusehen ist.

Nach der vorstehenden Hypothese lassen sich sohin alle Erscheinungen des Kohärsers erklären, doch findet sich in selber für die Wirkungsweise der Antikohärer, nämlich jener Instrumente, bei welchen der Widerstand unter der Einwirkung elektrischer Wellen zu statt abnimmt, keinerlei Begründung.

Righi stellte zur von Lodge gegebenen Erklärung der Wirkungsweise der Kohärer eine Zusatzhypothese auf, indem er die Möglichkeit von kleinen Bewegungen der leitenden Teilchen annimmt, in Folge welcher sich die leitenden Spänchen in einer Weise anordnen, daß sie eine leitende Kette bilden, in welcher alle Teilchen an ihren Berührungspunkten einen vollkommenen Kontakt haben.

Diese Hypothese scheint keine besonders glückliche zu sein, da sich selbe nicht auf alle Kohärer anwenden läßt,

indem beispielsweise für aus Metallscheiben oder Metallkugeln oder aus einem festen Gemenge von Leitern und Nichtleitern gebildete Kohärer eine derartige Erklärung nicht anwendbar ist.

Zum Beweise der Richtigkeit der Anschauung, beziehungsweise Erklärung der Wirksamkeit des Kohäriers durch Lodge, werden die Ergebnisse der Untersuchungen von Arons, Tommasina, Malagoli u. a. angeführt, doch entbehren die Bedingungen, unter welchen diese Untersuchungen durchgeführt wurden, jenes überzeugenden Charakters, den man selben beizulegen sucht.

Arons konnte unter dem Mikroskope das Überspringen von Funken zwischen den Enden der Feilspäne und auch die Bildung der leitenden Brücken beobachten, und wurde die Richtigkeit dieser Tatsache auch von Lecher bestätigt. Da jedoch die Hertz'schen Wellen in unmittelbarer Nähe der zu untersuchenden Objekte erzeugt wurden, sind die Wirkungen wohl nicht mit jenen vergleichbar, welche von den in einer Entfernung von 50—80 *km* von der Sendestelle aufgefangenen Wellen hervorgerufen werden, da deren Intensität eine vielfach geringere sein muß.

In gleicher Weise kann auch die Beobachtung Tommasinas, nach welcher sich unter Einwirkung elektrischer Wellen leitende Ketten bildeten, nicht als beweiskräftig für die von Lodge und Righi gegebene Erklärung der Wirkungsweise des Kohäriers angesehen werden, weil auch hier die Bedingungen, unter welchen die Versuche angestellt wurden, wesentlich von jenen differieren, welche in der Regel für die drahtlose Telegraphie in Betracht kommen.

Tissot, welcher sowohl mittels Mikroskop, als auch unter Zuhilfenahme der Diffraktionsphänomene, die Eisenfeilspäne, welche er für seine Versuche verwendete, eingehend untersuchte, konnte weder eine Bewegung noch eine Orientierung derselben unter der Einwirkung elektrischer Wellen beobachten. Auch erwähnte er in seinen diesbezüglichen Veröffentlichungen nichts von überspringenden Funken, so daß anzunehmen ist, daß er selbe nicht zu konstatieren vermochte.

Wiewohl diese Nichtbeobachtung der überspringenden Funken deren Vorhandensein nicht ausschließt, so fehlt doch der positive Nachweis hierfür. Die einzige Tatsache, welche zugunsten der Lodgeschen Erklärung angerufen werden kann, ist die von Blondel nachgewiesene, daß die Wirksamkeit

eines Kohärrers durch einen äußerst dünnen Überzug von von nichtleitendem Materiale, also durch Metalloxyde wesentlich erhöht wird, wogegen an der Luft nicht oxydierbare Metalle wie Silber, Gold, Platin für die Füllung verwendet, äußerst unempfindliche Kohärrer ergeben.

Kapitän Ferrié, welcher die Kohärrer eingehend studiert hat, stellt eine Reihe von Hypothesen über die Wirkungsweise der Kohärrer auf, welche sich in zwei Gruppen teilen lassen, nämlich für Kohärrer, welche durch einen Schlag dekohärriert werden müssen und für solche, welche sich selbst dekohärrieren.

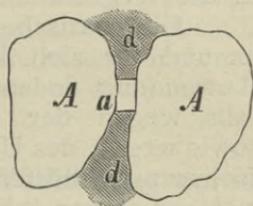
Ferrié betrachtet zwei aufeinander folgende Feilspänchen mit dem zwischenliegenden Dielektrikum als einen Kondensator, welcher fähig ist, ohne sich zu entladen, eine gewisse Potentialdifferenz  $V$  aufzunehmen. Sobald jedoch diese Potentialdifferenz eine gewisse Grenze überschreitet, findet diese Entladung statt. Bei dieser Entladung bilden sich die leitenden Brücken. Die Größe der Potentialdifferenz, welche dieser Kondensator, ohne sich zu entladen, zu tragen vermag, hängt nun nach Ferrié erstens von der Natur und der Dicke des zwischen zwei Spänen befindlichen Dielektrikums und zweitens von der Natur der verwendeten Feilspäne ab. Wenn auch die erste dieser Annahmen einleuchtend ist, so erscheint es bei der zweiten immerhin fraglich, wie bei vollkommen blanken Metallspänen, die Natur des Materiales auf die Größe der Potentialdifferenz, welche der Kondensator ohne sich zu entladen zu ertragen vermag, einen Einfluß ausüben kann. Anders verhält es sich jedoch bei jenen Feilspänen, die mit einer dünnen Oxydschicht belegt sind, wie dies bei jedem guten Kohärrer der Fall ist. Hier spielt jedoch nicht das Materiale, sondern die Dicke dieser Oxydschicht, die ja, je nach dem verwendeten Metalle eine verschiedene sein wird, die entscheidende Rolle. Durch diese Annahme läßt sich auch die so verschiedene Empfindlichkeit der diversen Kohärrer, sowie die Überlegenheit der Mischung, wie solche Marconi anwendete, gegenüber den von Branly benützten Spänen einfach erklären. Je kleiner die Potentialdifferenz  $V$  ist, bei welcher die Entladung dieses Kondensators erfolgt, desto empfindlicher ist der Kohärrer. Diese Differenz hängt nun der Hauptsache nach von der Dicke des Oxydbelages der Feilspänchen und von der Dicke des zwischen zwei Spänen liegenden Dielektrikums ab. Die Größe des Wertes  $V$ , bei welchem die Entladung erfolgt, wird als die kritische

Spannung der Kohäsion bezeichnet, und läßt sich, wie Tissot gezeigt hat, dadurch, daß man den Kohärer in ein magnetisches Feld bringt, dessen Intensität nach Bedarf geändert werden kann, beliebig regulieren.

Da sich bei allen diesen Kohären leitende Brücken bilden, die durch eine Erschütterung zerstört werden müssen, findet die vorstehende Erklärung auf sich selbst regenerierende Kohärer keine Anwendung.

Um die Wirkung der sich selbst regenerierenden Kohärer zu erklären, nimmt Ferrié an, daß, wenn zwei leitende Teilchen (zwei Feilspäne oder Körner) einander sehr genähert werden, bevor selbe in Kontakt treten, eine gegenseitige Lage derselben eintritt, bei welcher das Dielektrikum nach außen zurückgestoßen wird, so daß es sich in zwei Teile  $d$ ,  $d$  teilt, zwischen welchen und den beiden Leitern  $A$ ,  $A$ , wie dies Fig. 110 zeigt, ein vollkommen leerer Raum  $a$  entsteht.

Fig. 110.



Die Wirkung ist nun folgende: Wird dieser durch die zwei Leiter  $A$ ,  $A$  gebildete unvollkommene Kontakt in einen Stromkreis, welcher eine schwache elektromotorische Kraft enthält, eingeschaltet, so entsteht zwischen den beiden Leitern eine stille Entladung, welche sich in dem leeren Raume  $a$  vollzieht. Es ist sohin eine Leitungsfähigkeit des Stromkreises zu beobachten. Vergrößert sich nun die elektromotorische Kraft zwischen den beiden Leitern  $A$ ,  $A$  progressiv zunehmend, so vergrößert die auf diese Weise verstärkte stille Entladung den leeren Kanal bei  $a$  und drückt hierdurch das Dielektrikum  $d$  solange zurück, bis es infolge seiner Elastizität und Adhärenz an das Materiale einem weiteren Drucke nicht mehr nachgibt.

Bei weiterer Steigerung der Potentialdifferenz zwischen  $A$ ,  $A$  findet unter Funkenbildung eine disruptive Entladung zwischen denselben statt, wobei sich selbe durch eine Brücke leitend verbinden. Diese Brücke wird jedoch durch die nunmehr zur Geltung gelangende, in  $d$ ,  $d$  aufgespeicherte Energie sofort dann zerstört und der ursprüngliche Zustand wieder hergestellt, sobald die Einwirkung der elektromotorischen Kraft verschwindet.

Dieser Vorgang des Ausgleiches zwischen den beiden Leitern durch stille Entladung, bevor sich ein Funke bildet, läßt sich mittels Hilfe eines Telephones, welches mit einem

sich selbst regenerierenden Kohärer und einem Elemente in Verbindung steht, dann genau beobachten, wenn man den Kohärer der Einwirkung elektrischer Wellen aussetzt.

## G. Die Elektrizitätserzeuger.

Als Elektrizitätsquellen für Wellentelegraphie können sowohl statische als dynamische Maschinen zur Verwertung gelangen.

An statischen Maschinen werden zumeist Influenzmaschinen, wie die Maschinen von Holtz, Wimhurst, Voß, Bonetti & Pidgeon verwertet. Da dieselben jedoch eine kontinuierliche Funkenströmung liefern sollen, was einen möglichst gleichförmigen und raschen Gang der Maschine voraussetzt, muß deren Antrieb durch irgend einen Motor, in der Regel einen Elektromotor, bewerkstelligt werden.

Die statischen Maschinen gelangen jedoch trotz ihrer an und für sich kräftigen Wirkung nur ausnahmsweise zur Anwendung, indem selbe einesteils wegen ihrer Größe, anderntheils wegen der wenig widerstandsfähigen Konstruktion, sowie wegen des Umstandes, daß selbe einer sehr sorgfältigen Isolierung bedürfen, sich für die in Rede stehenden Zwecke weniger eignen, als entsprechend gebaute Induktorien.

Von derartigen Induktorien kommen verschiedenartige Konstruktionen in praktischen Gebrauch, so die Induktorien von Apps, Davis, Thomson, Wydts & de Rochefort, Klingelfuß etc.

Ein Eingehen auf die Konstruktion dieser Apparate würde umso mehr zu weit führen, als selbe anderweitig im Detail beschrieben sind und die Wirkungsweise derselben doch stets auf den gleichen Grundsätzen beruht, wie die des allbekannten Rhumkorffschen Apparates. Um kräftige Wirkungen zu erzielen, müssen dieselben auf eine entsprechende Schlagweite, welche zwischen 20—30 cm schwankt, gebaut sein.

Die Speisung der Primärwicklung dieser Induktorien kann sowohl von galvanischen Batterien, Akkumulatoren als auch durch Gleich- oder Wechselstrom, wie solcher von elektrischen Zentralen geliefert wird, erfolgen. An Stromstärken gelangen hierbei 2—5 Ampere zur Anwendung. Dort, wo Ladestellen zur Verfügung stehen, empfehlen sich Akkumulatoren wegen ihrer stets gleichmäßigen Stromabgabe am besten.

Für exponierte Stationen gelangen großplattige Trockenelemente von geringem inneren Widerstande mit Vorliebe zur Anwendung. Eine Polarisation derselben ist wegen des intermittierenden Betriebes nicht zu befürchten.

Einen der wichtigsten Bestandteile sonst gut konstruierter Induktorien bilden die Unterbrecher, da die Unterbrechungen um einen fortwährenden Funkenübergang zu erhalten in regelmäßigen, äußerst kurzen Zwischenräumen (annähernd 1000 Unterbrechungen in der Minute) erfolgen sollen. Die einfachen Kontaktunterbrecher nach Art des Neef'schen Hammers gewähren in der Regel nicht die erwünschte Sicherheit, da die Kontakte leicht verschmutzen und auch gerne abbrennen.

Man verwendet daher mit Vorliebe rotierende oder elektrochemische Unterbrecher, als deren typische Repräsentanten der Unterbrecher von Ducretet und Lejeune und der Unterbrecher von Wehnelt angesehen werden können.

Auch hier verbietet der Raummangel auf die Details der vielen bekannten Konstruktionen einzugehen, und muß daher diesbezüglich auf Spezialwerke verwiesen werden.

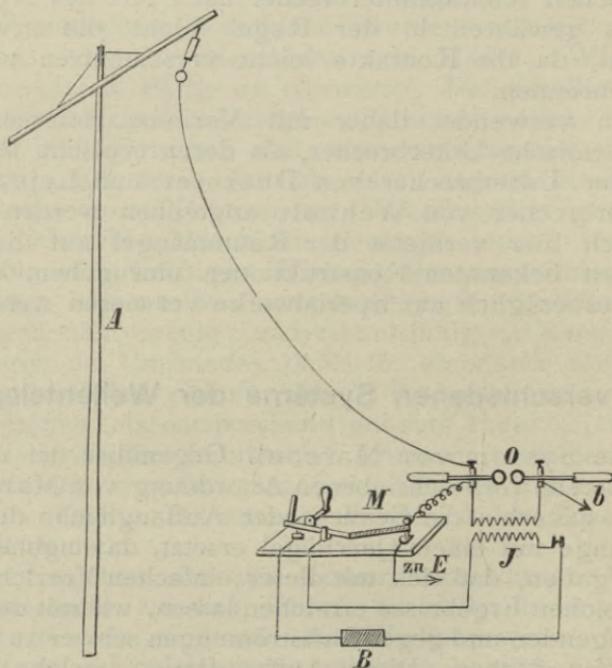
## H. Die verschiedenen Systeme der Wellentelegraphie.

Das System von Marconi. Gegenüber der ursprünglichen, bereits vorbeschriebenen Anordnung von Marconi hat derselbe späterhin die Sende- oder Auffangfläche durch eine hohe Stange mit einem Querbügel ersetzt, da eingehende Versuche ergaben, daß sich mit dieser einfachen Vorrichtung die ganz gleichen Ergebnisse erreichen lassen, wie mit den schwer anzubringenden und gegen Luftströmungen schwer zu schützenden Auffangflächen. Diese Auffangstange, welche mit dem Namen »Antenne« belegt wurde, findet nur mit mehr oder minder großen Abänderungen fast allgemeine Anwendung. Da sich dieser Name auch in der deutschen Sprache bereits eingebürgert hat, soll derselbe auch wegen des präziseren Ausdruckes in den nachfolgenden Erläuterungen Anwendung finden.

Die Sendeeinrichtung. Bei den bereits beschriebenen Anordnungen von Marconi wurde angenommen, die Stationen seien so eingerichtet, daß die eine Station nur Depeschen entsendet, die andere Station hingegen nur die Nachrichten empfängt. Tatsächlich ist jedoch jede Station, bei

Anwendung von nur einer Antenne, sowohl für die Abgabe als auch Empfangnahme eingerichtet und wird die erforderliche Umschaltung selbsttätig durch den etwas abgeänderten Morsetaster bewirkt. Zu diesem Zwecke ist der Hebel dieses Tasters durch eine Ebonitstange verlängert, welche an ihrem Ende mit einer Kontaktschraube *c* ausgerüstet ist (Fig. 112 und 114), die durch einen flexiblen Draht mit dem Oszillator und

Fig. 111.



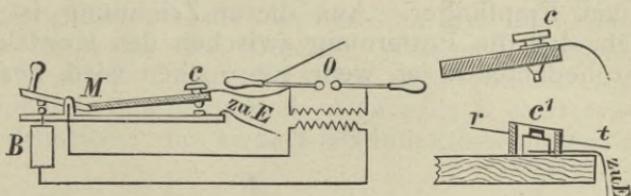
durch diesen mit der Antenne, wie aus Fig. 111 zu ersehen ist, verbunden wird. Beim Niederdrücken dieses Tasters wird die Verbindung mit dem im Postamte befindlichen, zu den Empfangsapparaten *E* führenden Kontakte unterbrochen, sohin die Aufnahme einer Depesche unmöglich gemacht. Kehrt der Taster in die Ruhelage zurück, so wird diese Verbindung wieder hergestellt.

In der die allgemeine Anordnung einer solchen Einrichtung schematisch darstellenden Fig. 111 bezeichnet *A* die Antenne, *O* den Oszillator, *J* das Induktorium, *B* die das

Induktorium erregende Batterie und  $M$  den Manipulator oder Taster.

Der zu den Empfangsapparaten führende isolierte Draht wird zum Schutze gegen Induktionseinflüsse mit Zinnfolie

Fig. 112.

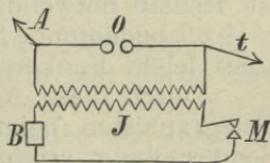


umwickelt, indem hierdurch die Faradaysche Käfigwirkung sowohl die Entstehung von Induktionsströmen, als auch die Aufnahme von beim Nachrichtsenden entstehender Wellen verhindert ist.

Da beim Senden der Kontakt zwischen  $c$   $c'$  unterbrochen wird, könnten hierbei Funken entstehen, die wieder elektrische Wellen zu erzeugen vermöchten. Um die Entstehung derartiger Funken hintanzuhalten, ist der Kontakt  $c'$  von einem Metallringe  $r$  umgeben, welcher mit der Erde in Verbindung steht.

Die schematische Einschaltung des Senders zeigt Fig. 113. Zur allgemeinen Anordnung ist ergänzend hinzuzufügen, daß der obere Teil der Antenne in eine aus fünf bis sechs Windungen bestehende Drahtspirale aus blankem Drahte endigt. Diese Kapazität ist an der Spitze des Mastes, welcher die Antenne stützt, durch zwei Ebonitzylinder von  $0,5\text{ m}$  Länge unter Anwendung von paraffinierten Schnüren isoliert befestigt. Hierdurch wird der Abstand der Antenne vom Erdboden nur zirka  $1\text{ m}$  vergrößert. Der die Antenne tragende Mast ist längs eines anderen Mastes in der Höhenrichtung verschiebbar, so daß man die Höhe der Antenne bis zu einem bestimmten Maximum nach Bedarf regulieren kann.

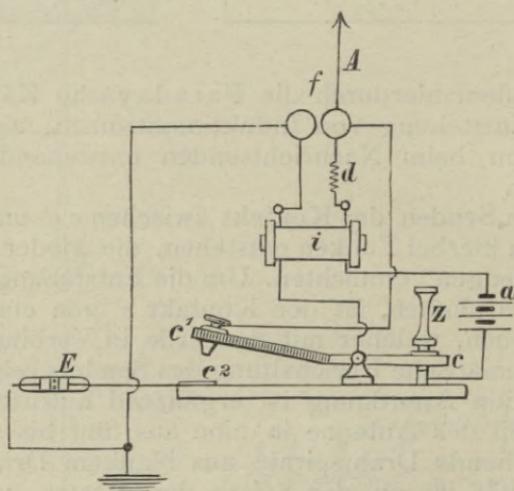
Fig. 113.



Es erweist sich für die Übertragung von großem Vorteile, wenn die Antenne möglichst hoch über benachbarten Leitern zu liegen kommt. Die Verbindung der Antenne mit dem Oszillator erfolgt durch ein gut isoliertes, leichtes und flexibles Kabel.

Die Empfangseinrichtung. Die schematische Anordnung der Verbindung des Sende- mit dem Empfangsapparate zeigt (Fig. 114). Hier sind jedoch die für den Empfang der Nachrichten erforderlichen Hilfsapparate weggelassen. Es bedeuten  $A$  die Antenne,  $f$  die Funkenstrecke,  $i$  das Induktorium,  $Z$  den Zeichengeber,  $a$  die Sendebatterie und  $E$  den Empfänger. Aus dieser Zeichnung ist deutlich ersichtlich, daß die Entfernung zwischen den Kontakten  $c^1 c^2$  eine sehr bedeutende ist, wenn gesprochen wird, beziehungs-

Fig. 114.



weise der Arbeitskontakt geschlossen ist. Diese Entfernung ist deshalb notwendig, weil zwischen den beiden Kontakten  $c^1 c^2$  oft bedeutende Spannungsdifferenzen auftreten und daher sonst leicht Funken überspringen können.

Durch diese Anordnung wird aber auch ein Schutz des Telegraphisten beim Umschalten von der Empfangs- in die Sendestellung erreicht, indem er mit den von der Antenne zu dem Empfänger führenden Drähten in keine Berührung kommen kann. Wäre dies möglich, so wäre auch die Gefahr nicht ausgeschlossen, daß er durch in der Antenne aufgespeicherte elektrostatische Ladungen verletzt würde.

Die Detailschaltung der Empfangsstation zeigt Fig. 115. Die von der Antenne bei  $a$  einlangenden elektrischen Wellen gehen über den Kohärer  $C$  zur Erde und machen denselben

leitend. Hierdurch gelangt die Batterie  $B$  zur Wirksamkeit und der Anker des polarisierten Relais wird angezogen, wodurch sich der Kontakt bei  $c$  und hiermit auch der Stromkreis der Batterie  $B'$ , und zwar nach zwei Richtungen, nämlich über den Morseapparat  $M$  und über den Klopfer  $K$  schließt. Beide gelangen gleichzeitig zum Ansprechen und schlägt, während der Empfangsapparat die Zeichen festlegt, der Klöppel des Klopfers leicht an den Kohärer, welcher hierdurch wieder nichtleitend wird. Damit die bei  $a$  einlangenden elektrischen Wellen nicht in den Stromkreis des Relais  $R$  eintreten können, sind in denselben die zwei Selbstinduktionsspulen  $w w$ , aus

Fig. 115.

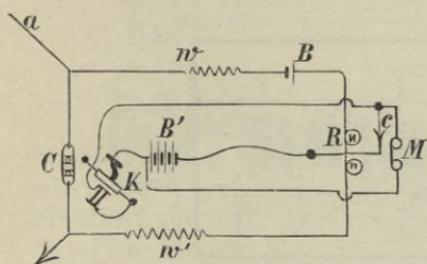
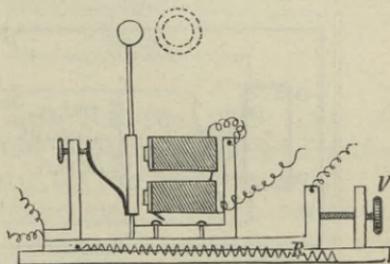


Fig. 116.



feinem Eisendraht von je ungefähr 12m Länge hergestellt, eingeschaltet.

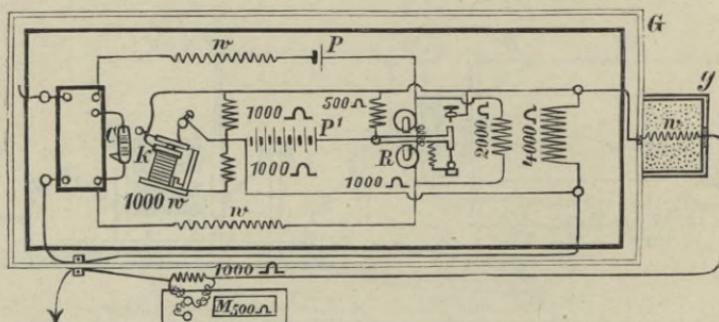
Der Klopfer (Fig. 116) ist seiner allgemeinen Bedeutung nach ein gewöhnlicher Selbstunterbrecher, jedoch ohne Abreißfeder, da derselbe stets schief gestellt ist und sich der Anker durch sein eigenes Gewicht von den Magnetkernen, wenn selber unmagnetisch ist, abhebt.

Die Einstellung dieses Klopfers wird durch die Schraube  $V$  und die Spirale  $R$  bewerkstelligt, indem sich hier durch eine Schlittenführung der gesamte Klopfer dem Kohärer mehr oder weniger nähern läßt. Tatsächlich gestaltet sich die Einschaltung des Empfängers, wie dies aus Fig. 117 hervorgeht, nicht so einfach, indem hier eine Reihe von Nebenschlüssen zur Verwendung gelangen, die zur Vermeidung der Selbstinduktion bifilar auf große Kerne gewickelt sind. Die Widerstände dieser Nebenschlüsse sind für jede derselben in der Zeichnung eingeschrieben.

Durch diese, dem Klopfer  $K$  und dem Morseapparate  $M$  zugeschalteten Nebenschlüsse wird erreicht, daß sowohl der

Klopfer, als der Empfangsapparat normal von einem konstanten Strome durchflossen ist, welcher sich bei Einstellen des Empfangsrelais auf den Arbeitskontakt durch Ausschalten eines Widerstandes entsprechend verstärkt und beide Apparate zum Ansprechen bringt. Durch passende Wahl der Nebenschlußwiderstände ist es nun ermöglicht, dem Klopfer eine größere Empfindlichkeit zu geben, welche aus dem Grunde notwendig ist, weil der Empfangsapparat durch einen Strich eine lange Serie von Wellen anzuzeigen hat. Durch das unmittelbare Folgen des Klopfers auf jede Anregung dekohärent er den Kohärer sofort und gibt hierdurch zu einer Reihe von

Fig. 117.

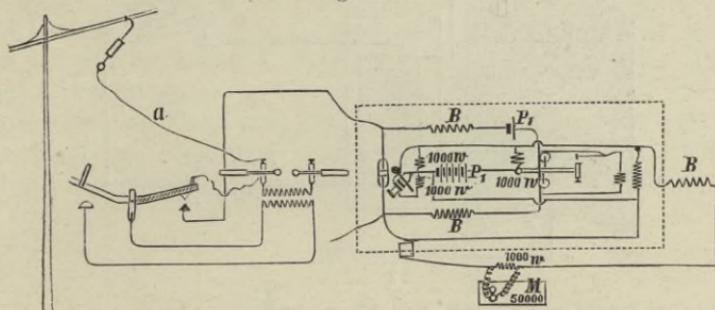


Schlüssen und Unterbrechungen Anlaß, welchen der langsamer arbeitende Morseapparat nicht zu folgen vermag, so daß er statt einer Reihe von Punkten tatsächlich einen Strich markiert. Durch das infolge der großen Hubbewegung des Zeichengebers bedingte längere Intervall zwischen zwei Zeichen kehrt der Empfangsapparat in seine Ruhelage zurück, um bei Entsendung einer neuen Wellenserie sofort wieder anzusprechen.

Die sämtlichen Empfangsapparate mit Ausnahme des Morseschreibers sind in einem, mit der Erde verbundenen metallischen Gehäuse *G* untergebracht, so daß alle Teile gegen die Einwirkung von nicht von der Antenne einlangende elektrische Wellen geschützt sind. Um in dem Morseapparate entstehende Induktionsströme von dem Eindringen in das Innere des Gehäuses abzuhalten, wird die Selbstinduktionsspule *w* in einem kleinen Metallgefäße, dessen Inneres mit Metallspänen ausgefüllt ist, vorgeschaltet.

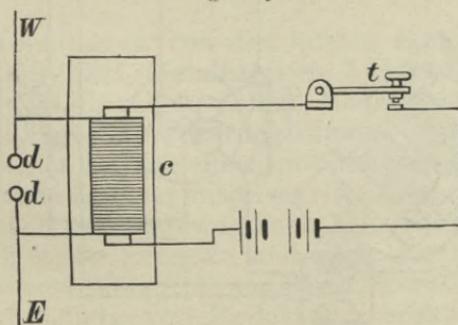
Die Gesamtkombination zwischen Empfänger, Sender und Antenne ist aus Fig. 118 zu entnehmen und bedarf nach dem Vorhergehenden keiner Erläuterung.

Fig. 118.



Für große Entfernungen und für den Fall, daß die Signale nicht in einer bestimmten Richtung erfolgen sollen, wird die Vorrichtung in Fig. 119 als Geber verwendet. In diesem Falle werden die Sekundärklemmen des Induktors  $C$  mit zwei kleinen Kugeln  $d$  verbunden, von welchen die eine an die Erde gelegt ist und die andere zu dem vertikalen Luftleiter  $W$  führt. Diese beiden kleinen Kugeln sind in

Fig. 119.

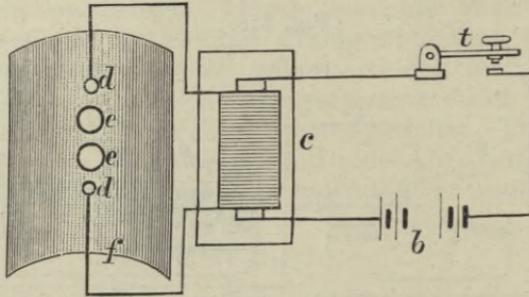


möglichst weitem Abstände eingestellt, so daß die Funkenstrecke eine ziemliche Länge besitzt.

Soll jedoch den elektrischen Oszillationen eine bestimmte Richtung gegeben werden, so bedient sich Marconi des Erregers von Righi, welcher in der Brennlinie eines halb-

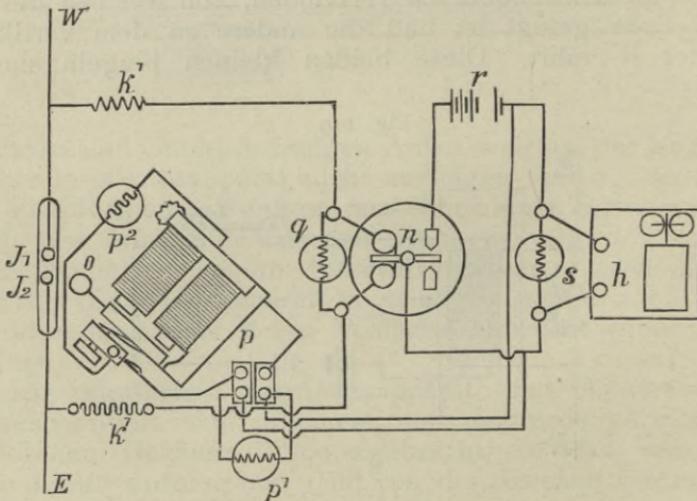
zylindrischen Parabolspiegels  $f$  (Fig. 120) eingestellt ist. In diesem Falle wird von einer Verbindung der äußeren Kugeln

Fig. 120.



mit einem Luftleiter und der Erde Abgang genommen. Das Hervorrufen der elektrischen Wellen und damit der Zeichen im Empfänger wird durch Niederdrücken und Hochheben des Telegraphentasters  $t$  bewirkt, welcher hierbei den Stromkreis

Fig. 121.

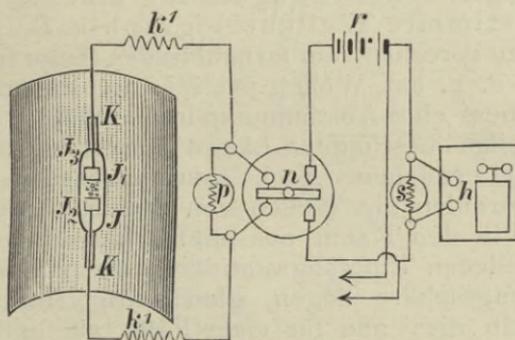


der Batterie  $b$ , in welchen die Primärstelle des Induktoriums geschaltet ist, schließt oder unterbricht. Zur Erzielung der erforderlichen häufigen Stromunterbrechung gelangt ein auto-

matischer, hier nicht dargestellter Strombrecher zur Anwendung. In neuerer Zeit hat man auch den Wehneltschen Stromunterbrecher in der abgeänderten Form von Caldwell zu diesem Zwecke, jedoch, wie es scheint, nicht mit dem erwarteten Erfolge verwendet.

Die Anordnung der Empfangsapparate für diese beiden Fälle ist aus den Fig. 121 und 122 zu ersehen. Im ersteren Falle ist der Kohärer  $J_1 J_2$  mit der Auffangstange  $w$  und der Erde  $E$  verbunden.  $p$  bezeichnet hier den Dekohärer oder Klopfer,  $n$  das Empfangsrelais,  $h$  den Aufnahmeapparat und  $r$  die Batterie. Werden Reflektoren benützt, so entfällt die Verbindung mit der Auffangstange und der Erde, hingegen

Fig. 122.



werden die Ableitungen von den beiden Elektroden des Kohärers  $J_1 J_2$  mit zwei Metallstreifen  $k k$  verbunden. Durch diese beiden Metallstreifen sollen Sender und Empfänger gegenseitig so abgestimmt werden können, daß ein bestimmter Empfänger nur auf die von einem mit demselben abgestimmten Sender gegebenen Zeichen anspricht. Die Länge dieser Streifen richtet sich nach der angewendeten Elektrizitätsquelle, nach der Wirksamkeit des Erregers und nach der Entfernung und muß durch genaue Versuche empirisch ermittelt werden.

Bei Verwendung von Reflektoren ergab sich, daß der Empfänger bei einer Entfernung von 28 km nur um zirka 15 m nach rechts oder links verschoben werden durfte, um noch aufnahmefähig zu bleiben, woraus auf die Wirksamkeit der Reflektoren ein Schluß gezogen werden kann. Es scheint hier das enge Zusammenhalten der reflektierten elektrischen Wellen mehr Einfluß darauf auszuüben, daß Signale von einem bestimmten

Punkte aus nur an einen bestimmten Empfänger übertragen werden können, als die hierbei durchgeführte, sehr prekäre Abstimmung zwischen Sender und Empfänger.

Bei der gesamten Empfangsanordnung sind sämtliche elektromagnetischen Vorrichtungen durch in Nebenschluß geschaltete induktionslose Widerstände gegen Funkenbildung und Rückschläge geschützt. Zwischen Kohärer und Relais sind kleine Drosselspulen  $k^1 k^1$  eingeschaltet, die den von den Wellen ausgehenden Strom zwingen, in den Kohärer zu fließen. Von den in der ersten Anordnung vorgesehenen, an den erhöhten Stangen befestigten Metallplatten oder Kapazitätsflächen wird bei dieser Einrichtung, welche einen Versuch zur Durchführung einer abgestimmten Wellentelegraphie darstellt, Umgang genommen.

Marconis Anordnungen für eine syntonisierte oder abgestimmte Wellentelegraphie. Da der Kohärer, um bildlich zu sprechen, ein farbenblindes Auge für elektrische Wellen ist, d. h. auf Wellen jeder Länge anspricht, so läßt sich mit selbem eine Abstimmung in der Weise, daß derselbe nur auf Wellen bestimmter Länge anspricht, auf direktem Wege nicht erreichen. Nach den vorbeschriebenen Einrichtungen strahlen die Wellen von dem Radiator nach allen Richtungen in den Raum aus und bringen die Empfänger der verschiedenen Empfangsstationen, die in dem Bereiche ihrer Wirkungssphäre liegen, gleichzeitig zum Ansprechen. So vorteilhaft dies nun für viele Fälle, namentlich aber für den Verkehr zwischen einer Landstation und den Schiffen oder Schiffen unter sich ist, wird anderseitig wieder verlangt, daß die von einer Station für eine genau bezeichnete Station bestimmten Nachrichten nicht auch von einer dritten unbeteiligten Station mit aufgenommen werden können. Das Anwendungsgebiet der Wellentelegraphie ist daher insolange ein beschränktes, als diese Abstimmung sich nicht innerhalb bestimmter Grenzen ermöglichen läßt. Es waren demnach die Bestrebungen der sich mit dieser Art von Telegraphie beschäftigenden Elektriker eifrig dahin gerichtet, eine Lösung dieser, für die Weiterentwicklung derselben so hochwichtigen Frage der gegenseitigen Abstimmung zu finden.

Der Kohärer und auch der Antikohärer, wie bei Schäfer, Neugschwendtner etc., sind nun, wie dies bereits hervorgehoben wurde, der Abstimmung nicht zugänglich. Es erübrigt demnach nichts anderes, als die Kraft der Wellen so weit abzuschwächen, daß einzelne Impulse derselben den Kohärer

nicht mehr zum Ansprechen bringen können, und es erst einer Reihe von Impulsen bedarf, um in dem entsprechend abgestimmten Empfangsstromkreis durch Resonanzwirkung jene Kraft hervorzurufen, welche erforderlich ist, um den Kohärer in Wirksamkeit zu versetzen. Resonanzwirkungen können aber nur dann hervorgerufen werden, wenn die einlangenden Wellen den Eigenschwingungen des Empfangsstromkreises entsprechen. Die Eigenschwingung wird nun, wie dies bereits eingehend erläutert wurde, durch das Verhältnis zwischen Induktanz und Kapazität bestimmt, und hat man es in der Hand, beide genau so festzustellen, wie es für jeden vorgesehenen Fall erfordert wird.

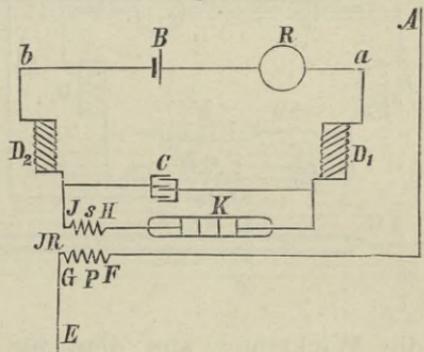
Es läßt sich daher eine Abstimmung zwischen Sender und Empfänger auf diesem Wege erreichen.

Die ersten Versuche Marconis auf diesem Wege führten nun dahin, die von der Antenne aufgefangenen elektrischen Wellen nicht direkt auf den Kohärer einwirken zu lassen, sondern selbe durch Transformation auf einen Empfangsstromkreis zu übertragen und in demselben sympathische Schwingungen zu erregen, welche erst den Kohärer selbst betätigen.

Die für diesen Zweck getroffene Anordnung ist aus Fig. 123 ersichtlich.

Das Empfangsinstrument oder der Kohärer  $K$  ist hiernach von der vertikalen Leitung und der Erde vollständig isoliert. Es bezeichnet hier  $A$  die vertikale Leitung,  $E$  die Erde und  $GpF$  die primäre Wickelung des Translators. Der Kohärer  $K$  steht einerseits mit der Sekundärspule  $J s H$  des Translators, andererseits mit der zu dem Empfangsapparate  $R$  führenden Leitung in Verbindung. Das zweite Ende der Sekundärspule führt zur Batterie  $B$  und von da ab gleichfalls zum Empfangsapparate  $R$ , so daß der Stromkreis der Batterie  $B$  über den unvollkommenen Kontakt des Kohäriers geschlossen ist.  $D_1 D_2$  sind Dämpfungsspulen, die verhindern sollen, daß die in der Sekundärspule des Translators entstehenden Schwingungen bei  $a$  und  $b$  in den Stromkreis übertreten und so die Wirkung

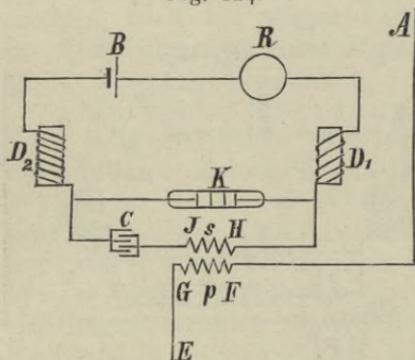
Fig. 123.



der Oszillationen auf den Empfänger  $K$  beeinträchtigen. Zwischen den beiden, nach  $a$  und  $b$  führenden Leitungen, jedoch noch vor den beiden Dämpfungsspulen  $D_1, D_2$  ist ein Kondensator  $C$  eingeschaltet, dem die Aufgabe zufällt, die  $E.M.K.$  der Schwingungen zu vergrößern.

Fig. 124 stellt eine ähnliche Anordnung dar, welche sich von der vorhergehenden nur dadurch unterscheidet, daß hier der Kohärer im Nebenschluß und der Kondensator in den Hauptstromkreis eingeschaltet ist. Diese so geänderte

Fig. 124.



Anordnung soll nicht ganz so gute Ergebnisse wie die in Fig. 123 liefern.

Durch Anwendung dieser Anordnungen soll die Strecke, über die unter sonst gleichen Verhältnissen noch Signale übermittelt werden können, sich bedeutend verlängern.

Eine wichtige Rolle spielt bei dieser sekundären Übertragung jedoch die Konstruktion des Transformators, und soll sich, wenn die Wickelung aus dem für gewöhnliche Induktionsrollen verwendeten Drahte hergestellt wird, die Wirksamkeit des Apparates, statt zu erhöhen, herabmindern. Der Transformator ist nur dann brauchbar, wenn er um einen Kern von passendem Durchmesser gewickelt und die Zahl der Windungen jeder Lage vorher genau bestimmt wird. Marconi hat im Verein mit Kapitän Kennedy eine große Anzahl solcher Rollen untersucht, ohne gute Resultate zu erzielen. Ähnliche Erfahrungen wurden auch seitens der Post Office bei ihren Versuchen mit drahtloser Telegraphie gemacht.

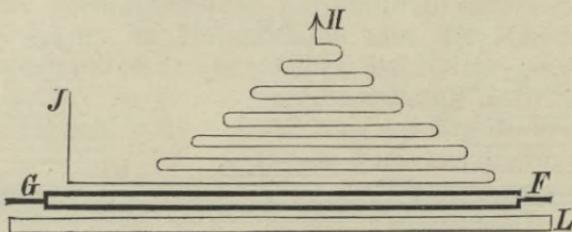
Da jedoch der Hauptsache nach die Art und Weise der Wickelung der Sekundärspule von Einfluß ist, wurden eine Reihe solcher Wickelungen, wie solche mehr oder minder günstige Ergebnisse geliefert haben, unter Patent gestellt.

Eine Serie von Abbildungen (Fig. 125—129) führt die Bauart verschiedener derartiger Transformatoren schematisch vor. In diesen Figuren ist die primäre Wickelung durch starke, die sekundäre Wickelung durch schwache Linien unterschieden, wiewohl in der Regel die beiden Drähte den gleichen Durch-



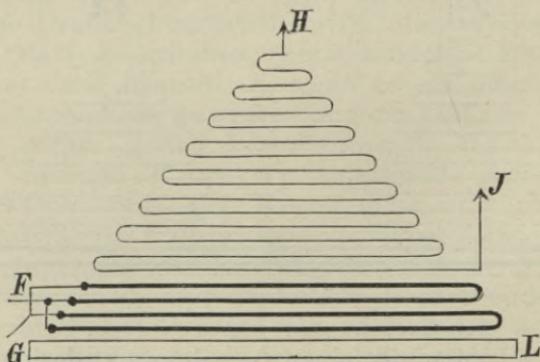
in Fig. 123 und 124 und stellen jene Enden der Primär- und Sekundärspule dar, welche mit den Apparaten zur Verbindung gelangen. Von diesen Transformatoren hat sich der in Fig. 125 dargestellte Transformator bei den durchgeführten verglei-

Fig. 128.



chenden Versuchen am besten bewährt, und seien deshalb auch die weiteren Dimensionen desselben hier vorgeführt. Die beiden Wickelungen sind aus gleich starkem Drahte von 0,01 Durchmesser hergestellt und besteht die primäre Wickelung aus zwei parallel geschalteten Lagen von je 160 Windungen. Die aus drei Teilen hergestellte sekundäre Wickelung ist in jedem ihrer Teile in zehn, beziehungsweise zwölf Lagen auf-

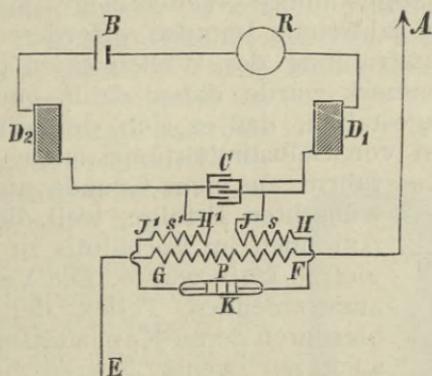
Fig. 129.



gewickelt, von welchen der erste und dritte Teil gleich sind und die einzelnen Lagen derselben abgestuft 45, 40, 35, 30, 25, 20, 15, 12 und 5 Windungen, die Lagen des mittleren Teiles hingegen in den einzelnen Lagen 150, 40, 39, 37, 35, 33, 29, 25, 21, 15, 10 und 5 Windungen enthalten.

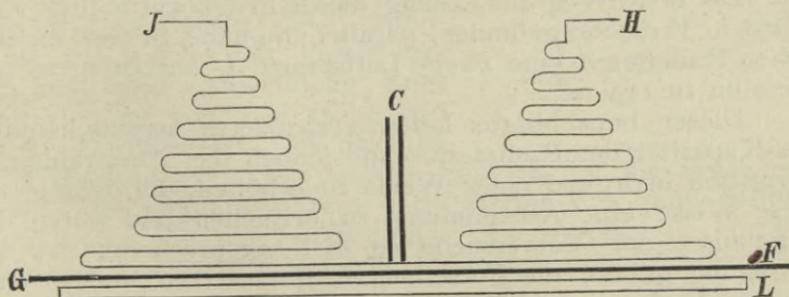
Eine theoretische Begründung für diese Art der Anordnung der Windungen der Primär- und Sekundärspulen der Transformatoren konnte bisher nicht gegeben werden.

Fig. 130.



In den beiden nachfolgenden Fig. 130 und 131 sind insofern einige Abänderungen der Anordnung zu verzeichnen, als die Sekundärspule in zwei Teile geteilt ist, deren Enden einesteils mit dem Kondensator  $C$ , anderenteils mit dem Kohörer  $K$  in Verbindung stehen.

Fig. 131.



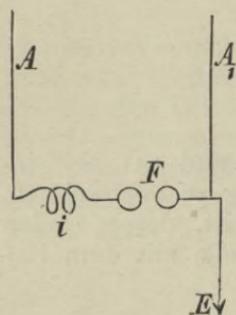
Die Antenne in Form einer gestreckten Stange ist nun ein sehr guter Radiator, und strahlt daher die Energie rasch als elektrische Wellen aus, wodurch er sich, wie dies schon begründet wurde, sehr rasch dämpft, und sich daher in demselben nur wenige Oszillationen vollziehen können.

Diese Eigenschaft der Antenne ist, ins solange als nicht eine Abstimmung beabsichtigt wird, als Vorteil zu bezeichnen, indem durch die Energie der Ausstrahlung die Wellenimpulse zwar kurz dauern, aber sehr kräftig wirken und daher einen weiten Wirkungsbereich ermöglichen.

Für die abgestimmte Wellentelegraphie, bei welcher schwache, aber zahlreiche Impulse erfordert werden, bildet diese rasche Ausstrahlung der Wellen einen großen Nachteil.

Das Augenmerk wurde daher dahin gerichtet, den Radiator so auszugestalten, daß er sich weniger rasch dämpft. Das Hinzufügen von Selbstinduktionsspulen zur Sende- und Empfangsantenne führte aus dem Grunde nicht zu dem gewünschten Erfolge, weil die Kapazität der Antennen im Verhältnis zu ihrer Induktanz viel zu klein wurde. Die Vergrößerung des ausstrahlenden Teiles der Antenne und hierdurch deren Kapazitätserhöhung konnte auch nur wenig Nutzen bringen, da mit der vergrößerten Oberfläche auch eine Vergrößerung der Ausstrahlungsfläche verbunden war.

Fig. 132.



Aber auch mechanische Erwägungen sprechen dagegen, da große Flächen nur schwer aufzuhängen und namentlich bei windigem Wetter in gutem Zustande zu erhalten sind.

Der erste Weg zur Lösung dieser Frage wurde (Fig. 132) mit dem Versuche gefunden, parallel und nahe zu dem eigentlichen Radiator  $A$  eine zweite Luftstange  $A_1$  anzubringen und dieselbe zu erden.

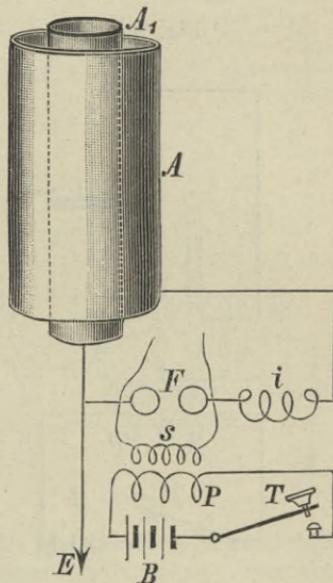
Dieser benachbarte Leiter vergrößerte augenscheinlich die Kapazität des Radiators, ohne jedoch das Ausstrahlungsvermögen in irgend einer Weise zu erhöhen. Es gelang auf diese Weise eine Abstimmung zu erreichen und waren die Ergebnisse der Vorversuche so viel versprechend, daß sie Anregung gaben, die Forschungen fortzusetzen und so eine weitere Verbesserung dieses Systems anzustreben.

Sehr gute Resultate wurden im Jahre 1900 mit der Anordnung (Fig. 133) erzielt. Hier erhielten sowohl der ausstrahlende als der die Resonanz bedingende Leiter eine cylindrische Form, wobei der mit der Erde in Verbindung stehende Leiter innerhalb des ausstrahlenden Leiters, jedoch von demselben metallisch vollkommen getrennt, angebracht wurde.

Diese Art der Anordnung der Leiter erwies sich viel wirksamer als die vorhergehende beschriebene Anordnung von zwei vertikalen Leitern; doch ist es hierbei Bedingung, daß die Induktanz der beiden Cylinder ungleich groß sei. Nach der Ansicht von Marconi ist es, um die notwendige Energie ausstrahlen lassen zu können, unerläßlich, daß eine Phasendifferenz zwischen Oszillationen der beiden Leiter vorherrscht, da sonst deren Wirkung sich gegenseitig neutralisieren würde. Auch empfiehlt es sich, die in den Übertragungsstromkreis eingeschaltete Induktanz  $i$  an den eigentlich ausstrahlenden Leiter  $A$  anzulegen.

Es gelang ihm hierbei, die elektrische Oszillationsperiode des Empfangszylinders derjenigen des Senders vollkommen gleich zu gestalten und auf diese Weise eine derartige Abstimmung zu erreichen, daß die zwischen diesen zwei Stationen gewechselten Nachrichten weder von anderen Stationen mitgelesen werden konnten, noch daß die von diesen Stationen entsendeten Zeichen die erwähnten beiden Stationen in irgend welcher Weise störend beeinflussen. Die Entfernung, auf welche mit dieser Einrichtung unter Anwendung eines Zinkzylinders von 7 m Höhe und 1,5 m Durchmesser Nachrichten ohne Anstand vermittelt werden konnten, betrug annähernd 50 km. Die Empfangsstation hatte hierbei die ganz gleiche Einrichtung wie die Sendestation und wurden die zu den Empfangsapparaten führenden Drähte unmittelbar neben den Funkenkugeln abgezweigt.

Fig. 133.



Die Ursache, welche zu diesem Erfolge führte, ist in der großen Kapazität des ganzen Systems zu suchen, indem die durch den Funken ausgelöste Energie nicht in zwei Oszillationen ausgestrahlt werden kann, sondern eine Serie von sich langsam dämpfenden Schwingungen, also das, was erreicht werden wollte, entsteht.

Da die beiden Zylinder als nichts anderes als ein Kondensator betrachtet werden können, führten die weiteren Untersuchungen naturgemäß dahin, in den Ausstrahlungsstromkreis Kapazitäten in Form von Kondensatoren oder Leydener Flaschen einzuschalten. Ein geschlossener Stromkreis, wie ihn bereits Lodge (Fig. 134) anordnete, ist ein so schwacher Radiator, daß er sich für Fernwirkungen gar nicht eignet. Es ist nun sehr leicht, die einem derartigen Stromkreise inne wohnende Energie zur Ausstrahlung zu bringen, indem man

Fig. 134.

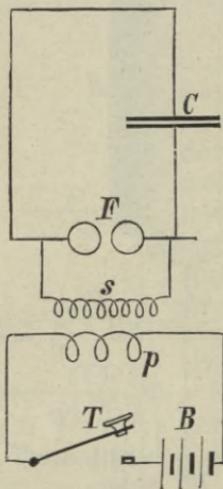
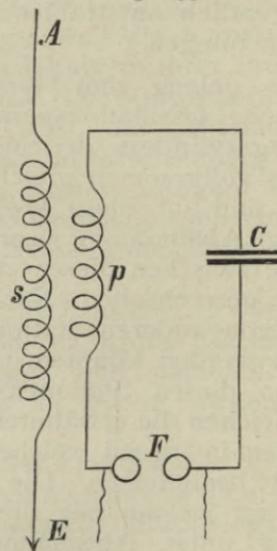


Fig. 135.



nur in unmittelbarer Nähe desselben einen guten Radiator, also eine Antenne, anbringt. Wendet man hierfür eine Einrichtung an (Fig. 135), bei welcher eine Transformation stattfindet (Tesla-Transformator), so ergeben sich bedeutend kräftigere Wirkungen. Allein auf diese Weise ist, da die Abmessungen im vorherein festgelegt sind, eine Abstimmung nur für im vorherein ganz klar gelegte Fälle möglich und eine nachträgliche Regulierung mit den größten Schwierigkeiten verbunden. Um diesem Übelstande abzuhelpfen, hat Marconi die in Fig. 136 für die Sende und in Fig. 137 für die Empfangsstation dargestellte Schaltung entworfen. Wie aus derselben ersichtlich, lassen sich aus der Induktanz  $J$  der An-

tenne Windungen nach Bedarf ab- und zuschalten. Ebenso kann die Kapazität des Übertragungsstromkreises, je nachdem man die Kondensatorplatten einander nähert oder dieselben von einander entfernt, entsprechend reguliert werden.

Diese beiden Schaltungen können selbstredend entsprechend kombiniert werden, so daß jede Station sowohl zu geben als auch zu empfangen in der Lage ist.

Eine ähnliche Anordnung für den Empfänger, jedoch mit zwei Auffangstangen, ist aus Fig. 138 ohne weiteres verständlich.

Fig. 136.

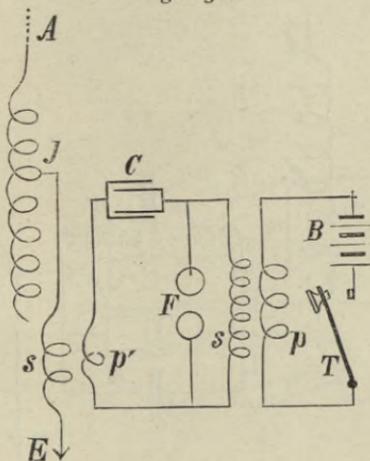
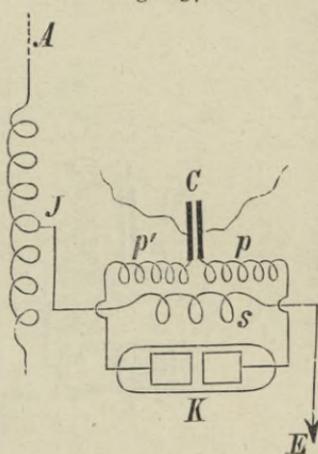


Fig. 137.



Die in Fig. 139 zur Ansicht gebrachte Schaltungsanordnung unterscheidet sich von jener in Fig. 137 nur dadurch, daß im Nebenschlusse zum Kohärer gleichfalls ein Kondensator  $C$  zugeschaltet ist.

Um bei diesen Anordnungen die günstigsten Ergebnisse zu erzielen, ist es notwendig, daß die freie Oszillationsperiode in der mit der Erde verbundenen Auffangstange sich in elektrischer Resonanz mit dem zweiten Stromkreis, in welchen der Kondensator eingeschaltet ist, befindet.

Damit nun die Übertragung anstandslos vor sich geht, ist es Bedingung, daß alle vier Stromkreise, d. s. die zwei des Senders und die zwei des Empfängers, gegenseitig genau abgestimmt werden, was soviel besagen will, daß das Produkt aus Kapazität und Induktanz in allen vier Stromkreisen das Gleiche sein muß.

Wiewohl sich nun die Kapazität eines derartigen Stromkreises nach den bekannten Methoden leicht bestimmen läßt, so ergeben sich doch bei Bestimmung der Induktanz eine Reihe von Schwierigkeiten, weil die Einwirkungen der Nachbarstromkreise nicht vernachlässigt werden dürfen. Außerdem haben sich die bekannten Methoden zur Bestimmung der Induktanz von Spulen, die nur aus zwei bis drei kleinen Windungen bestehen, als unzureichend erwiesen.

Fig. 138.

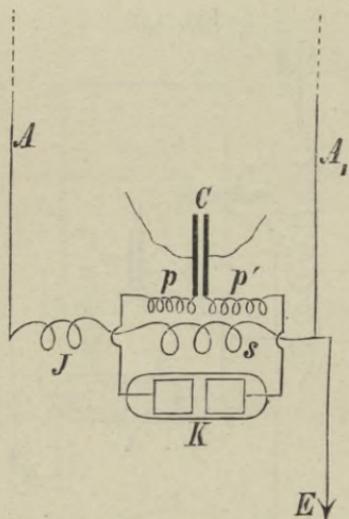
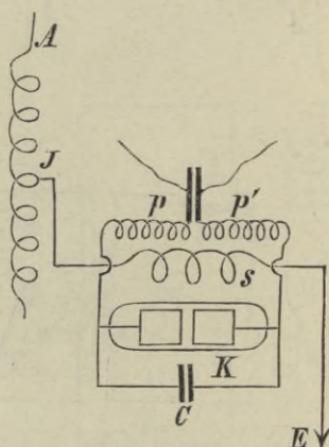


Fig. 139.

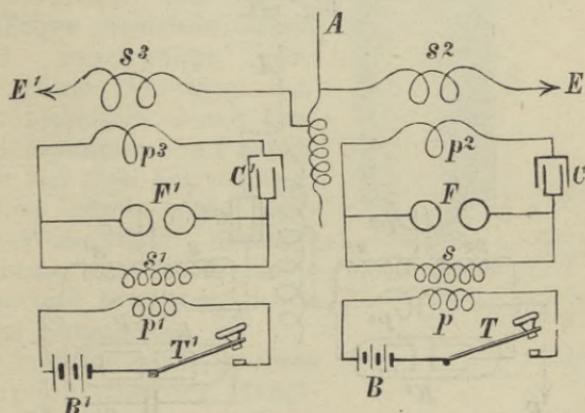


Marconi kam auf dem reinen Versuchswege zu dem Ergebnisse, daß die nur aus einer Windungslage bestehende Sekundärspule des Empfängers etwa  $2\text{ mm}$  von der Primärspule entfernt gelegt, annähernd die gleiche Zeitperiode hat wie ein vertikaler Leiter gleicher Länge. Es wird sohin, wenn die Sekundärspule des Empfängers eine Länge von  $40\text{ m}$  hat, sowohl in der Sende- als Empfangsstation eine  $40\text{ m}$  lange vertikale Leitung angewendet werden müssen, und bedarf es zur genauen Abstimmung sodann nichts weiteres, als die Kapazitäten entsprechend zu adjustieren, was entweder durch Hinzufügen oder Hinwegnehmen von Leydenerflaschen oder, wenn man Kondensatoren mit beweglichen Platten hat, durch entsprechende Verschiebung derselben erfolgt.

Verwendet man im Geber anfänglich eine kleine Kapazität, die allmählich vergrößert wird, so zeigt sich, daß der Empfänger bei einer ganz bestimmten Kapazität anspricht. Vergrößert man die Kapazität über diesen Punkt, so verschwinden die Zeichen wieder.

Fügt man nun in der Sendestation zur Luftleitung durch Einschalten von Windungen so lange Induktanz hinzu, bis beide Stromkreise des Senders in Übereinstimmung sind, so werden elektrische Wellen ausgestrahlt, die aber den Empfänger nicht zum Ansprechen bringen können. Wenn jedoch

Fig. 140.



die Empfangsstation zu dem Drahte A Induktanz (Fig. 135) und in den sekundären Stromkreis Kapazität hinzufügt, so wird sich neuerdings Übereinstimmung herstellen lassen, und man sieht hieraus, daß eine Station, allerdings nur nach vorhergegangener Einstellung, auf Wellen verschiedener Frequenz zum Ansprechen gebracht werden kann.

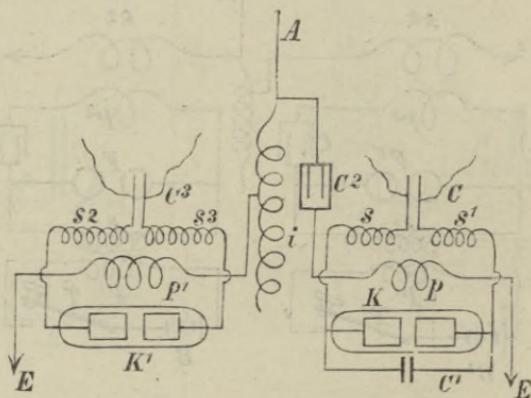
Es können aber auch von einer bestimmten Station aus, durch entsprechende Änderung der Induktanz und Kapazität, Nachrichten an eine andere Station, die entsprechend abgestimmt ist, entsendet werden, ohne daß andere Stationen dieselben mit aufzunehmen vermögen und man sohin von einer Station aus durch entsprechende Einstellung mit mehreren Stationen der Reihe nach verkehren kann, ohne ein Aufnehmen durch eine unbeteiligte Station befürchten zu müssen.

Besser ist es jedoch, mehrere Geber und Empfänger, die bereits entsprechend, aber verschieden abgestimmt sind, mit einer Antenne zu verbinden, um so die einen sehr geübten Manipulanten erfordernde Einstellung zu ersparen.

Die diesbezüglichen Anordnungen, beziehungsweise Schaltungen sind aus den Fig. 140 und 141 sowohl für den Sender als auch den Empfänger zu ersehen.

Eine nach Marconis Angaben sehr wirksame Anordnung für den Sender unter Anwendung der Zylinderantenne zeigt Fig. 142. Es findet hier eine doppelte Übertragung statt und deckt sich diese Einrichtung mit der in Fig. 140 dargestellten,

Fig. 141.



die Impulsstärke zu dem Punkte 4. Infolgedessen wird die empfangene Impulsstärke verhältnismäßig nur daß bei dieser eine geradlinig senkrechte Antenne zur Anwendung gelangt.

Während mit diesen Einrichtungen nahezu auf 200 km Entfernung anstandslos korrespondiert werden konnte, war es mit einem nicht abgestimmten Empfänger schon auf 50 m Entfernung nicht mehr möglich, Zeichen zu empfangen.

Guarinis selbsttätiger Wellenübertrager. So gut sich auch die drahtlose Telegraphie nach dem Systeme von Marconi für die Vermittelung von Nachrichten über die See bewährt, konnten doch in einem Falle durch Marconi Nachrichten zwischen the Lizard und St. Catherine's Point, d. i. auf eine Entfernung von 315 km, noch gut übertragen werden, so wenig erfolgreich haben sich die Versuche am Festlande erwiesen.

Soferne nicht Drachen als Auffang-, beziehungsweise Sendestangen verwendet wurden, konnte bisher eine Entfernung von 21 km nicht überschritten werden.

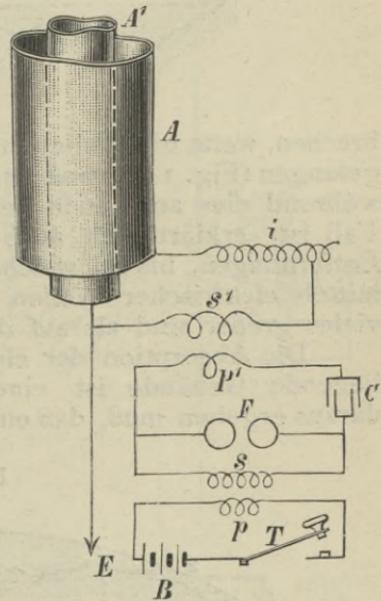
Durch die Versuche von Guarini wurde jedoch festgestellt, daß sich diese Entfernung speziell für Landlinien beträchtlich erweitern läßt.

Daß diesen Entfernungen jedoch ganz bestimmte Grenzen gesetzt sind, ist selbstredend, da, wenn auch in der Sendestation eine große Energie zur Verfügung steht, Verluste während des Weges der Hertz'schen Wellen unvermeidlich werden, dieselben daher, ehe selbe den Empfänger erreichen, schon bedeutend geschwächt sein müssen. Diese Verluste entstehen hauptsächlich durch Umsetzung der elektrischen Energie in Wärme bei dem Durchgange der Wellen durch mehr oder weniger Widerstand bietende Körper, ferner durch sukzessive Reflektion und Brechung durch metallische Substanzen.

An und für sich ist auch die Absorption eine der Hauptursachen für die Abschwächung der Energie. Die Höhe der Stangen steigert sich mit der Entfernung, die zu überwinden sein wird. Man gelangt daher bald zu einer Grenze, über welche, sowohl wegen der Schwierigkeit der Anlage, deren Dauerhaftigkeit, beziehungsweise Betriebssicherheit, als auch der großen Anlagekosten, nicht gegangen werden kann. Die Empfindlichkeit des Empfängers läßt sich auch kaum mehr steigern, und ist auch eine Konzentration der Hertz'schen Wellen ebensowenig zu erreichen, weil sich diese Wellen in einer Weise beugen müßten, daß sie der Erdkurve zu folgen vermögen, was, weil die Wellen sich gradlinig fortpflanzen, nahezu unmöglich ist.

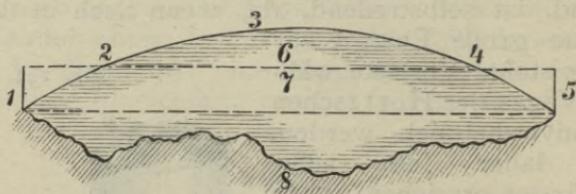
Wie Fig. 143 zeigt, bildet aber die Erdkrümmung unter Wasser weniger Hindernisse für die Fortpflanzung der elek-

Fig. 142.



trischen Wellen als die Erderhebungen auf dem Lande, weil die Wellen hierbei das Wasser durchfließen und in diesem Falle die Absorbition derselben nur von dem Salzgehalte desselben abhängt. Da die Erderhebungen unter Wasser die drahtlose Telegraphie auf weite Entfernungen nur dann unter-

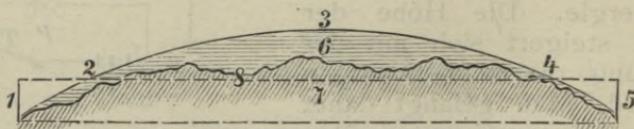
Fig. 143.



brechen, wenn die Wellen mit dem Boden der See in Berührung gelangen (Fig. 144), was nur in den selteneren Fällen eintritt, während dies am Lande bei kopiertem Terrain der häufigere Fall ist, erklärt sich auch in einfacher Weise, warum die Entfernungen, bis zu welchen über Wasser noch Nachrichten mittels elektrischer Wellen vermittelt werden können, umso vieles größer sind als auf dem Lande.

Die Absorbition der elektrischen Wellen durch zwischenliegende Gebäude ist eine beträchtliche, was sich schon daraus ergeben muß, daß ein unterirdisch verlegter Empfänger

Fig. 144.



1, 5 Antennen, 2, 3, 4 Wasserspiegel, 6 Seewasser, 7 Strahlenbündel, 8 Seebad.

wie Eugen Lagrange nachwies, auf elektrische Wellen, die von einem in unmittelbarer Nähe gelegenen oberirdischen Sender ausgehen, gar nicht anspricht.

Um nun die durch diese Hindernisse gegebene Grenze der Zeichenvermittlung zu erweitern, schuf Guarini sogenannte Relaisstationen, welche die einlangenden Zeichen selbsttätig übertragen.

Um an Antennen zu sparen, wurde die Antenne, welche die einlangenden Zeichen aufnahm, gleichzeitig als Antenne für

die Weiterbeförderung benützt, indem die Verbindung dieser Antenne mit dem Empfänger sofort, und zwar selbsttätig aufgehoben wird, wenn der Sender in Tätigkeit tritt und umgekehrt. Bei den einleitenden Versuchen zeigte sich nun, wenn in den Empfangsstromkreis ein Galvanometer geschaltet wurde, daß selbes nach Aufhebung der Verbindung der Strom anzeigte, wobei es gleichgiltig blieb, ob die Unterbrechung zwischen Aufstange und Kohärerstromkreis oder zwischen

Fig. 145.

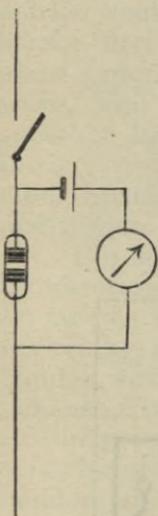


Fig. 146.

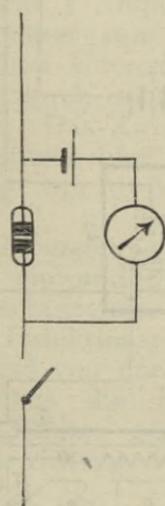


Fig. 147.

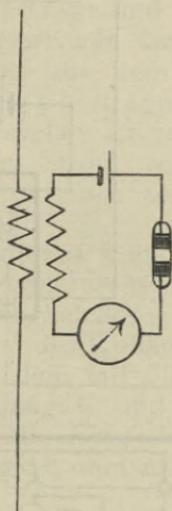
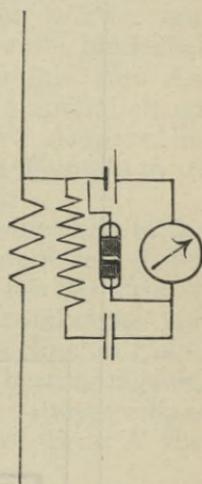


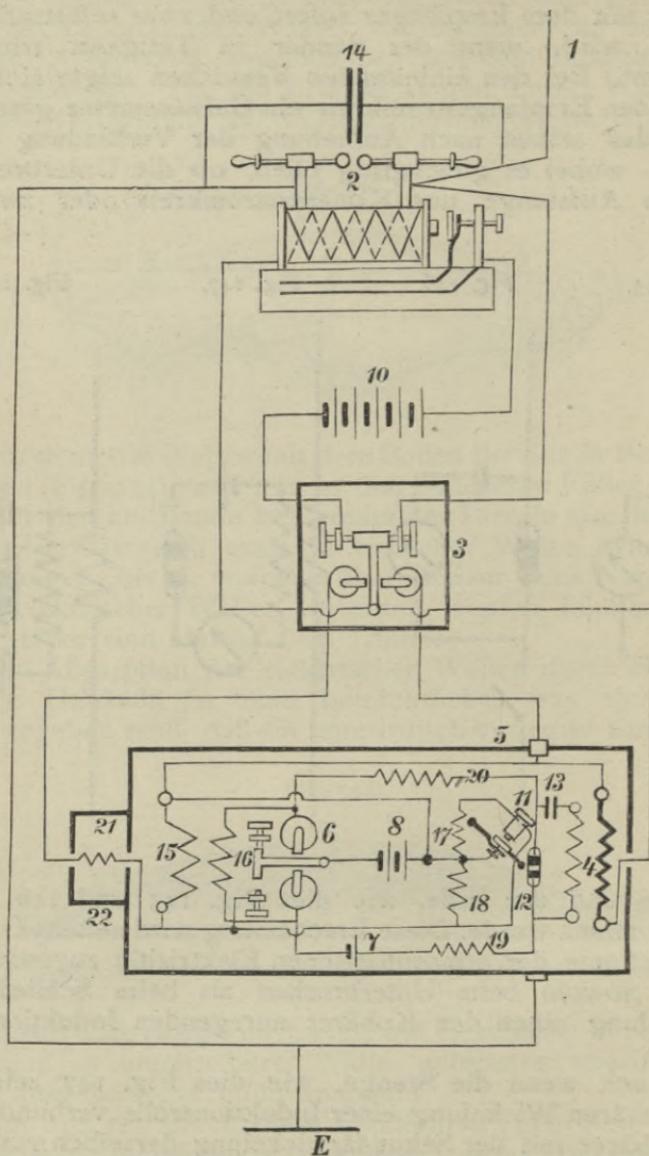
Fig. 148.



letzteren und der Erde, wie dies Fig. 145 und 146 zeigen, vorgenommen wurde. Diese Erscheinung wird seitens Guarini dem Einflusse der atmosphärischen Elektrizität zugeschrieben, welche sowohl beim Unterbrechen als beim Schließen der Verbindung einen den Kohärer anregenden Induktionsstrom erzeugt.

Auch wenn die Stange, wie dies Fig. 147 zeigt, mit der primären Wickelung einer Induktionsrolle verbunden und der Kohärer mit der Sekundärwickelung derselben verbunden wurde, trat diese Erscheinung stets auf. Erst als bei dieser zweiten Anordnung noch ein Kondensator (Fig. 148) in den Kohärerstromkreis geschaltet wurde, verschwand diese Erscheinung.

Fig. 149.



Diese Anordnung wurde auch später für den Sender angewendet, bei welchem (Fig. 142) ein Kondensator im Nebenschluß zum Oszillator geschaltet wurde, um die Länge des

Funkens und damit auch die Bewegung des Unterbrechungsmagnetes zu verringern.

Die Gesamtanordnung dieses Übertragers ist in Fig. 149 schematisch dargestellt. Wie hieraus zu ersehen, sind zweierlei Relais zur selbsttätigen Verbindung mit der Stange, mit dem Kohärerstromkreise und dem Oszillator vorgesehen, wobei das zweite sehr empfindliche Relais nur den Zweck hat, einen Stromkreis zur Betätigung des Hauptrelais zu schließen. Die Verwendung dieses zweiten Relais erwies sich deswegen für notwendig, weil die für die Betätigung der Induktionsspule zur Erzeugung des übertragenden Funkens erforderliche Stromstärke wenigstens 3 Ampere beträgt und eine solche Stromstärke den Kohärer zum Ansprechen bringen würde, was einer ordentlichen Übertragung aus dem Grunde hinderlich wäre, weil hierdurch auch das Übertragungsrelais zum Ansprechen käme. Das Zwischenrelais ist sehr empfindlich adjustiert und vermag bloß einen Strom von 0,4 Ampere bei einer Spannung von 30 Volt zwischen seinen Kontakten zu übertragen.

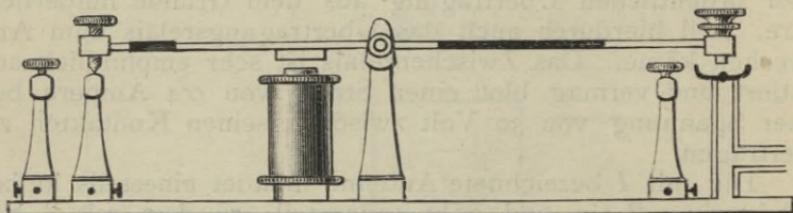
Die mit 1 bezeichnete Antenne mündet einesteils in das Induktorium 2 ein und geht andernteils zu dem mit 3 bezeichneten Zwischenrelais, durch welches selbe mit der Primärwicklung der Induktionsrolle 4 des Kohärerstromkreises verbunden wird, und von dort zu dem mit 5 bezeichneten Eisengehäuse, welches die Empfangs- und Übertragungseinrichtung zum Schutze gegen die Einwirkung anderweitiger elektrischer Einwirkungen umgibt, und mit der Erde *E* verbunden ist.

Der durch die Luftstange einlangenden Anregung folgend, wird der Kohärer leitend und bringt das Relais 6 durch Schluß des Stromkreises der Batterie 7 zum Ansprechen, wodurch der Stromkreis der Batterie 8 geschlossen wird und das Relais 3 den Stromkreis der zur Betätigung des Induktoriums 2 dienenden kräftigen Batterie 10 schließt. Da hierbei der Anker des Relais 3 den linken Kontakt schließt, den rechtseitigen hingegen unterbricht, so wird die Verbindung der Luftstange mit der Primärspule des Übertragers 4 unterbrochen und hierdurch das Aufnehmen eines neuen Zeichens, so lange das vorhergehende Zeichen nicht übertragen ist, verhindert. Sobald das Relais 6 anspricht, tritt aber auch der Klopfer 11 für den Kohärer 12 in Wirksamkeit, unterbricht hierdurch den Stromkreis der Batterie 7, wodurch auch das Relais 6 in die Ruhelage zurückkehrt und

das gleiche für das Relais 3 bedingt. Der Stromschluß für die Batterien ist demnach nur ein äußerst kurzer und die Übertragung der Zeichen erfolgt sonach mit der größten Geschwindigkeit. Der Kondensator 13 dient dem bereits vorerwähnten Zwecke, einen längeren Schluß des Kohärerstromkreises durch Einwirkung der atmosphärischen Elektrizität hintanzuhalten.

Der zwischen die Sekundärspule des Induktoriums im Nebenschlußgeschaltete Kondensator 14 verfolgt den doppelten Zweck, die Kontinuität des Stromschlusses zu unterbrechen und die Kapazität des Stromkreises entsprechend zu ändern.

Fig. 150.



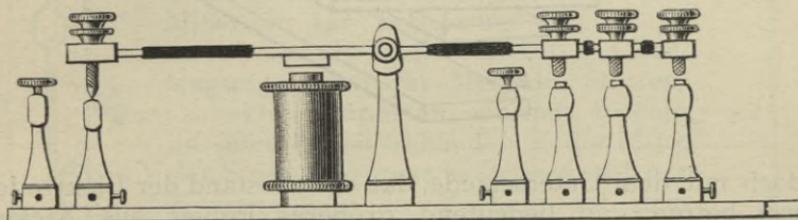
In dieser Figur bezeichnen außerdem 15, 16, 17, 18 Nebenschlüsse und 19, 20, 21 Selbstinduktionsspulen von je 40 Ohm und 35 Henry, 22 eine Eisenhülle, die mit Zinnspänen angefüllt ist.

Nach Guarini war es notwendig, alle Vorsichtsmaßregeln anzuwenden, um ein gutes Arbeiten der Apparate zu erreichen. Zu diesem Zwecke wurde der Kohärer in einen Metallkäfig eingeschlossen und die Selbstinduktionsspule 21 von einem Eisenkasten umschlossen und außerdem noch in mit der Erde verbundene Zinnspäne eingebettet, um eine Rückwirkung des Relais 3 auf Relais 6 und den Kohärer 12 unmöglich zu machen. Zum gleichen Zwecke ist auch das Relais 3 außerhalb des den ganzen Apparatensatz schützenden Eisengehäuses 5 untergebracht, weil der Unterbrechungsfunke dieses Relais nicht nur den Kohärer beeinflussen, sondern auch die ganze Einrichtung praktisch unwirksam machen würde.

Das zweite Relais 3 und jener Teil der Luftstange, welcher mit demselben in Verbindung steht, werden in besonderer Weise geschützt, wie sich dies aus Fig. 150 ersehen läßt. So ist die Armatur dieses Relais in drei voneinander

deutlich unterscheidbare, durch Ebonitplatten getrennte Partien zerlegt, deren erste der Unterbrechung des Batteriestromes dient, während die zweite die eigentliche Armatur darstellt, und die dritte dazu bestimmt ist, die Verbindung zwischen Relais und Luftstange zu unterbrechen, beziehungsweise herzustellen. Der Teil der Luftstange, welcher in Abzweigungen von dem Induktorium über das Relais *3* zu dem Transformator *4* führt, ist vollständig isoliert und außerdem in eine Eisenröhre, welche mit der Erde in Verbindung steht, eingeschlossen. Hierbei wurde die interessante Beobachtung gemacht, daß sich eine Bleiröhre für die gedachten Zwecke nicht eignet, indem sich eine *2 mm* dicke derartige Bleiröhre für die elektrischen Strahlen als durchlässig erwies.

Fig. 151.

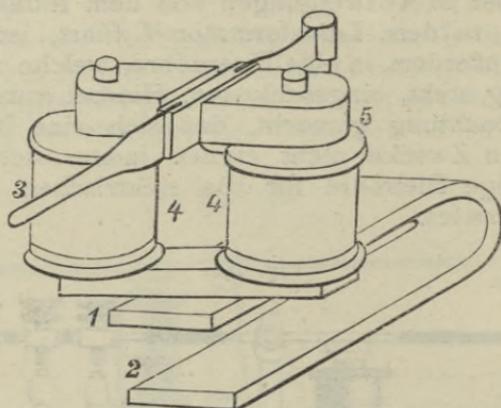


Der Unterbrecher des Induktoriums, welcher in Fig. 149 nur schematisch dargestellt erscheint, in Wirklichkeit aber ein vollkommen getrenntes Instrument darstellt, ist, wie Fig. 151 erweist, statt mit einem, mit drei von einander getrennten Unterbrechungskontakten ausgerüstet, die in einer Weise angeordnet sind, daß die totale Unterbrechung gleich der Summe der Einzelunterbrechungen ist.

Das eigentliche Vermittlungsrelais, in Fig. 149 mit *6* bezeichnet, ist nach dem Typus des polarisierten Relais von Siemens (Fig. 152) gebaut, nur ist bei demselben der Nordpol mit den Eisenkernen der Elektromagnete verbunden, der Südpol hingegen von denselben magnetisch isoliert. Das Relais ist so empfindlich, daß es schon bei einer Stromstärke von  $0,00005$  Ampere anspricht. Da die Empfindlichkeit des Köhlers mit dem Drucke und der Quantität der Füllung zunimmt und derselbe umso empfindlicher wird, je feiner die zur Füllung verwendeten Späne sind, und je weniger Neigung das verwendete Metall zur Oxydation zeigt, wurde vorerst ein solcher

mit sehr feinen Metallspänen und einem Abstände der Elektroden von  $\frac{1}{2} mm$  verwendet. Derselbe zeigte sich aber nicht vollkommen entsprechend und hat Guarini demnach für seine weiteren Versuche einen sonst ganz gleichgebauten verwendet,

Fig. 152.



jedoch mit dem Unterschiede, daß der Abstand der Elektroden  $1 mm$  betrug und bedeutend gröberes Pulver aus Nickelspänen mit einer Spur von Silber verwendet wurde. Mit diesem Kohärer hat nun derselbe bei seinen praktischen Versuchen vollkommen zufriedenstellende Ergebnisse erzielt. Da die von den Elektroden des Kohäfers abgehenden Drähte leicht abbrechen und sich hieraus leicht Störungen ergeben, wurden die aus der Glasröhre hervorragenden Drähte,

Fig. 153.



wie sich dies aus Fig. 153 ergibt, abgeschnitten und die Glasröhre an beiden Enden mit einer Kupferhülse, welche sich an den Drahtenden fest anpreßt und so eine gut leitende Verbindung herstellt, umgeben. Die Verbindung nach außen erfolgt hierbei durch Metallklammern (Fig. 154).

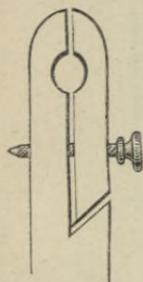
Nachdem erfahrungsgemäß das Entfritten des Kohäfers umso leichter vor sich geht, je schwächer der Strom ist, der den Kohärer durchfließt, wurde das Relais so eingerichtet,

daß es, nachdem es angesprochen, in den Kohärerstromkreis, dessen Widerstand normal 10.000 Ohm beträgt, noch einen Zusatzwiderstand von 2.000 Ohm einschaltet, so daß die Entfrittung, nachdem der Klopfer auf den Kohärer angeschlagen hat, sehr leicht vor sich geht. Die hierfür gewählte Anordnung ergibt sich aus Fig. 149.

Die mit dieser Einrichtung zwischen Brüssel und Antwerpen unter Anordnung einer Relaisstation in Malines (Mecheln) durchgeführten Versuche ergaben trotz des provisorischen Charakters der Einrichtung vielversprechende Resultate. Die Zwischenstation in Mecheln funktionierte regelmäßig und zuverlässig.

Zu bemerken ist, daß die Versuche zu einer direkten Verständigung zwischen Brüssel und Antwerpen auf 41 *km* gänzlich fehlschlügen und dieser Mißerfolg zur Errichtung der nahezu 21 *km* von Brüssel entfernten Übertragungsstation in Mecheln führten.

Fig. 154.



Die Antennen wurden hierbei an öffentlichen Gebäuden in der Mitte der Stadt, und zwar in Brüssel auf der Kongreßsäule, in Mecheln auf dem St. Romboutsturm und in Antwerpen auf dem Turme der Notre Dame Kathedrale befestigt und bestanden (Fig. 155) aus Zylindern von 10 *m* Länge und 0,5 *m* Durchmesser, die aus 50 parallelen Metalldrähten zusammengefügt waren.

Die hierbei angewandten Hilfsmittel stützen sich ganz auf die von Marconi geschaffenen Einrichtungen, so daß von einer selbständigen Erfindung nicht die Sprache sein kann. Es handelte sich eben Guarini nur darum das Marconische System der drahtlosen Telegraphie in der Richtung zu vervollkommen, daß selbe auch zu Lande für Überbrückung größerer Entfernungen verwertbar wird.

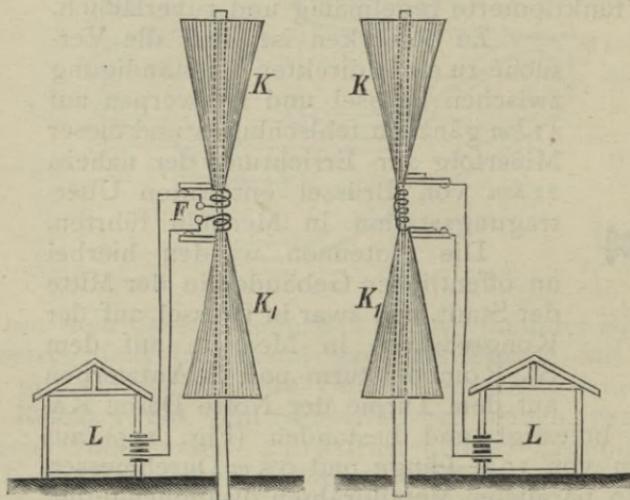
Das System der abgestimmten drahtlosen Telegraphie von Olivier Lodge und E. Muirhead. Statt Metallstangen oder Spiralen werden von Lodge zum Ausstrahlen und Aufsammeln der elektrischen Wellen Kapazitätsflächen angewendet. Dort, wo es sich darum handelt, große Kapazität mit geringem Widerstande zu vereinigen, werden

Fig. 155.



Metallkonuse verwendet. Die Anordnung (Fig. 156) ist für die Telegraphie über größere Entfernungen bestimmt.  $K$ ,  $K_1$  sind große trianguläre Metallblätter, welche mittels entsprechender hier nicht gezeichneter Umschalter nach Bedarf mit den Sende- oder Empfangsapparaten verbunden werden können. Diese Metallblätter sind, wie die Figur zur linken Hand zeigt, mit einer Funkenstrecke  $F$ , welche durch ein Glas gegen ultraviolettes Licht geschützt wird, in Verbindung und zeigt dies die Sendestellung an, während die rechte Figur

Fig. 156.



die Lage für den Empfang darstellt. Zwischen jeder dieser Kapazitätsflächen und dem zugehörigen Knopf ist eine aus dickem Drahte hergestellte und entsprechend isolierte Selbstinduktionsspule oder Induktanz eingeschaltet, welche den Zweck verfolgt, die elektrischen Oszillationen zu verlängern und so die Flächen eine längere Serie von Wellen ausstrahlen zu lassen und hierbei eine bestimmte Frequenz zu erzielen, durch welche eine Abstimmung ermöglicht wird.

Die Kapazitätsflächen und Induktionsspulen sind in der Sende- und Empfangsstation vollkommen gleich, so daß selbe auch die gleiche Frequenz der elektrischen Schwingungen haben müssen. Diese Frequenz kann nun geändert werden entweder durch Variation der in dem Erregerstromkreis verwendeten Leydenerflaschen oder durch Variation der Anzahl

der Windungen und der Lage der Induktionsspule, oder Variationen der beiden in einem bestimmten Verhältnisse. Hierdurch wird auch nur mit jener Station korrespondiert werden können, deren natürliche Frequenz mit der der Sendestation übereinstimmt.

Fig. 157.

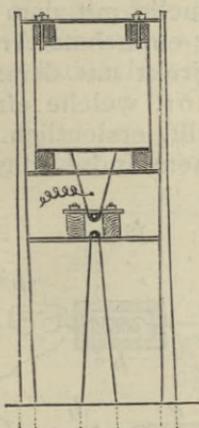


Fig. 158.

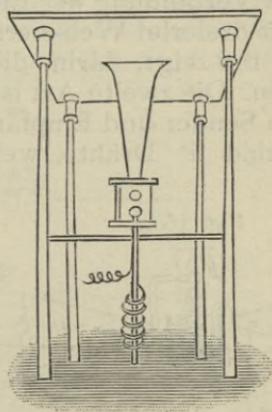
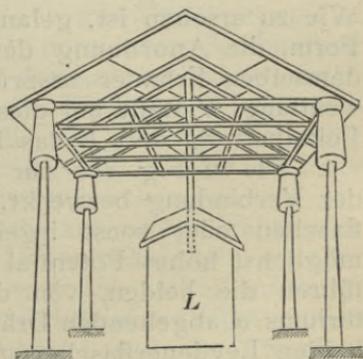


Fig. 157 zeigt eine Abänderung dieser Anordnung, bei welcher die zweite Dreiecksfläche direkt mit der Erde verbunden ist. Da bei den beiden vorstehenden Anordnungen dem Winde ein sehr großer Widerstand geboten wird, kann man die eine dieser Flächen durch ein Metaldach (Fig. 158) oder ein Dachgerüste aus Metall (Fig. 159), welche von mit Isolatoren ausgerüsteten Säulen getragen werden, ersetzen. In Fig. 156 und 159 bezeichnen die mit dem Buchstaben *L* versehenen Teile die Manipulationsräume.

Fig. 160 zeigt einen derartigen Sender mit horizontalen Kapazitätsflächen *CC*. Die Funkenstrecke ist hier mit *F*, die Induktanz mit *i* bezeichnet. Letztere befindet sich in einem mit Öl gefüllten Glasgefäße *G*. 1 und 2 sind die von den Apparaten kommenden Zuführungsdrähte.

Fig. 159.



Die horizontale Anordnung der die elektrischen Wellen ausstrahlenden Kapazitätsflächen ist nach Ansicht von Lodge aus dem Grunde vorteilhaft, weil die Absorbition dieser Wellen während ihrer Passage über teilweise leitende Erde oder über Wasser weniger wahrscheinlich ist, als bei deren vertikaler Situierung. Letztere wird jedoch in allen jenen Fällen, wo eine Signalisierung wünschenswert ist, vorzuziehen sein.

Die Verbindung der Elektrizitätsquelle mit dem Radiator kann auf dreierlei Weise erfolgen. Die einfachste Art besteht, wie Fig. 160 zeigt, darin, die Drähte direkt mit demselben zu verbinden. Die zweite Art ist aus Fig. 161, welche einen kombinierten Sender und Empfänger darstellt, ersichtlich. In demselben sind  $h^8$  Drähte, welche zu einem Induktionsapparate

Fig. 160.

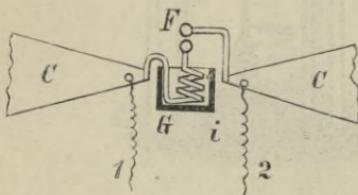
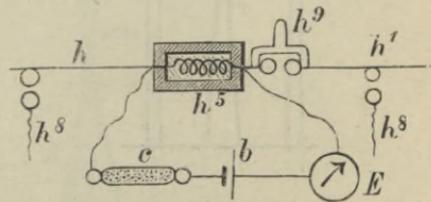


Fig. 161.

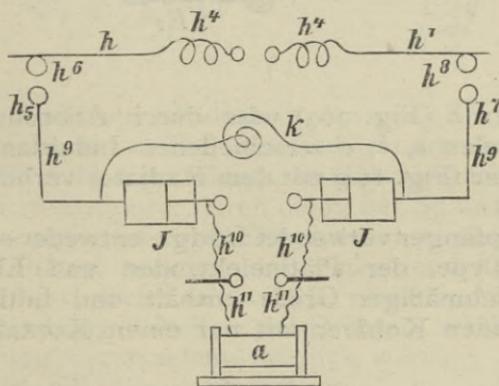


von hohem Potentiale führen.  $hh^1$  sind starke Drähte, welche als Kapazitätsflächen funktionieren, und  $h^5$  ist eine entsprechende abgestimmte Selbstinduktionsspule, welche in Isoliermasse eingebettet wird. Die Funkenstrecke bei  $h^9$  ist für den Fall, als das Instrument für den Empfang eingerichtet werden soll, durch eine Art Wechsel  $h^9$  überbrückt, welcher abgestellt wird, sobald eine Depesche zur Entsendung gelangt. Wie zu ersehen ist, gelangt hier, wenn auch in etwas anderer Form, die Anordnung der Funkenstrecken, wie solche von demselben Erfinder ursprünglich angegeben wurde, zur Anwendung.  $C$  stellt bei dieser Anordnung den Kohärer,  $b$  die Lokalbatterie und  $E$  das Empfangsinstrument vor.

Die in Fig. 162 zur Anschauung gebrachte dritte Art der Verbindung bezweckt, durch Anwendung von Leydenerflaschen oder sonst irgend passender Kondensatoren, ein möglichst hohes Potential zu erreichen. Zu diesem Zwecke führen die beiden, von der Sekundärwicklung des Induktors  $a$  abgehenden Drähte  $h^{10}$  zu den inneren Belägen der beiden Leydenerflaschen  $JJ$ . Die äußeren Beläge derselben

führen vermittels der beiden Drähte  $h^9$  zu den Erregerknöpfen  $h^5$ ,  $h^7$ . Dementsprechend wird die von dem Erreger zwischen den Kugeln  $h^5$ ,  $h^6$ ,  $h^7$ ,  $h^8$ ,  $h^4$ ,  $h^4$  überspringende Elektrizität von den äußeren Belägen der Leydenerflaschen abgeleitet. Die zwischen den beiden Drähten  $h^{10}$  angeordnete Funkenstrecke  $h^{11}$  hat den Zweck, das Entstehen der Entladungen in dem gesamten Erregerstromkreise hervorzurufen. Die beiden äußeren Belege der Leydenerflaschen sind außerdem noch durch eine Induktionsspule  $k$  hoher Selbstinduktion verbunden. Mit dieser Induktionsspule wird bezweckt, eine volle Ladung

Fig. 162.



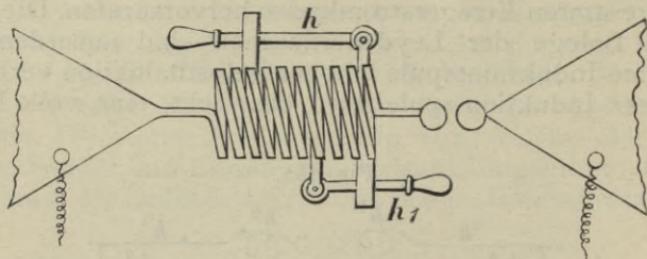
der beiden Flaschen zu ermöglichen. Dieselbe wirkt bei den Entladungen allerdings wie ein Nebenschluß, verhindert aber in keiner Weise das Überspringen der Funken in dem eigentlichen Erreger.

Die beiden letzteren Anordnungen gewähren gegenüber der ersten den Vorteil, daß man keine permanente Verbindung zwischen der Elektrizitätsquelle und den Leitern hat, wodurch die zwischen den Entladungskugeln des Radiators auftretenden Entladungen eine Periode haben, die nur von der Kapazität und der Selbstinduktion der Leiter  $h h^1$ , nicht aber von der Elektrizitätsquelle und deren Verbindung abhängen.

Die Selbstinduktionsspule besteht aus einem Drahte oder Bande eines Leiters von sehr hoher Leitungsfähigkeit, welcher sorgfältig isoliert ist, und kann entweder scheibenförmig, zylinderförmig oder in Form eines Hufeisens aufgewunden sein. Selbe kann auch mit einem Eisenkerne ausgerüstet werden.

Um die Periode der vom Radiator ausstrahlenden Wellen abändern zu können, muß man eine Änderung der Induktanz der Induktionsspule herbeiführen, was entweder durch Aus- und Einschalten einer Serie von Windungen mittels

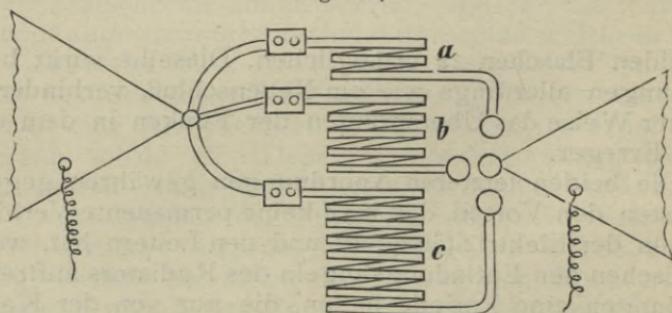
Fig. 163.



Handschaltern  $h$  (Fig. 163) oder durch Anordnung mehrerer Induktionsspulen  $a$ ,  $b$ ,  $c$  verschiedener Induktanz, die durch Stöpselschalter (Fig. 164) mit dem Radiator verbunden werden, erreicht wird.

Als Empfänger verwendet Lodge entweder einen Kohärer der Branly-Type, der Platinelektroden und Eisenfeile von ziemlich gleichmäßiger Größe enthält und luftleer gemacht wird, oder einen Kohärer mit nur einem Kontakt. Die Form

Fig. 164.

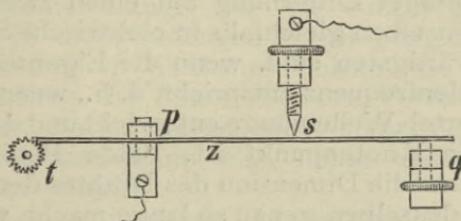


des letzteren ist in Fig. 165 dargestellt. Er besteht aus einer Spitze aus Eisen oder Platin  $s$ , welche auf einer Feder oder Zunge  $z$  aus Aluminium leicht aufliegt. Diese bei  $p$  fixierte Zunge liegt bei  $q$  auf einer Regulierschraube auf. Ein Zahnrad  $t$  mit sehr feinen Zähnen, durch ein hier nicht gezeichnetes Uhrwerk angetrieben, versetzt die Zunge in fortwährende

vibrierende Bewegung, welche die leitende Verbindung zwischen  $s$  und  $z$ , wie solche durch Einwirkung elektrischer Wellen entsteht, sofort wieder aufhebt.

In Fig. 166, welche eine geänderte Empfangsanordnung darstellt, ist die Abstimmungsspule  $h^1$  des mit den beiden

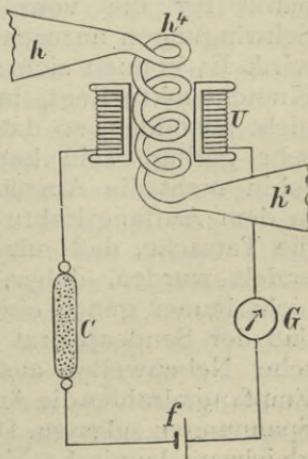
Fig. 165.



Flügeln  $hh^1$  versehenen Resonators von einer Sekundärspule  $U$  umgeben, welche einen Teil des Kohärerstromkreises bildet, so daß derselbe nicht direkt durch die einlangenden elektrischen Wellen, sondern sekundär durch die in der Spule  $U$  induzierten Wellenströme angeregt wird. Der hiermit angestrebte Zweck ist, den Resonator, welcher die einlangenden elektrischen Wellen aufnimmt, freier elektrisch vibrieren zu lassen, als dies bei Verbindung desselben mit Drähten, welche stets eine gewisse Störung verursachen, möglich wäre.

Versuche mit dieser bereits im Jahre 1898 patentierten Einrichtung wurden im größeren Umfange nicht durchgeführt, was umso mehr zu bedauern ist, als mit demselben bereits alle Grundlagen für eine abgestimmte Wellentelegraphie geschaffen sind, und so manches davon für neuere Einrichtungen mit übernommen erscheint.

Fig. 166.



Das System der abgestimmten und mehrfachen Wellentelegraphie von A. Slaby. Die von einem geerdeten Drahte ausgesendeten Wellen haben eine ganz bestimmte Wellenlänge und entspricht selbe genau der vierfachen Länge des die Wellen ausstrahlenden Drahtes. Da die ganze

Welle, welche einen Wellenberg und ein Wellental umfaßt, an den Enden eine Spannung gleich Null aufweist und von da ansteigt und abfällt, um bis zum Knotenpunkte wieder auf Null zurückzusinken, von da wieder in entgegengesetzter Richtung wieder anzusteigen und abzufallen, wird, weil sich das Ansteigen und Abfallen gleichmäßig vollzieht, bei genau einer Viertel-Wellenlänge die größte Spannung auftreten. Treffen nun diese Wellen in beliebiger Entfernung auf einen zweiten Draht, so versetzen sie denselben gleichfalls in elektrische Schwingungen, die dann am kräftigsten sind, wenn die Eigenschwingung desselben der Wellenfrequenz entspricht, d. h., wenn dessen Länge genau einer Viertel-Wellenlänge entspricht und das untere Ende des Drahtes ein Knotenpunkt ist. Beide Bedingungen sind erfüllt, wenn man die Dimension des Drahtes dementsprechend feststellt, also denselben genau so lange macht, wie den Sendedraht und dem unteren Punkte zwangsweise die Spannung Null erteilt, indem man ihn mit der Erde verbindet. Slaby, welcher für das von ihm auf Grund eingehender Studien und Untersuchungen ausgearbeitete System der abgestimmten Wellentelegraphie, sich, ebenso wie Marconi, nur der bereits bekannten Hilfsmittel bedient, schließt nun den Kohärer als eigentlichen Empfänger an jene Stelle an, wo die in dem Drahte hervorgerufenen Wechselfspannungen am größten sind. Bisher hing man ausnahmslos den Empfangsdraht isoliert auf und schloß am unteren Ende desselben den Kohärer an, dessen zweiter Pol mit der Erde verbunden war, was infolge des Umstandes, daß die Erdverbindung als Knotenpunkt für die vom Drahte aufgenommenen elektrischen Schwingungen anzusehen ist, als prinzipiell falsch bezeichnet wird. Es können sich nämlich, da der Kohärer ganz nahe am Knotenpunkte liegt, in demselben nennenswerte Spannungen nicht ausbilden, so daß die Einwirkung der Wellen nur eine sehr geringe sein kann. Diese Art der Schaltung gestattet sohin nicht die Ausnützung der maximalen Spannungen, die in dem Auffangdrahte auftreten. Nach Slabys Ansicht rührt die Tatsache, daß mit dieser Schaltung trotzdem Resultate erzielt wurden, daher, daß die Länge des Empfangsdrahtes nicht immer genau einer Viertel-Wellenlänge entspricht und daß der Sendeapparat außer den Hauptwellen noch parasitische Nebenwellen aussendet, welche am unteren Ende des Empfangsdrahtes die Ausbildung unregelmäßiger geringfügiger Spannungen zulassen. Darauf ist auch das häufig unzuverlässige, gleichsam launische Verhalten, welches den Empfänger der-

malen charakterisiert, zurückzuführen, und fehlt also bei dieser Anordnung das wesentliche Merkmal einer technisch brauchbaren Einrichtung.

Um diesen Übelstand zu beseitigen, muß vorerst durch Erdung des Empfangsdrahtes ein sicherer Knotenpunkt ausgebildet werden, um die aufgefangenen Wellen durch diesen hindurch zu leiten. Ein an diesen Knotenpunkt angeschlossener Draht von gleicher Länge wie der Empfangsdraht erzeugt am freien Ende einen kräftigen Schwingungsbauch der elektrischen Spannung in ähnlicher Stärke wie an der freien Spitze des Drahtes. Er bietet aber den Vorteil der leichteren Zugänglichkeit. Es ist hierbei nicht nötig, den Draht geradlinig zu führen und kann man daher denselben auch auf größere Spulen wickeln.

Durch diese Anordnung ist es zunächst gelungen, die Sicherheit und Präzision der Zeichengebung in erheblichem Maße zu verstärken, und bietet selbe den Kernpunkt der Erfindung von Slaby.

Diese Anordnung ermöglicht aber auch weiter, daß vorhandene Leiter wie Blitzableiter, Fahnenstangen und eiserne Schiffsmaste, welche an und für sich schon geerdet sind, ohne weiteres als Fangdrähte für diese Art der Telegraphie verwendet werden können.

Es ist aber auch die Abstimmungsfrage durch diese Anordnung als gelöst zu betrachten, indem zwei korrespondierende Stationen mit vereinbarter Wellenlänge arbeiten, deren Mannigfaltigkeit kaum begrenzt erscheint und der Empfangsapparat so eingerichtet werden kann, daß er nur auf Wellen bestimmter Länge anspricht. Als erstes Mittel hierzu dient, den Auffangdraht genau einer Viertelwellenlänge oder einem ungeraden Vielfachen desselben zu machen, da alle übrigen Wellen, für welche der Erdungspunkt kein Knotenpunkt ist, unweigerlich in die Erde wandern und gar nicht zum Empfangsapparate gelangen. Dieselben werden sozusagen an diesem Punkte durchgesiebt und kommen sohin gar nicht zur Wirksamkeit. Es gestattet sohin dieses Mittel die Störungsfreiheit und Geheimhaltung der Korrespondenz mit einer anderen Station. Die gleichzeitige Korrespondenz mit mehreren Stationen ist hierdurch allerdings noch nicht ermöglicht, da man bezüglich der Wellenlänge an die Höhe des Blitzableiters, der Fahnenstange oder des Schiffsmastes gebunden ist und man denselben nicht nach Bedarf verlängern oder verkürzen kann. Es ist dies aber doch möglich gemacht,

indem auch Wellen anderer Länge unter bestimmten Voraussetzungen zum Weiterwandern in dem Verlängerungsdraht veranlaßt werden können, und zwar erfolgt dies in der Weise, daß man die Gesamtlänge des Drahtes, d. h. Auffangdraht plus Verlängerungsdraht gleich der halben Wellenlänge macht. Es ist dann zwar der Erdungspunkt kein reiner Knotenpunkt mehr, er läßt aber die Wellen fast ungeschwächt durch, und zwar nur diese Wellen und keine anderen, indem nur hier die Welle frei ausschlagen kann, weil der Endpunkt des Drahtes einen Schwingungsbauch der Spannung bildet.

Dies läßt sich an einem Zahlenbeispiel erläutern. Sollen mit einem Blitzableiter von nur 40 m Höhe Wellen empfangen werden, deren Länge nicht  $4 \times 40 = 160 m$ , sondern angenommen 200 m beträgt, so ist die Gesamtdrahtlänge gleich 100 m zu wählen, d. h. an den Blitzableiter von 40 m sind noch 60 m Draht auszuschließen. Durch dieses einfache Mittel ist es in ziemlich weitem Umfange ermöglicht, eine Empfangsstation zur Aufnahme verschiedener Wellenlängen einzurichten. Man hat nur für einen geeigneten Vorrat jener Drahtspulen Sorge zu tragen und eventuell so viele Empfangsapparate einzuschalten, als die Zahl der Stationen beträgt, mit denen gesprochen werden soll. Die Trennung der Wellen vollzieht sich hierbei in so sicherer und exakter Weise, daß mit einem Auffangsdrahte verschiedene Telegramme zu gleicher Zeit aufgenommen werden können, und zwar Telegramme, welche aus ganz verschiedenen Richtungen kommen.

Die Wirkungen der einlangenden Wellen lassen sich noch durch eine sehr einfache Einrichtung, welche auf Resonanzwirkung beruht und welche von Slaby mit dem Namen Multiplikator bezeichnet wurde, vergrößern. Diese Einrichtung besteht aus einer, auf die Frequenz der Schwingungen abgestimmten Spule mit großer Selbstinduktion und geringer Kapazität, welche ähnlich wie bei dem bekannten Ferrantieffekt die Spannung am Ende des von den schnell pulsierenden Strömen durchflossenen Leiters wesentlich erhöht, und so den Kohärer, welcher nur auf Spannung anspricht, viel sicherer zum Ansprechen bringt.

Der von Slaby angewendete Sender besteht (Fig. 167) aus einem an die eigentliche Auffangstange  $A$  befestigten Drahte, der zu dem Funkeninduktorium  $J$  geleitet und bei  $F$  vom Funkenstrom gespeist wird. Der andere Pol der Funkenstrecke ist durch einen abgestimmten Kondensator  $C$  an die Erde gelegt. Das Ende dieses Drahtes  $A$  ist direkt mit der Erde

verbunden. Die Wirkungsweise erklärt sich nun in der Weise, daß der Draht durch die überspringenden Funken in Schwingungen gerät, deren Wellenlänge der vierfachen Drahtlänge entspricht. Die Ausstrahlung der Wellen in den freien Raum erfolgt in der bereits wiederholt erklärten Weise. Will man mit einer größeren Wellenlänge telegraphieren, so genügt es, in die Erdleitung eine Zusatzspule *Z* zu schalten. Diese nur

Fig. 167.

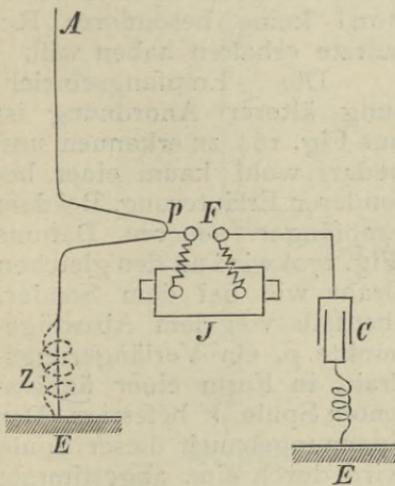
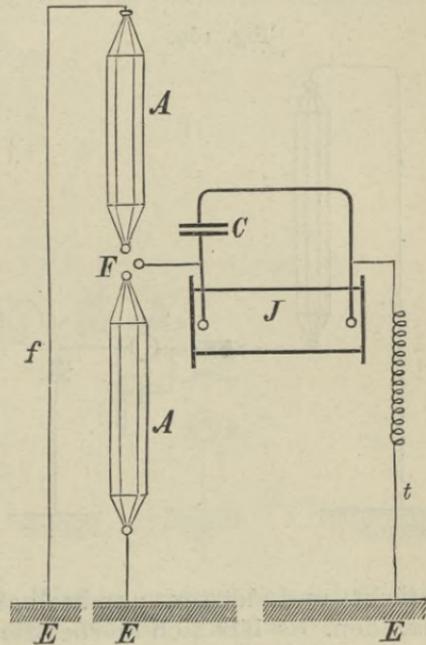


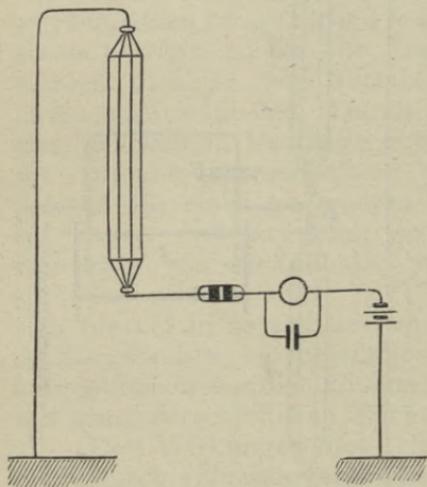
Fig. 168.



durch Punktierung angedeutete Zusatzspule verlängert die Gesamtlänge des Drahtes um einen bestimmten Betrag und dementsprechend auch um die Zusatzlänge, die vorher gegebene Viertelwellenlänge. Durch eine Serie solcher Zusatzspulen ist man in der Lage, jene Station, welche mit dieser Sendestation in Verbindung gesetzt werden kann, von Fall zu Fall auszuwählen, indem man nur die, dieser Station entsprechende Zusatzspule der gesamten Drahtlänge zuschaltet. In jedem Falle ist aber die Schwingung in dem durch die Erdverbindungen geschlossenen Kreise auf die Schwingung des Drahtes abzustimmen, um die größte Wirkung zu erhalten.

Eine ältere Anordnung der Sendevorrichtung zeigt Fig. 168. Hier steht das Induktorium einesteils mit dem Kondensator  $C$  und mit der Funkenkugel  $b$ , anderenteils über dem Draht  $t$  mit der Erde in Verbindung. Der eigentliche Sender oder die Antenne besteht aus Konusen, gebildet aus einer Serie von Drähten, die mit einer Funkenkugel und mit der Erde in Verbindung stehen. Bei dieser Anordnung strahlen die beiden Konuse  $A A$  allein die Wellen aus, während der Draht  $f$  nur bei der Ladung wirksam ist, indem

Fig. 169.



er die Kapazität der Antenne erhöht. Es ist dies dieselbe Anordnung, mit welcher Marconi keine besonderen Resultate erhalten haben will.

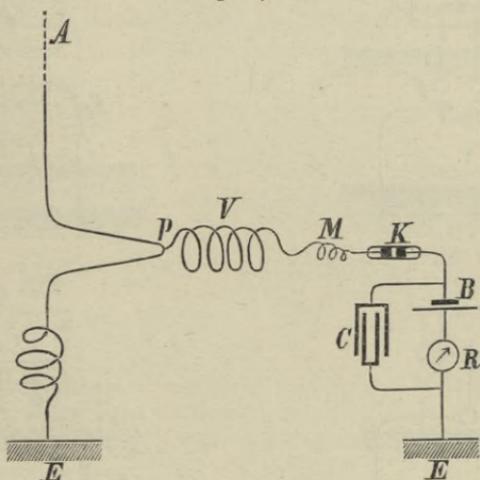
Die Empfangseinrichtung älterer Anordnung ist aus Fig. 169 zu erkennen und bedarf wohl kaum einer besonderen Erläuterung. Bei dem Empfänger neueren Datums (Fig. 170) wird an den gleichen Draht wie bei dem Sender, ebenfalls von dem Abzweigepunkte  $p$ , ein Verlängerungsdraht in Form einer äquivalenten Spule  $V$  befestigt. Der Spannungsbauch dieser Spule wird durch eine abgestimmte Multiplikationsspule  $M$  verstärkt und letzter unmittelbar mit dem Kohärer  $K$  verbunden. Es läßt sich hierbei die Wirkung beider Spulen durch eine einzige von entsprechender Wickelung ersetzen. In die Verbindung des Kohäriers mit der Erde ist die Batterie  $B$  und das Relais  $R$  eingeschaltet, welches letzteres, um die Schwingungen nicht zu stören, durch einen Kondensator  $C$  überbrückt wird.

Die mit diesem Systeme durchgeführten Versuche haben die Richtigkeit der Voraussetzungen zum größten Teile bestätigt und steht dieses System bei der deutschen Marine vielseitig in Verwendung.

Das System der drahtlosen Wellentelegraphie von Dr. Ferdinand Braun. I. Die Hydrotelegraphie. Dieses von Dr. Braun ersonnene und für

die Telegraphie über Wasser vielversprechende System gründet sich auf die von Poynting festgelegte und theoretisch begründete Tatsache, daß äußerst rasch wechselnde Ströme oder Ströme hoher Frequenz, wie beispielsweise die Teslaströme, nicht wie Gleichströme oder Wechselströme niedriger Frequenz in den ganzen Leiter eindringen, sondern sich mehr an der Oberfläche desselben fortpflanzen, und zwar dies um so mehr, je größer die Frequenz des in denselben eingeleiteten Stromes ist. Bei noch schnelleren Schwingungen, wie solche bei der Entladung von Leydenerflaschen oder

Fig. 170.



bei Anwendung Hertzscher Wellen entstehen, wird die Stromfortleitung nur in einer sehr dünnen Oberflächenschicht des betreffenden Leiters erfolgen, wobei diese Schicht um so dünner sein wird, je schlechter der als Leiter verwendete Stoff die Elektrizität leitet, in welchem Falle die Welle sozusagen nur über die Oberfläche desselben hinweg gleitet. Wenn auch diese Erscheinung bisher nur für zylindrische Leiter experimentell nachgewiesen wurde, so war doch die Annahme von Braun, daß die Stromverteilung und Verpflanzung sehr schneller Schwingungen auf flächenförmigen oder sonstigen körperlichen Leitern in ganz derselben Weise erfolgen wird und daher die ganze Strömung wesentlich an der Oberfläche bleibt, sicher begründet, und beschloß er, von dieser Erwägung ausgehend, diese Erscheinung für eine neue

Art der Wellentelegraphie, welche er mit dem Namen *Hydrotelegraphie* bezeichnete, nutzbar zu machen. Nach *Braun* dürfte für verhältnismäßig schlechte Leiter, wie Fluß- und Seewasser, als praktisch in Betracht kommende Oberflächenschichten nur 1—2 m Tiefe in Betracht zu ziehen sein.

Die hierbei in erster Linie zu lösende Aufgabe war, schnelle elektrische Oszillationen dem Wasser zuzuführen. Hierfür dienten die in Fig. 171 bis 178 dargestellten Anordnungen. Bei der Anordnung (Fig. 171), in welcher *i* das In-

Fig. 171.

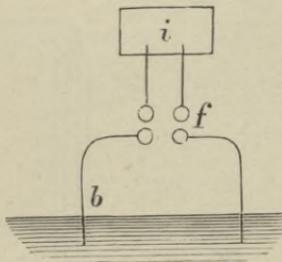


Fig. 172.

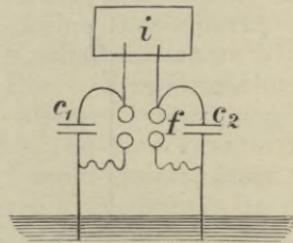


Fig. 173.

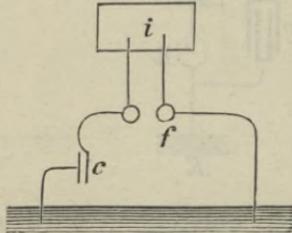
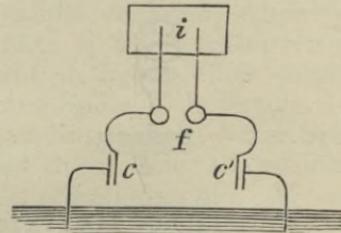


Fig. 174.



duktorium bezeichnet, tritt durch den überspringenden Funken eine plötzliche Ladung des Drahtes auf, wodurch sich die von der Kugel ausgehende Erregung durch den Draht bis zur Wasserfläche fortpflanzt und teilweise in die Wassermasse eintritt. Durch die große Dielektrizitätskonstante des Wassers wird jedoch diese Ladung auch teilweise reflektiert, und es bilden sich infolge dessen sowohl in den Drähten, als auch in der Wasserstrecke elektrische Schwingungen aus.

Bei den Anordnungen Fig. 172 bis 178 gelangen allgemein Kondensatoren zur Anwendung und werden auch teilweise Selbstinduktionsspulen *s* zwischen geschaltet. Als eine der wirksamsten Anordnungen wurde die in Fig. 178

dargestellt befunden. Als Kondensatoren kamen zwei Leydenerflaschen von je etwa 2900 *cm* Kapazität und als Induktions-  
spulen Spiralen von 10 bis 100 und mehr Windungen Kupfer-  
draht zur Anwendung.

Fig. 175.

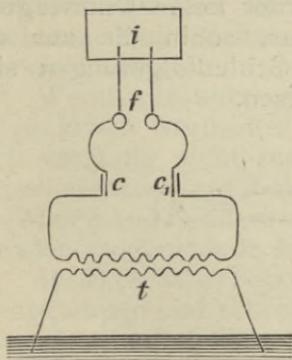


Fig. 176.

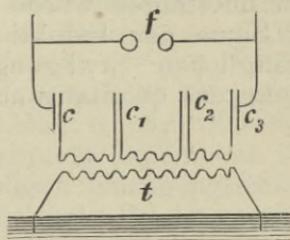


Fig. 178.

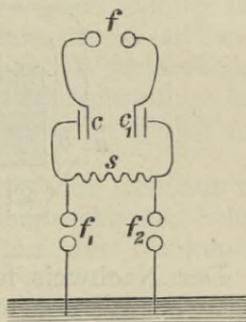


Fig. 177.

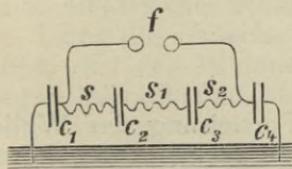


Fig. 179.

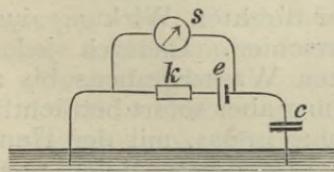
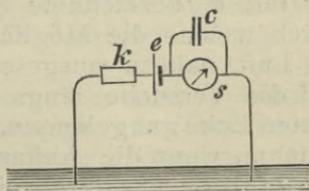


Fig. 180.

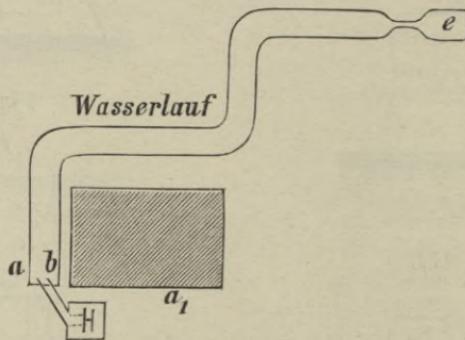


An der Auffangstelle wurden die in den Fig. 179 und 180 dargestellten Schaltungen verwendet, in welchen *k* den Kohärer, *e* ein Element, *s* den Stromanzeiger und *c* einen Kondensator bezeichnet.

Mit diesen Anordnungen wurden vorerst Versuche in den alten, mit Wasser gefüllten Festungsgräben der Stadt

Straßburg, sodann längs des Rheines und späterhin auch bei Cuxhaven im Meere durchgeführt, und gelang es bei diesen Versuchen, trotzdem für dieselben nur ein Induktor von 10 cm Schlagweite zur Verfügung stand, nicht nur Entfernung bis zu 3 km zu überbrücken, sondern auch den positiven Nachweis zu liefern, daß die Wirkung nicht durch die Luft übertragen wurde und daß es ferner keine Übertragung im Sinne der Induktionswirkung war, sohin die aus der anfänglichen Erwägung gezogenen Schlußfolgerungen sich wenigstens qualitativ als richtig erwiesen.

Fig. 181.



Der Nachweis für die direkte Fortleitung der Wellenimpulse im Wasser wurde durch die Versuche in den bereits erwähnten Festungsgräben erbracht. Dieselben hatten annäherungsweise den in Fig. 181 dargestellten Verlauf, und war der mit  $a_1$  bezeichnete Raum mit hohen Gebäuden erfüllt, durch welche die Möglichkeit einer direkten Wirkung durch die Luft nahezu ausgeschlossen erschien. Dadurch jedoch, daß die Versuche längs des ganzen Wassergrabens bis zur letzten Ecke gut gelangen, die Wirkung aber sofort beträchtlich abnahm, wenn die Auffangvorrichtung in das, mit der Hauptwassermasse nur durch einen wenige Centimeter tiefen, meterbreiten Wassergraben in Verbindung stehende Bassin  $c$  verlegt wurde, ergibt sich mit Gewißheit, daß die Übertragung nur durch das Wasser stattfand, weil sonst bei direkter Übertragung durch die Luft die geringe Entfernungsdifferenz keinen Einfluß auszuüben vermocht hätte.

Der Ausschluß der Induktionswirkungen im Sinne der Preece'schen Versuche wird dadurch erwiesen, daß die

gegenseitige Lage der in das Wasser versenkten Gebe- und Empfangsdrähte auf die Empfindlichkeit der Übertragung keinen Einfluß ausübt, während dies bei einer rein induktiven Übertragung, insbesondere dann, wenn die gegenseitige Lage der direkten Verbindungslinie der beiden Gebedrähte zur Verbindungslinie der Empfangsdrähte die Senkrechte wäre, nicht der Fall sein könnte, und bei der letzteren extremen Annahme eine Zeichenübertragung überhaupt unmöglich werden müßte.

Wenn nun auch diese Versuche ein sowohl theoretisch als praktisch wertvolles Ergebnis brachten, wurden dieselben doch vorläufig nicht zum Abschluß gebracht, indem sich der Experimentator auf Grund der damaligen Unzugänglichkeit des Marconi-Senders diesem vorläufig mehr Erfolg versprechenden Gegenstande zugewendet hat.

II. Die Wellentelegraphie. Wie bereits Hertz nachgewiesen und schon früher Hughes ganz richtig beobachtet hat, soll der Funke des Senderinduktoriums für Zwecke der Wellentelegraphie, um eine gewisse Wirksamkeit zu erlangen, eine bestimmte Länge nicht überschreiten, da er sonst weniger aktiv wird, d. h. nicht mehr in gleich guter Weise elektrische Wellen erzeugt.

Über die Ursache dieser Erscheinung läßt sich nur mutmaßen, daß der Widerstand der Funkenstrecke die Schwingungen dämpft und sich die Energie auf der Funkenbahn in Wärme umsetzt.

Dieser Umstand ist es, welcher der Marconischen Geberanordnung bestimmte Grenzen setzt, indem auch eine Vergrößerung der Oberfläche des Senders durch angehängte Metallflächen oder Drahtnetze wenig nützt und nur eine Verlängerung der Senderhöhe die Zeichenvermittlung auf größere Entfernungen ermöglicht.

Doch auch hier ist man an bestimmte Grenzen gebunden, da sich der Erhöhung der Senderstange ganz bedeutende Schwierigkeiten entgegensetzen und eine Höhe von etwa 100 m als die Grenze des Erreichbaren anzusehen ist. Hierzu gesellen sich aber noch andere Übelstände, indem die Ladungen des Gebers gefährlich werden können, und derselbe außerdem eine außerordentlich gute Isolation erfordert. Wird dieselbe einmal mangelhaft, wie dies durch Berührung der Senderstange mit einem nassen Gegenstande oder durch Nebel leicht eintreten kann, so entsteht überhaupt keine Ladung oder in so geringem Maße, daß der Geber seinen Dienst

versagt. Als weiterer Nachteil dieses Senders ist der Umstand anzusehen, daß die Schwingungen sehr stark gedämpft werden, was teils durch den Widerstand des Oszillators, hauptsächlich aber dadurch bedingt wird, daß die Schwingungen ihre Energie in den umgebenden Raum abgeben. Nun ist aber gerade diese letztere Dämpfungsursache bei der gewählten Anordnung unvermeidlich, da dieselbe ja die Bedingung für die gewünschte Fernwirkung bildet.

Durch diese Dämpfung wird aber die Zeitdauer der Schwingungen wesentlich abgekürzt und deren Außenwirkung stark beeinträchtigt, außerdem aber eignen sich derartige schnell vergehende Schwingungen nicht zur Abstimmung eines Empfängers auf einen Sender, indem sich hierfür die Bedingung ergibt, daß die erregende Schwingung durch längere Zeit mit nahezu gleicher Intensität anhält, weil nur dann die Steigerung der Amplitude durch die Resonanz im Empfänger zur Geltung gelangen kann.

Da diese Tatsache auf dem Gebiete der Akustik längst bekannt und sowohl theoretisch als experimentell nachgewiesen ist, bedarf es, nachdem jede Wellenbewegung ohne Rücksicht auf die Wellenlänge und die Anzahl der Schwingungen bezogen auf die Zeiteinheit den gleichen Gesetzen folgt, keiner weiteren Begründung dieser Tatsache.

Aus den akustischen Erscheinungen leitet sich nun der Erfahrungssatz ab, daß »schwach gedämpfte Sender-schwingungen die Grundbedingung für eine gut ausgesprochene Empfängerabstimmung sind«.

Die Schattenseiten des Marconi-Senders beziehen sich demnach auf folgende vier Punkte: 1. Ist der Wirkung durch Vergrößerung des Potentials, beziehungsweise der Funkenstrecke eine bestimmte und bald erreichte Grenze gesetzt; 2. ist der Kapazität des Luftleiters, soll er ungeschlossen bleiben, eine bestimmte Grenze gesetzt und läßt sich eine Steigerung der Fernwirkung nur durch Erhöhung der Geberstange erreichen, deren Schwierigkeit bereits hervorgehoben wurde; 3. bedingt die Ladung des Gebers mit hohem Potential eine vorzügliche Isolation desselben, weil sonst die Ladung sofort verschwindet und der Geber versagt; endlich 4. werden die Schwingungen durch die Funkenstrecke stark gedämpft, wodurch keine oder nur sehr geringe Resonanz im Empfänger hervorgerufen und ein Abstimmen zwischen Geber und Empfänger sehr erschwert wird.

Wenn sich auch diese Nachteile, welche jeder Geberanordnung mit kleiner Kapazität und Funkenstrecke anhaften, einigermaßen dadurch umgehen lassen, daß man den Geber aus großen Kapazitäten speist, so läßt sich doch nur dann gründliche Abhilfe schaffen, wenn man den Sender als funkenlose Leitung ausbildet, indem man die Schwingungen in demselben auf elektro-dynamischem Wege, d. h. durch Induktion, erregt.

Auf diesem Grundprinzipie ist nun der neue Sender von Braun aufgebaut, womit er gleichzeitig die Speisung des Senders durch Zuführung aus großen Kapazitäten verbindet. Er sucht aber auch die Länge der erzeugten Wellen zu vergrößern, indem er die Entladung von Leydenerflaschen zur Erzeugung der elektrischen Wellen ausnützt, deren Frequenz eine viel geringere ist als jene, welche von einem Hertzschenschen Oszillator erzeugt werden. Der Vorteil längerer Wellen ist darin gelegen, daß sich dieselben leichter beugen und daher Hindernisse zu umgehen vermögen, welche kürzere Wellen nicht mehr bewältigen können.

Die Schwingungsdauer der Wellen, die bei der Entladung eines Kondensators, beziehungsweise einer Flasche auftreten, berechnet sich theoretisch nach der Formel  $t = 2\pi\sqrt{LK}$ , wobei  $t$  die Schwingungsdauer,  $L$  die Selbstinduktion und  $K$  die Kapazität bedeutet. Es müßte sich sohin das Potentiale beliebig erhöhen lassen, wenn nicht bei einer gewissen Schlagweite die oszillatorische Entladung verschwinden würde und der Funke nach der Bezeichnung von Hertz nicht mehr aktiv ist.

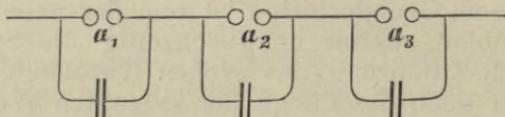
Schaltet man aber  $p$  Flaschen parallel und ladet man dieselben auf das Potential  $v$ , so ist die Energie, wenn  $K$  die Kapazität einer einzelnen Flasche bedeutet,  $w = \frac{1}{2} pKv$ , d. i.  $p$ mal größer als die einer einzigen Flasche, deren Schwingungsdauer wird aber im Verhältnis von  $p$  vergrößert.

Bei Serienschaltung dieser Flaschen bleibt sich die Schwingungsdauer zwar gleich, aber deren Energie, welche sich durch  $w = \frac{1}{2} \frac{Kv}{p}$  ausdrückt, wird kleiner als die einer gleich hoch geladenen Einzelflasche. Es ließe sich dies durch Vergrößerung von  $v$  allerdings wieder einbringen, allein dasselbe läßt sich, um oszillatorische Entladungen zu erhalten, nicht nach Belieben steigern.

Durch die von Braun angegebene, in Fig. 182 dargestellte Kaskadenanordnung läßt sich nun die Energie dennoch vergrößern, ohne daß der oszillatorische Charakter der Entladung und deren Schwingungsdauer beeinflusst wird.

Die in Fig. 183 dargestellte Anordnung der Kondensatoren, bei welcher der eine Belag des Kondensators von

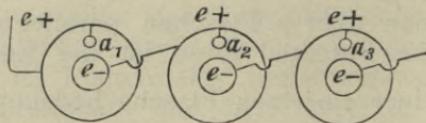
Fig. 182.



dem anderen möglichst vollständig umschlossen ist, und bei welcher die Kapazität der Zuleitungsdrähte und Funkenkugeln gegenüber der Kapazität jedes einzelnen Kondensators verschwindet, hat sich hierbei am besten bewährt.

Verbindet man nun die Beläge, wie dies Fig. 182 darstellt, abwechselnd miteinander und nimmt der erste Kondensator eine Elektrizitätsmenge  $+E$  auf, so wird eine genau gleiche Menge  $-E$  induziert, sich daher  $+E$  auf dem zweiten Kondensator ansammeln u. s. f., wodurch sich alle Kondensatoren bezüglich der Ladung gleich sind und auch bei Zutreffen aller übrigen Bedingungen die genau gleichen Potentialdifferenzen aufweisen müssen. Beträgt sohin die Potential-

Fig. 183.



differenz eines einzelnen Kondensators  $v$ , so müssen  $p$  Flaschen hintereinander geschaltet eine Potentialdifferenz von  $pv$  besitzen und deren Energie  $w = \frac{1}{2} p K v$  betragen, d. h.  $p$  mal größer sein als die einer einzelnen Flasche. Die Schwingungsdauer wird hierdurch, weil sich jede Flasche in sich ausgleicht, keine Änderung erfahren.

Mit Hilfe dieser Anordnung ist es daher möglich, durch beliebige Vermehrung der Flaschen die Energie nach Bedarf

vergrößern zu können, ohne daß hierdurch die oszillatorische Wirkung der Funken nachteilig beeinflußt wird.

Die induktive Erregung des Senders wird durch die in Fig. 184 und 185 vorgeführten schematisch dargestellten Anordnungen erreicht. Die Schwingungen des Entladestromkreises werden hierbei durch eine Induktionsrolle, beziehungsweise durch einen Transformator auf den Sender übertragen und wird hierdurch erreicht, daß sowohl die Schwingungen des primären als auch des sekundären Stromkreises nur sehr schwach gedämpft werden und sich die Schwingungen so abgleichen lassen, daß die Schwingungsamplitude im Sender durch Resonanz bedeutend vergrößert werden kann.

Fig. 184.

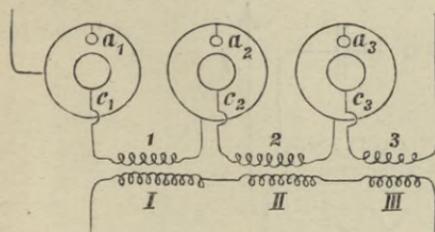
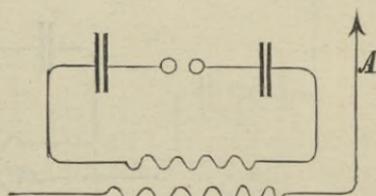


Fig. 185.



Da die Schwingungen des Senders trotz ihrer hohen Potentiale, wie sich aus den Versuchen von Tesla erweist, physiologisch nahezu unwirksam sind, verschwindet auch die Gefahr einer körperlichen Schädigung und stellen sich auch an die Isolation des Senders viel geringere Anforderungen, indem demselben elektrostatische Ladungen nicht zugeführt werden. Die Schwingungen im Primärkreis werden aber durch mangelhafte Isolierung des Senders überhaupt nicht beeinflußt, wodurch ein vollkommenes Versagen dieses Senders nahezu ausgeschlossen ist.

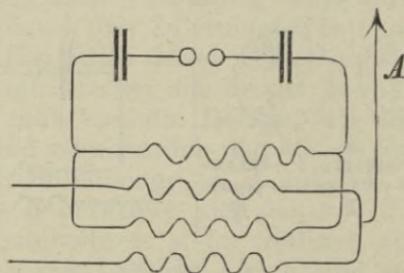
Es kann auch, da die Vergrößerung der Resonanz eine günstigere Ausnützung der Energie des Primärkreises ermöglicht, bei gleichbleibender Energie anderen Sendern gegenüber eine viel intensivere Wirkung erzielt werden. Durch die geringe Dämpfung der Schwingungen sind auch die Grundbedingungen für eine elektrische Abstimmung zwischen Sender und Empfänger gegeben und wird auch das Gebiet der verwendbaren Schwingungszahlen wesentlich erweitert, somit eine Vielfachtelegraphie ermöglicht.

Die Vermutung, daß der Kohärer auf die mit diesem Sender erzeugten elektrischen Wellen, welche naturgemäß viel länger werden als die des Marconi-Senders, nicht ansprechen werde, hat sich bei den Vorversuchen nicht bestätigt.

Um bei dieser Methode eine rationelle Ausnützung der aufgewendeten Energie zu erreichen, müssen möglichst alle magnetischen Kraftlinien des primären Kreises die sekundären Wickelungen eingreifen, was durch passende Dimensionierung der Spulen erreicht wird.

Das freie Geberende samt der Spule, in welchem die Schwingungen erregt werden, bilden mit den Primärdrähten

Fig. 186.



und Kondensatoren ein einziges schwingendes System, dessen Amplitude für eine bestimmte Schwingungszahl des Primärkreises ihr Maximum erreicht. Ebenso ist die Dämpfung des Primärkreises bei den zur Verwendung gelangenden großen Kapazitäten eine sehr kleine und somit die Resonanzbeziehung eine ausgesprochene. Um nun die Resonanzwirkung voll auszunützen, müssen die elektrischen Dimensionen für die verschiedenen Geberhöhen und Formen im vorhinein ermittelt werden, da erst bei Zusammenstimmung aller Teile die volle Fernwirkung zu erzielen ist.

Diese Anordnung des Senders kann in der verschiedensten Weise abgeändert werden. So lassen sich dem Sender Schwingungen bedeutend größerer Amplitude zuführen, wenn man, wie dies in Fig. 186 schematisch dargestellt ist, dieselbe Primärschwingung auf mehrere parallel geschaltete Erregerspulen induzierend einwirken läßt. Sind beispielsweise  $x$  gleiche Induktionsspulen parallel geschaltet, so verringert sich die ganze Selbstinduktion auf den  $x$ -ten Teil. Um daher an der

Schwingungszahl nichts zu ändern, braucht man nur die Kapazität auf das  $x$ -fache zu erhöhen, wodurch die primäre und zugleich die sekundäre Energie, d. i. die des Senders, in nützlicher Weise auf das  $x$ -fache erhöht wird.

Dieses Prinzip der induktiven Erregung findet dort, wo es sich um Erzeugung von Schwingungen in einem Hertz'schen Plattenoszillator handelt, Anwendung. Auch hier ist, da Funken und Dämpfung, wie solche durch die elektrostatische Erregung bedingt sind, hinwegfallen, die Möglichkeit einer elektrischen Abstimmung gegeben. Die diesbezügliche Anordnung läßt sich aus Fig. 186 entnehmen.

Fig. 187.

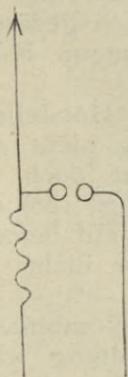


Fig. 188.

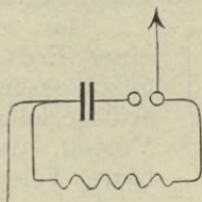
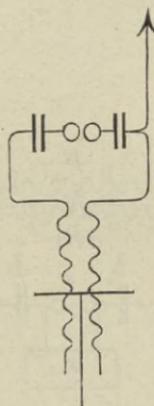


Fig. 189.

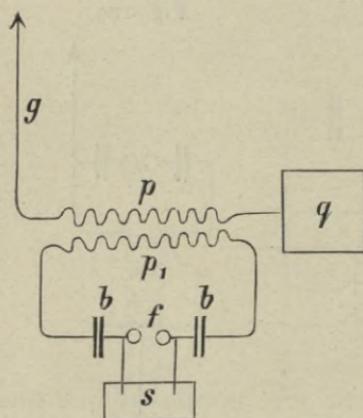


Es sind aber auch Anordnungen des Senders möglich, bei welchen derselbe direkt, also nicht mehr induktiv, erregt wird und bei welchen trotzdem den gestellten Anforderungen Rechnung getragen ist. Die Hauptformen, wie solche von Braun im Jahre 1898 angegeben wurden, erscheinen in den Fig. 187 bis 189 wiedergegeben. Es handelt sich hierbei hauptsächlich darum, einen Schwingungskreis aus Kapazitäten von solcher Größe herzustellen, als es sonst die gegebenen Bedingungen, in erster Reihe aber die durch den Sender bestimmte oder sonst gewünschte Schwingungszahl gestatten. Die Schwingungen entladen sich in einem Schließungsbogen, an welchen der Sender angelegt ist, wobei auch ein Punkt des Bogens an die Erde angelegt werden kann.

Die Wirkungsweise dieser Anordnung erklärt sich nun folgendermaßen: Bei der Entladung schwankt die elektrische

Spannung auf allen Punkten des Schließungskreises periodisch hin und her, wobei die Amplitudendifferenz zwischen zwei Punkten, deren Verbindungsstück kapazitätslos ist, von dem Werte der zwischen ihnen gelegenen Selbstinduktion abhängt. Werden nun Wellen in den Sender eingeleitet, so werden dieselben am Ende desselben reflektiert und versetzen denselben in stehende Schwingungen, wenn deren Periode mit den Eigenschwingungen des Senders übereinstimmt. Die hierbei ausgestrahlte Energie wird aus dem Schwingungskreise, wie aus einem Reservoir, nachgeliefert. Da die Schwingungen

Fig. 190.



aus einem solchen, mit großen Kapazitäten ausgerüsteten Kreise erfahrungsmäßig schwach gedämpft sind, ist auch hier der Anforderung schwach gedämpfter Senderschwingungen Rechnung getragen.

Ist auch die Herstellung einer Erdverbindung nicht ausgeschlossen, so hat doch die erdlose Schaltung (Fig. 186) den Vorteil, daß selbe auf benachbarte Telephonkreise nicht störend einwirkt.

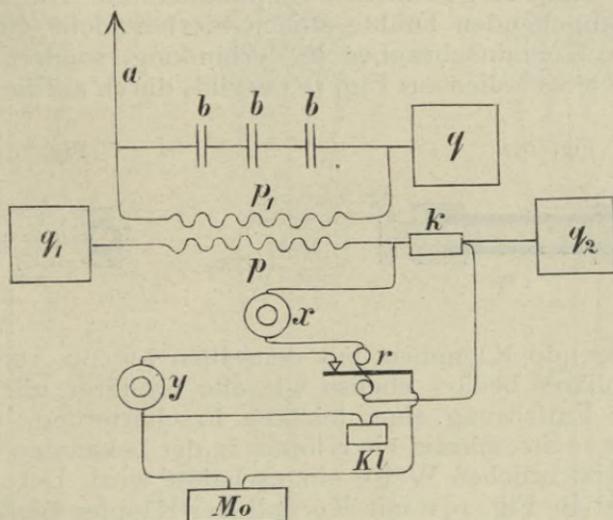
Die weiteren Kombinationen der Senderschaltung wird, weil zu weit führend und nicht

das Prinzip tangierend, vorzuführen unterlassen.

Um eine konstante Wirkung zu erzielen, ist es notwendig, dem Erregerstromkreise, beziehungsweise den in denselben eingeschalteten Kondensatoren oder Flaschen stets neue Energie zuzuführen oder dieselben zu laden, was durch eine beliebige Elektrizitätsquelle, zumeist durch einen Induktor oder einen Wechselstromtransformator erfolgt. Die Anordnung, welcher sich dermalen bei den Versuchen in Cuxhaven bedient wird, ist in den Fig. 190 und 191 vorgeführt, wobei Fig. 190 die Sender- und Fig. 191 die Empfängeranordnung darstellt. In denselben ist die Stromquelle mit  $s$ , die Funkenstrecke mit  $f$ , die Flaschenbatterie mit  $b$ , die Primärwicklung des Transformators für die Wellenströme mit  $p^1$ , die Sekundärwicklung mit  $p$ , die Senderstange mit  $g$  und die Auffangstange des Empfängers mit  $a$ , der Kohärer mit  $k$ , das Empfangsrelais mit  $r$  und die in den Lokalstromkreis geschaltete Batterie

mit  $x$  bezeichnet. Wie sich aus den Darstellungen ergibt, ist sowohl der Sender als der Empfänger nicht geerdet, sondern vielmehr in der Form eines Hertzschen Plattenoszillators ausgebildet, wobei die Sender- beziehungsweise Auffangstange den einen Flügel und eine Blechtafel  $q$  von etwa  $2\text{ qm}$  und einer Kapazität von  $0,0004$  Mikrofarad den zweiten Flügel bildet. Die Übertragung der einlangenden Wellen auf den eigentlichen Empfänger oder Kohärer erfolgt, ähnlich wie dies bereits Lodge vorher in Vorschlag gebracht hat, gleichfalls

Fig. 191.



durch induktive Übertragung und stellt der Kohärerstromkreis gleichfalls einen vollkommenen Plattenoszillator, jedoch ohne Funkenstrecke, dar. Die Blechflügel  $q_1 q_2$  dieser Oszillatoren sind vollkommen isoliert aufgehängt. Auffang- und Senderstange sind je  $40\text{ m}$  hoch und entspricht dies genau einem Viertel der entsendeten Wellenlängen. Hierdurch wird eine gute Resonanz zwischen Sender und Empfänger erzielt und die Wirkung dementsprechend vergrößert.

Als Neuerung ist anzusehen, daß auch im Empfängersstromkreis Flaschenbatterien eingestellt sind. Für den Sender kommen etwa  $64$  Flaschen zur Verwendung. Der zur Verwendung gelangende Kohärer weicht in seiner Anordnung

etwas von den sonst im Gebrauche stehenden ab. Derselbe ist in Fig. 192 und 193 zur Anschauung gebracht.

Auf die Hartgummihülse  $h$  sind zwei Metallfassungen aufgesetzt, in welche ein Muttergewinde zur Aufnahme der beiden Strahlschrauben  $s_1$  und  $s_2$  eingeschnitten ist. Eine dritte seitliche Stahlschraube  $s$  dient zum Festklemmen der Schraube  $s_1$  nach erfolgter Einstellung derselben. Als frittendes Pulver wird zertrümmerter Stahl, welcher sich nach den vorhergehenden Versuchen als das geeignetste Material für die in Rede stehenden Zwecke erwiesen haben soll, verwendet. Diese Anordnung ermöglicht eine äußerst genaue Einstellung des Kohärens auf jede gewünschte Empfindlichkeit. Die von dem Kohärer abgehenden Drähte stehen hierbei nicht direkt mit den beiden Kontaktschrauben in Verbindung, sondern werden indirekt, wie sich dies aus Fig. 193 ergibt, durch auf die Fassun-

Fig. 192.

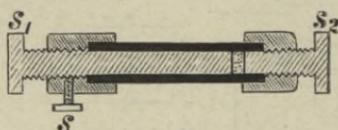
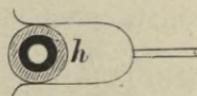


Fig. 193.



gen aufsitzende Klemmen mit denselben leitend verbunden. Dieser Kohärer bedarf ebenso wie alle Kohärer mit Metallpulver zur Entfrittung einer leichten Erschütterung, weshalb in den Morse-Stromkreis ein Klopper in der bekannten und aus Fig. 191 ersichtlichen Weise eingeschaltet wird. Der Morse-Apparat ist in Fig. 191 mit  $Mo$  und der Klopper mit  $Kl$  und die Lokalbatterie mit  $\gamma$  bezeichnet.

Die mit diesem Systeme durchgeführten Versuche sind allerdings noch nicht abgeschlossen, haben aber mit den teilweise noch unvollkommenen Einrichtungen bereits so günstige Resultate geliefert, daß sich bei weiterer Vervollkommnung noch Bedeutendes erwarten läßt.

Die Verbesserungen in der Verbindung der Apparate für die drahtlose Telegraphie von Ch. Ed. Wilson. Der Zweck dieser Einrichtungen ist, die Tragweite der mittels Hilfe einer Induktionsrolle erregten elektrischen Wellen zu vergrößern. Wilson geht hierbei von der Ansicht aus, daß je höher die Induktionsrolle vom Boden absteht, desto stärker auch die von ihr erzeugten elektrischen Wellen werden müssen, infolge dessen auch ihre Tragweite größer

wird. Er bringt zu diesem Zwecke die Induktionsrolle in dem Korbe eines Fesselballons, welcher die Antenne trägt, unter.

Fig. 194 zeigt eine Gesamtansicht zweier dieser Stationen, bei welchen die Induktionsrolle dem Einflusse der Einwirkung des Erdbodens entzogen ist. Zwei Fesselballons *AA* (selbe können auch durch Drachen beliebiger Konstruktion ersetzt werden) tragen in ihren Körben *aa* die beiden Induktionsrollen, deren primäre Wickelung und sekundäre Wickelungen

Fig. 194.

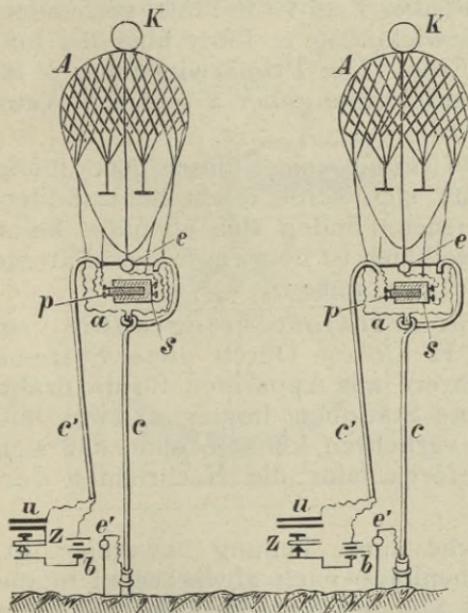
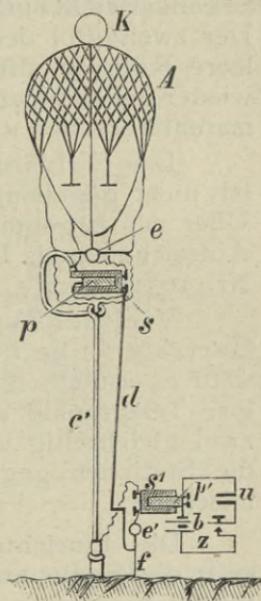


Fig. 195.



mit *p* beziehungsweise *s* bezeichnet sind. Ein Ende der sekundären Wickelung ist unter Zwischenschaltung einer luftleer gemachten Röhre *e* mit der leitenden Kugel *K* an der Spitze des Ballons verbunden. Das zweite Ende dieser Spule steht durch das Kabel *c* mit der gleichfalls luftleeren Röhre *e'* in Verbindung, deren zweites Ende zur Erde abgeleitet ist. Die beiden Enden der Primärwicklung der Induktionsrolle stehen durch das zweilitzige Kabel *c'* mit der Batterie *b*, dem Zeichengeber *z* und dem selbsttätigen Stromunterbrecher *u* in leitendem Zusammenhange. Die beiden flexiblen Kabel *c* und *c'* sind voneinander soweit als möglich entfernt.

Fig. 195 zeigt eine ähnliche Anordnung, bei welcher jedoch zwei Induktionsrollen  $p s$  und  $p' s'$  die eine im Korbe des Fesselballons die andere in der Nähe des Bodens zur Anwendung gelangen. Die Sekundärspule der im Ballonkorbe untergebrachten Induktionsrolle steht einerseits unter Zwischenschaltung der luftleeren Röhre  $e$  mit der Kugel  $k$ , anderseits durch den Draht  $d$  bei  $f$  mit der Erde in Verbindung. Die Primärwicklung  $p$  derselben ist mit dem einen Ende durch das Kabel  $c'$  mit der Sekundärwicklung der Induktionsrolle  $p' s'$  und mit dem anderen Ende mit jenem Ende der Sekundärwicklung  $s$ , welche über  $f$  zur Erde führt, verbunden. Der zweite Pol der Sekundärwicklung  $s'$  führt über die luftleere Röhre  $e'$  direkt zur Erde. Die Primärwicklung  $p'$  ist wieder mit der Batterie  $b$ , dem Zeichengeber  $z$  und den Automatenunterbrecher  $u$  verbunden.

Eine Erklärung der Wirkungsweise dieser Anordnung ist nicht gegeben, doch läßt sich selbe leicht herausfinden. Über das Ergebnis der Versuche finden sich ebenfalls keine Aufzeichnungen. Die Beschreibung ist dem englischen Patente Nr. 10312 vom 5. Juni 1900 entnommen.

Vielfach-Apparat für drahtlose Telegraphie von Bertram Cohen und Ph. H. Cole. Durch diese Systeme wird es ermöglicht, daß mehrere mit Apparaten für die drahtlose Telegraphie ausgerüstete Stationen immer zu zwei und zwei gleichzeitig unter sich verkehren können, ohne daß sich die Stationen gegenseitig stören oder die Nachrichten vermischen.

Die Einrichtung, welche diese Teilung bewerkstelligt, setzt die Stationen der Reihenfolge nach abwechselnd in die für den Empfang oder für die Abgabe einer Depesche bestimmte Lage, und zwar erfolgt dies in Zeitintervallen von einer Minute, so daß wenn beispielsweise zehn Stationen untereinander verkehren sollen, innerhalb zehn Minuten, nach welchen der Kreislauf von neuem beginnt, jede Station mit jeder anderen Station, sei es zum Empfange, sei es zur Abgabe, in Verbindung treten kann.

Zu diesem Zwecke ist jede Station nicht nur mit der Empfangs- und Sendevorrichtung versehen, sondern auch mit einer Serie von Zeichengebern und außerdem mit einem Apparate ausgerüstet, welchen die Erfinder mit dem Namen »Wähler« bezeichnen, der aber nichts anderes als einen »Verteiler« darstellt.

Fig. 196 und 197 zeigt eine Type dieses Verteilers. Er besteht im wesentlichen aus bürstenartigen Kontakten  $h, h, h$ , welche fortwährend rotieren und hierbei der Reihenfolge nach längs den Kontakten  $k, k_1, k_2, l$ , welche kreissegmentförmig angeordnet und gegenseitig vollständig isoliert sind, schleifen.

Die Drehbewegung wird durch einen Elektromagneten  $E$  reguliert, indem dessen Anker  $a$  unterhalb seines Drehpunktes einen Doppelanker  $t$  trägt, welcher abwechselnd mit dem einen oder anderen Ankerarm in die Kerben des Rades  $z$  einfällt und so dessen Bewegung hemmt. Diese Hemmung erfolgt nach jeder Viertelumdrehung. Einer dieser Schleifkontakte gelangt

Fig. 196.

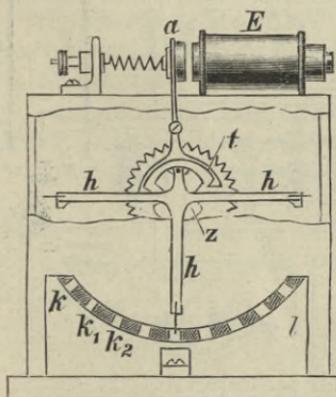
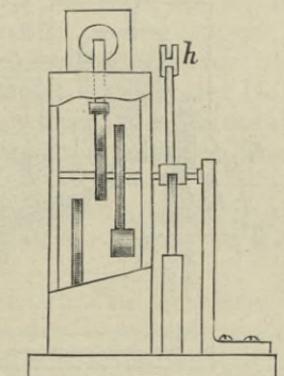


Fig. 197.



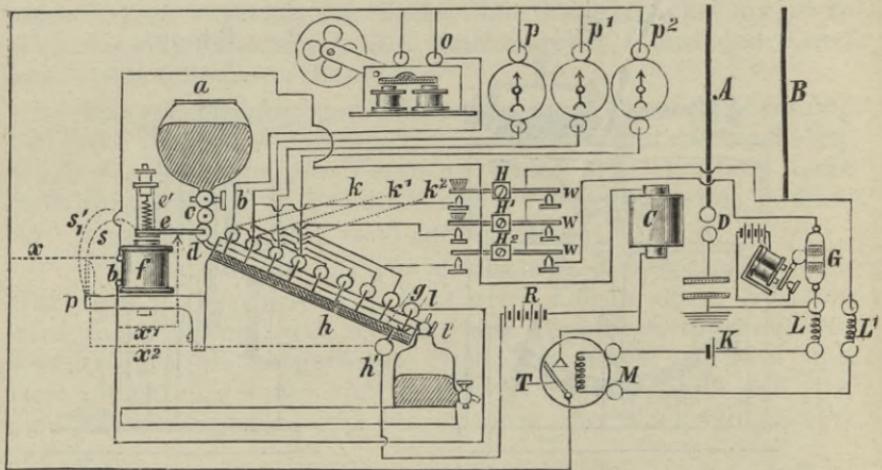
daher während dieser Viertelumdrehung mit allen Kontakten des Kreissegmentes in leitende Verbindung.

Eine andere Type eines derartigen Verteilers verwendet statt des Uhrwerkes, um die verschiedenen Kontakte der Reihenfolge nach in Verbindung zu bringen, Quecksilbertropfchen, die entlang einer geneigten Röhre nach abwärts rollen. Diese Verteilertype, welche für vier Stationen gedacht ist, stellt Fig. 198 dar, und sind in selber auch alle Verbindungen nebst zugehörigen Apparaten schematisch verzeichnet. Alle Stationen sind ganz gleich eingerichtet, nur eine derselben, welche als synchronisierende bezeichnet wird, ist mit einigen in der Figur durch gestrichelte Linien hervorgehobenen Zusatzverbindungen versehen. Diese Station ist es, welche das Herabfallen des Quecksilbers in jeder Station kommandiert und

das Volumen der durch die geneigte Röhre hindurchgehenden Tröpfchen bestimmt.

Der Wähler oder Verteiler besteht aus einem Quecksilberreservoir *a*, dessen Abflußrohr mit einem Hahn *b* versehen ist, durch welchen die Verbindung mit dem kleinen Reservoir *c* hergestellt oder abgeschlossen wird. Durch einen zweiten Hahn *d* wird das von *c* in die geneigte Röhre *g* abfließende Quecksilber in kleine Tröpfchen verteilt. Diese Röhre besteht an der Oberseite aus isolierendem Materiale, an der Unterseite hingegen aus einem leitenden Bande *h*, welches

Fig. 198.



an die Klemme  $h^1$  angeschlossen ist. Die in gleichen Entfernungen von einander und senkrecht zur Achse in den Hohlraum der Röhre eingreifenden Metallstifte  $k$ ,  $k^1$ ,  $k^2$ — $l$  stellen bei Durchfließen eines Quecksilbertröpfchens die leitende Verbindung mit  $h$  her. Die Zahl dieser Stifte beträgt neun, also um einen mehr als die doppelte Stationszahl.

Die synchronisierende Wirkung erklärt sich nun folgendermaßen. In der synchronisierenden Station wird für den Beginn der Hebel *e* mit der Hand niedergedrückt. Infolgedessen öffnet sich der Hahn *d* und ein Quecksilbertröpfchen tritt in das Rohr ein. Nach Aufhören des Druckes schließt die entgegenwirkende Feder  $e^1$  den Hahn *d* wieder. Der Tropfen fließt nun durch die Röhre *g* und bringt den Stift *l* mit  $h^1$  in Verbindung.

In der synchronisierenden Station wird hierdurch der Stromkreis  $h^1, R, C, b, f, l$  geschlossen. Die Batterie  $R$  bringt die Induktionsrolle  $C$  und den Elektromagneten  $f$  zur Wirkung. Dieser Elektromagnet zieht seinen Anker, welcher mit dem Hebel  $e$  verbunden ist, an, der Hahn  $d$  wird neuerdings geöffnet und ein zweiter Tropfen Quecksilber geht durch die Röhre  $g$ .

Durch die Induktionsrolle werden nun über  $D$  Funken zum Überspringen gebracht, wodurch die Antenne  $A$  eine Reihe elektrischer Wellen entsendet. Diese Wellen werden von der Antenne  $B$  der drei anderen Stationen aufgefangen und machen den Kohärer  $G$  leitend. Es wird sohin in jeder Station der Stromkreis  $G, L, K, M, L^1, w, w, w, G$  geschlossen und das Relais  $T$  gelangt zur Anziehung, wodurch sich wieder der Stromkreis  $T, x, f, x^1, e, s, p, x_2, h^1, R, T$  schließt. Der Elektromagnet  $f$  wird erregt,  $e$  angezogen und der Hahn  $d$  wird in jeder Station gleichzeitig und für gleich lange Zeit geöffnet. Die Zeitdauer, während welcher der Hahn  $d$  geöffnet bleibt, wird durch die Zeitdauer des Kontaktes zwischen dem Tropfen und  $g$  in der synchronisierenden Station bestimmt.

Es wird sohin in allen vier Stationen gleichzeitig ein Tröpfchen Quecksilber in den oberen Teil der geneigten Röhre eintreten.

Um nun den Synchronismus aufrecht zu erhalten und die unvermeidlichen Volumsdifferenzen der vier gleichzeitigen Quecksilbertröpfchen unschädlich zu machen, wird der Kontakt  $l$  in den drei zu synchronisierenden Stationen nicht aus einem einfachen Stift hergestellt, sondern in Form eines kleinen Bändchens  $l^1$  ausgebildet. Hierdurch wird die leitende Verbindung zwischen  $l$  und  $h^1$  verlängert, indem sich der Kontakt bereits früher schließt, ehe der Tropfen den Punkt  $l$  erreicht hat und sich erst später, als derselbe den Punkt  $l$  verläßt, unterbricht.

Sei nun der durch die elektrischen Wellen in der beschriebenen Weise ausgelöste Tropfen dem Tropfen, welcher in der synchronisierenden Station in die Röhre einfällt, vorgeeilt oder hinter demselben zurückgeblieben, so wird ein Stromschluß über den Elektromagneten  $f$  aus dem Grunde nicht stattfinden können, weil der Kohärer  $g$  entweder noch nicht angeregt ist oder derselbe bereits dekohäriert wurde, was jedoch durch die Verlängerung des Kontaktschlusses hintangehalten wird. Anderenteils kann in allen drei synchro-

nisierten Stationen nach dem ersten Niederdrücken des Hebels  $e$  ein Stromschluß über den Elektromagnet  $f$  nur dann stattfinden, wenn die Verbindung zwischen  $l$  und  $h^1$  durch einen Quecksilbertropfen hergestellt ist, weil sich bei diesem Niederdrücken die Feder  $s$  von dem Hebel  $e$  abhebt und die Lage  $s^1$  einnimmt, wodurch der zweite Weg über  $x^1$ ,  $e$ ,  $s$ ,  $x^2$ ,  $h^1$  unterbrochen wird.

Der Synchronismus wird nun in jeder Station dadurch erreicht, daß jeder Tropfen Quecksilber die Verbindung zwischen  $h$  und dem gleichen Stifte jeder Station zu gleichem Zeitpunkte herstellt.

Um die Wirkungsweise zu erklären, sei angenommen, daß die synchronisierende Station Nr. 1 eine Nachricht an die Station Nr. 2 übermitteln will. Zu diesem Zwecke wird die Taste  $H$  niedergedrückt. Der Stromkreis  $H$ ,  $k^1$ ,  $h^1$ ,  $R$ ,  $C$ ,  $b$ ,  $H$  wird, weil die Achsen der Tasten  $H$ ,  $H^1$ ,  $H^2$  in Wirklichkeit mit dem Punkte  $b$  (hier nicht gezeichnet) verbunden sind, in dem Momente geschlossen, in welchem der Quecksilbertropfen  $k^1$  mit  $h$  leitend verbindet. In demselben Momente findet von der Antenne  $A$  aus eine Emission elektrischer Wellen statt, welche von der Antenne  $B$  der drei anderen Stationen aufgenommen werden, den Kohärer  $g$  derselben leitend machen, wodurch das Relais  $T$  in allen drei Stationen anspricht. Durch die für jede Station abgeänderte Verbindung der Stifte  $k$ ,  $k^1$ ,  $k^2$ ,  $k^3$  mit dem Empfangsapparate  $o$ , wird speziell für die zweite Station der Stromkreis  $T$ ,  $o$ ,  $k^1$ ,  $h^1$ ,  $R$ ,  $T$  geschlossen und der Empfangsapparat zum Ansprechen gebracht. (Es ist sich für diesen Fall zu denken, daß Stift  $k^1$  mit  $o$  und Stift  $k$  mit  $p$  in Verbindung steht.) In den Stationen drei und vier wird das Galvanometer  $p_2$  in dem Momente zum Ausschlage gebracht, in welchen der Tropfen den Stift  $k^1$  mit  $h$  verbindet, und zeigt dies den Stationen an, daß Station 1 mit Station 2 spricht und daß eine Störung dieser Korrespondenz durch Niederdrücken der für die Korrespondenz mit diesen Stationen bestimmten Taster nicht stattfinden darf.

Dies verhindert jedoch die gegenseitige Nachrichtenvermittlung zwischen Station Nr. 3 und 4 nicht, indem durch entsprechende Verbindung der Stifte  $k$  der Quecksilbertropfen den erforderlichen Stromschluß zu einer späteren Zeit herstellt und die Zwischenpause sohin ausgenützt werden kann. Es kann zum Beispiel der siebente Stift  $k$  für das Sprechen von 3 nach 4 und der achte Stift für das Sprechen von 4 nach 3 ausgenützt werden.

Leider fehlt für diese sicher sehr sinnreiche Einrichtung eine Reihe von Detailerkklärungen, indem nicht klargelegt erscheint, in welcher Weise die Zeichengebung erfolgt. Da die Zeitdauer des Kontaktschlusses durch die Quecksilbertropfchen stets eine gleiche ist, können auf dem Morseapparat, gleichgiltig, ob der Taster längere oder kürzere Zeit niedergedrückt wird, nur Punkte erscheinen, so daß eine Niederschrift aus Punkten und Strichen, wie selbe die Morschrift kennzeichnet, nicht stattfinden kann. Allerdings läßt sich durch Aneinanderreihen mehrerer Punkte zu einem Zeichen annähernd ein ähnliches Alphabet zusammenstellen, allein die Deutlichkeit der Schrift erleidet hierunter eine wesentliche Einbuße.

Übertragungseinrichtung für die Wellentelegraphie von Ph. H. Cole und Bertram Cohen. Durch Einrichtung von Relaisstationen soll die Telegraphie mit elektrischen Wellen auf jede beliebige Entfernung ermöglicht werden. Die einlangenden Zeichen werden hierbei in der Weise weitergeleitet, daß ein Relais einen Lokalstromkreis schließt, in welchen eine Induktionsrolle eingeschaltet ist. Die durch Vermittelung dieser Rolle erzeugten elektrischen Wellen, die eine größere Intensität haben als die einlangenden, pflanzen sich zur nächsten Station fort u. s. w. Da sich jedoch die elektrischen Wellen gleichmäßig im Raume verbreiten, muß eine Rückwirkung derselben auf die sendende Station verhindert werden.

Zu diesem Zwecke gelangen in jeder Station zwei vertikale Antennen zur Anwendung, welche gegen die Rückwirkung der von der Folgestation ausgehenden Wellen durch einen Halbzylinder aus Metall, der die Antenne auch oberhalb der Spitze überdeckt, geschützt ist. Es können sonach die Wellen immer nur nach einer Richtung hin ausgesendet werden. Die Fig. 199 und 200 zeigen zwei verschiedene Ausführungsformen dieser Einrichtung und bezeichnen hier  $a a^1$  die Antennen,  $b b^1$  die Schutzschirme,  $y$  die Überdeckung der Antenne.

Die Detaileinrichtung der Gesamtanordnung ist aus Fig. 201 zu entnehmen.  $c$  ist die Induktionsrolle mit der Funkenstrecke  $d$  zum Entsenden der Wellen,  $e e^1$  sind die beiden Kohärer, welche mit den Relais  $h h^1$  in Verbindung stehen, die durch die Batterie  $w$  betätigt werden.  $l$  und  $l^1$  sind zwei Zusatzrelais und  $f f^1$  die Klopfers zum Dekohärieren der Kohärer,  $s$  eine Batterie zur Betätigung der Zusatzrelais,  $t$  ein Kondensator und  $v$  die Erde.

Die Funktion erklärt sich nun folgendermaßen: Gelangen elektrische Wellen von der rechts zunächst gelegenen Station zur Antenne  $a$ , so nehmen dieselben über  $m$ , Kontakt  $o$  den Weg zum Kohärer  $e$ , erregen denselben und gelangen bei  $v$  zur Erde. Ein Nebenschluß findet sich gleichzeitig über das Relais  $h$ . Letzteres spricht an, indem der Kohärer leitend geworden, den Stromkreis der Batterie  $w$  schließt. Der Kontakt zwischen  $k$  und  $i$  wird hergestellt, und nun gelangt auch die Batterie  $s$  zur Wirkung, welche das Relais  $l^1$  betätigt.

Fig. 199.

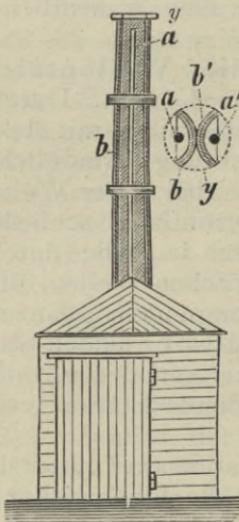
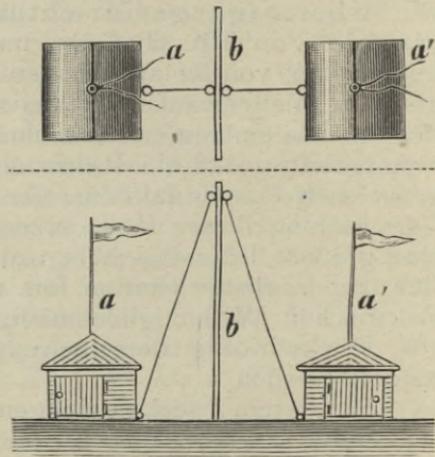


Fig. 200.

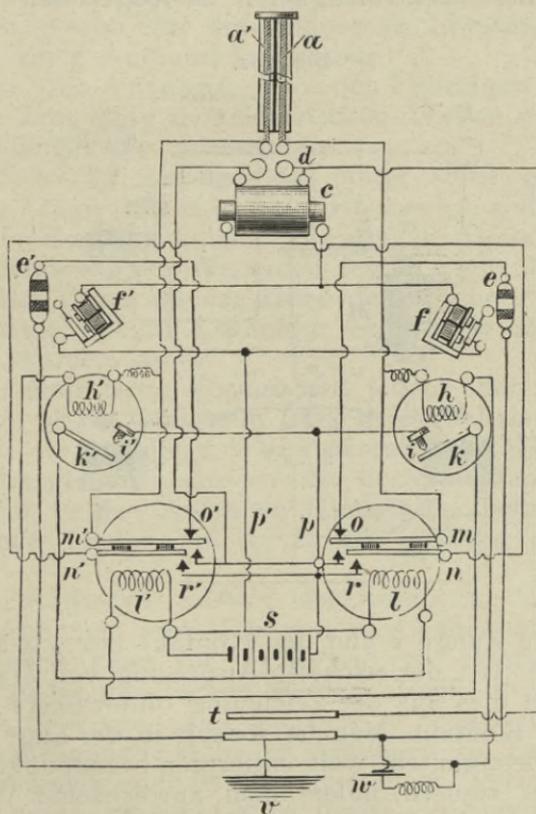


Hierdurch gelangen die beiden Hebel  $m^1$  und  $n^1$  in Kontakt mit  $p^1$  und  $r^1$ , gleichzeitig hiermit bei  $o^1$  die Verbindung zum Kohärer  $e$  unterbrechend. Durch den Schluß zwischen  $m^1$  und  $p^1$  wird die Antenne  $a^1$  mit der linken Kugel der Funkenstrecke  $d$  verbunden, und geht gleichzeitig auch der Strom der Batterie  $s$  über  $r^1$   $n^1$  die Primärwicklung des Induktoriums  $c$ ,  $f$  und  $f^1$  zu  $s$  zurück. Die hierdurch erzeugten elektrischen Wellen werden daher durch  $a^1$  zur nächsten Station weiter geleitet.

Methode zur Dirigierung eines Steuerruders mittels elektrischer Wellen von Axel Orling und G. Georg Braunerhjelm. Die Erfolge der Wellentelegraphie ließen bald die Möglichkeit erkennen, die elektrischen Wellen

zur Dirigierung von Mechanismen auf Distanz verwerten zu können. Eine dieser Anordnungen zur Steuerung von Schiffen, beispielsweise zur Lancierung von Torpedobooten, soll hier vorgeführt werden. Wird der Kohärer *C* (Fig. 202) von elektrischen Wellen getroffen, so schließt sich der Stromkreis der Batterie *B*,

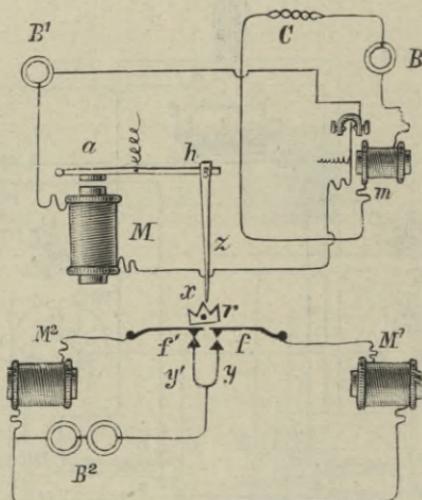
Fig. 201.



der Anker des Elektromagneten *m* wird angezogen und schließt hierdurch den Stromkreis der Batterie *B*<sup>1</sup>. Sobald die Emission der Wellen aufhört, werden beide Stromkreise unterbrochen. Durch Schluß des Stromkreises von *B*<sup>1</sup> wird der um *a* drehbare Anker des Elektromagneten *M* angezogen, wodurch sich die mit dem Hebel *h* verbundene Zunge *z* nach abwärts bewegt und den oben gezahnten, um *x* drehbaren Hebel *r* je

nach der jeweiligen Lage desselben entweder an die Feder  $f$  oder an die Feder  $f^1$  andrückt und so entweder den Kontakt  $y$  oder  $y^1$  schließt. Es gelangt hierdurch die kräftige Batterie  $B^2$  entweder über den Elektromagneten  $M^1$  oder  $M^2$  zum Schlusse, wobei einer dieser Magnete den als Anker ausgebildeten Handgriff des Steuers anzieht und so letzteres in die gewünschte Lage bringt. (Dieser Anker ist hier nicht dargestellt.) Sobald der Anker des Elektromagneten  $M$  losgerissen wird, hebt

Fig. 202.



sich auch die Zunge  $z$  und der Kontakt bei  $y$  oder  $y^1$  wird unterbrochen. Bei der nächsten Anziehung von  $h$  schließt die Zunge  $z$ , wie dies aus der Zeichnung ohneweiters ersichtlich, den anderen Kontakt. Man ist sonach in der Lage, das Schiff von einem bestimmten, weit entfernten Standpunkte im Zickzackkurse zu steuern, indem man abwechselnd Wellen entsendet und unterbricht.

## I. Erklärung der Wirkungsweise der Antenne.

Die vielseitigen Beobachtungen zeigen, daß der Antenne sowohl für das Senden als auch das Empfangen von Nachrichten bei der drahtlosen Telegraphie eine wichtige Rolle zufällt und daß ohne selbe die Entfernungen, auf welche

Nachrichten hin vermittelt werden können, nur sehr geringe sind. Ein elektrischer Erreger, welche Kraft derselbe auch haben mag, ist ohne Antenne nicht imstande, einen Kohärer auf nennenswerte Entfernungen hin zum Ansprechen zu bringen. Ebensovienig weittragend ist die Wirkung des mit einer Antenne versehenen Erregers, wenn der Empfänger mit keiner Antenne in Verbindung steht. Es ist sohin, soll eine Übertragung durch Hertz'sche Wellen auf größere Entfernungen hin erfolgen, sowohl für den Sender als Empfänger das Vorhandensein einer Antenne Bedingung.

Länge der Antenne. Nach den bisherigen Erfahrungen scheint die Tragweite der elektrischen Wellen um so größer zu sein, je länger die Antenne ist.

Marconi hat gezeigt, daß unter sonst gleichen Umständen die Tragweite am größten ist, wenn sowohl die Sende- als auch die Empfangsantenne die gleiche Höhe haben.

Die Tragweite der Wellen ist ferner nach Marconi proportional dem Quadrate der Höhe der Antenne. Es ist sohin  $D = kH^2$  wobei  $k$  eine Konstante ist, welche mit 44·44 angenommen werden kann.

Diese empirische Formel hat jedoch nur bis auf Entfernung von 40 *km* Giltigkeit. Für größere Entfernungen erweisen sich die auf diese Weise berechneten Höhen als viel zu klein. Desgleichen müssen die Entfernungen, wenn sich zwischen den beiden Antennen Hindernisse befinden, gegenüber den berechneten um ein Drittel geringer angenommen werden.

Nach Blondel müssen die Antennen, um auf 3 *km* sprechen zu können, eine Höhe von 12 *m* haben. Mit einer 18 *m* hohen Antenne kann auf 9·5 *km* und mit einer solchen von 24 *m* auf 13·5 *km* gesprochen werden. Nach diesen Angaben ist der Faktor  $h$  von 44·44 auf 24·5 zu reduzieren.

Auch die gleiche Höhe der Antennen soll nach Blondel auf die Tragweite der Wellen nur einen geringen Einfluß ausüben. Diese Tragweite wird durch die Summe der Höhe der beiden Antennen bestimmt. Man kann demnach die Höhen der beiden Antennen abändern, ohne die Tragweite der Wellen zu verringern, vorausgesetzt, daß diese Höhen nicht unter eine gewisse Grenze  $\lambda$  heruntergehen, welche zirka 5—10 *m* beträgt. Es ergeben sich sonach folgende Beziehungen  $hs + he = 2H$ ,  $hs > \lambda < he$  und  $D = kH^2$ .

Richtung der Antenne. Bei den meisten Anordnungen für die drahtlose Telegraphie werden die Antennen

senkrecht aufgestellt. Man nahm an, daß dies eine Grundbedingung für das gute Funktionieren und die Erreichung einer großen Tragweite sei. Nach den Untersuchungen von Tissot scheint jedoch diese Senkrechtstellung nicht unerläßlich zu sein und genügt es, wenn selbe senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung der Wellen stehen.

Eine Neigung der Antenne gegen die Vertikale hat, wie Tissot bereits früher zu konstatieren in der Lage war, wenn dieselbe  $40^{\circ}$  nicht übersteigt, keinen Einfluß auf die Tragweite der Wellen. Bei einer Neigung einer Antenne ist es jedoch von Vorteil, wenn die zweite Antenne parallel zur ersten aufgestellt wird.

Verbindung der Antenne mit der Erde. Die Verbindung der Antenne mit der Erde soll die Tragweite der Signale erheblich vergrößern. Es wurde diese Tatsache fast allgemein beobachtet. Nach den Versuchen von Braun, welche, wie noch gezeigt werden soll, ein günstiges Resultat ergeben haben, ist diese Erdverbindung nicht unerläßlich und unter Umständen sogar indirekt schädlich, indem sie zwar die Tragweite der Wellen nicht beeinträchtigt, aber Störungen in benachbarten Telephonkreisen hervorrufen kann. Mit Ausnahme Brauns wird jedoch die Erdverbindung allgemein als nützlich und notwendig anerkannt.

Tissot gelangte auf Grund seiner Versuche zur Überzeugung, daß die Erdverbindung eine sehr gute, wenig Widerstand bietende sein und eine sehr geringe, vernachlässigbare Selbstinduktion besitzen müsse.

Versuche von Lecarme, welcher von einem Luftballon aus telegraphierte und hierbei einer Erdverbindung entbehren mußte, ergaben, daß eine Nachrichtenvermittlung über  $8\text{ km}$  unmöglich war, während mit Erdverbindung nachweisbar mehr als die 30fache Entfernung erreicht wurde.

Isolierung der Antenne. Bei der drahtlosen Telegraphie nach dem Systeme von Marconi ist eine sehr sorgfältige Isolierung der Antenne von ihren Trägern unbedingt erforderlich und wird hierbei empfohlen, die Zuleitungsdrähte ihrer ganzen Länge nach mit einer isolierenden Umhüllung, aus Kautschuk oder sonst einem guten Isolationsmateriale, zu versehen. Wird die Antenne bloß zum Auffangen, aber nicht zum Senden verwendet, so kann diese Isolierung unterbleiben.

Bei den Systemen von Slaby & Braun ist diese Isolierung jedoch nicht erforderlich und konnten speziell für das

erstere System bereits bestehende Blitzableiter als Antennen für den Sender verwendet werden.

Natur, Form und Kapazität der Antenne. Nach den bisherigen Erfahrungen spielt das Materiale, aus welchem der Leiter erzeugt wurde, ebenso wie die Form desselben nur eine sehr untergeordnete Rolle und wird daher durch selbe die Tragweite der elektrischen Wellen nur in geringfügiger Weise beeinflußt. Auch der Querschnitt des Leiters kommt hier kaum in Betracht und konnte in Bezug auf die Tragweite zwischen Antennen aus  $0.4\text{ mm}$  Draht und solchen von mehreren Quadratcentimetern Querschnitt kein Unterschied beobachtet werden. Ebenso scheint die Kapazität derselben wenig Einfluß auszuüben, weshalb die Ausrüstung der Sender beziehungsweise Empfänger mit Platten oder Kugeln keinen Wert hat. Nichtsdestoweniger empfiehlt Tissot für die Übertragung auf große Entfernungen, die Selbstinduktion der Antenne herabzudrücken, hingegen die Kapazität derselben zu vergrößern.

Die wichtigsten Elemente für die Tragweite der Antennen scheinen demnach bloß die Höhe und die gegenseitige parallele Lage derselben zu sein, wohingegen bezüglich der Wirkungsweise der Erdverbindung gestützt auf die von Braun erzielten Ergebnisse die Anschauungen noch weit differieren.

Verschiedene Erklärungen über die Wirkungsweise der Antennen. Die erste Annahme ging dahin, daß die Übertragung durch freie Wellen, die den Luftraum durchdringen, von einer Antenne zur anderen vor sich geht. Diese Erklärung ist nicht ausreichend, da unter dieser Voraussetzung die Notwendigkeit der Antenne ebensowenig eine Begründung findet, wie die Tatsache, daß selbe nicht direkt durch den Oszillator, beziehungsweise Empfänger ersetzt werden kann.

Nach einer zweiten Erklärung beruht die große Tragweite der Antenne auf der Verbindung derselben mit der Erde, indem hierdurch die Wellen an der Erdoberfläche konzentriert und längs derselben von einer Stelle zur anderen verpflanzt werden. Wiewohl nun einige Experimente von Voisenat und Tissot diese Erklärung annehmbar erscheinen lassen, und namentlich der Umstand dafür spricht, daß die Übertragung über Wasser auf viel größere Entfernung möglich ist als über Land, so läßt sich hierdurch der Einfluß der Höhe

der Antenne und die Bedingung, selbe möglichst senkrecht und zueinander parallel stellen, nicht aufklären.

Übrigens wird diese Anschauung durch die Versuche von Braun, welcher auf sehr bedeutende Entfernungen (65 *km*) ohne Erdleitungen telegraphierte, am besten widerlegt.

Blochmann schreibt den äquipotentiellen Flächen der Atmosphäre die hervorragendste Rolle bei der Übertragung der elektrischen Wellen von einer Antenne zur anderen zu. Nach demselben soll die Atmosphäre jene Rolle übernehmen, welche nach der vorhergehenden Erklärung der Erde zufällt. Nach dieser Anschauung läßt sich wohl der Einfluß die Höhe der Antennen und deren gegenseitiger Lage, nicht aber der Einfluß der Erdverbindung erklären.

Della Ricca erklärt wieder die leichtere Übertragung der Wellen über Wasserflächen durch eine Reflexion der Hertz'schen Wellen durch die Oberfläche des Wassers, welche durch die vorhergehende Polarisation der Wellen in der Antenne noch viel kräftiger wird. Auch hier läßt sich der Einfluß der Höhen der Antennen, nicht aber jener der Erdverbindungen erklären.

Durch eine Kombination der beiden Theorien, wobei sowohl der Luft als der Erdverbindung eine führende Rolle für die Weiterleitung der Wellen zuerkannt wird, ließe sich jedoch für beide Erscheinungen eine Erklärung finden.

In jedem Falle müßte aber die Weiterleitung der elektrischen Wellen durch den jeweiligen elektrischen Zustand der Atmosphäre, wenn letztere als Vermittler angenommen wird, beeinflußt werden, wohingegen die Erfahrung lehrt, daß dieser Einfluß nur ein sehr geringer ist.

Broca zieht den Energiefluß längs des Drahtes in den Kreis seiner Betrachtungen. Er geht von der Tatsache aus, daß der elektrische Strom durch den Leiter fließt, die elektrische Kraft senkrecht zu dem Leiter und die magnetische Kraft in konzentrischen Kreisen um denselben verläuft, sohin der nach der Poynting'schen Theorie berechenbare Energiefluß senkrecht zu diesen beiden Kräften, also parallel zur Stromrichtung, erfolgt. Dieses vollzieht sich bis zum freien Ende des Leiters, woselbst eine Störung oder Perturbation erfolgen muß. Es wird daher am Ende des Leiters die elektrische Kraft senkrecht zur oberen Fläche des Leiters verlaufen, die magnetische Kraft ist an dieser Stelle unbestimmt, und der Energiefluß wird sich daher senkrecht zur elektrischen Kraft, d. i. in einer horizontalen Ebene, ausbreiten.

Selbst wenn die Annahme richtig wäre, daß am freien Ende der Antenne derartige Störungen entstehen, stellt sich dem doch die Tatsache entgegen, daß die Form der Antenne auf die Fortpflanzung der Wellen ohne Einfluß bleibt, wohingegen bei einer abgebogenen Antenne dieser Anschauung entsprechend der Energiefluß eine andere Richtung als die Horizontale haben müßte.

Blondel geht bei seiner Erklärung der Wirkungsweise gleichfalls von den Kraftlinien aus. Er stellt die Hypothese auf, daß die Kapazität der Antenne durch die Verbindung mit der Erde die Länge der elektrischen Wellen bestimmt. Die Wirkung derselben ist sonach eine doppelte.

1. Sie regelt die Intensität der Erschütterung oder elektrischen Störung, wie solche durch den Oszillator hervorgeufen wird, indem sie durch ihre Länge, die Masse des Äthers, welcher zur Mitwirkung herangezogen wird, vergrößert.

Die elektrischen Kraftlinien breiten sich mit der gleichen Geschwindigkeit entlang des Leiters und in der Atmosphäre aus. Sie stehen mit dem Leiter, von demselben strahlenförmig auslaufend, an einem Ende stets in Berührung, wobei selbe, infolge des stetigen Oszillierens des elektrischen Stromes, die Form von halbkreisförmigen Flächen annehmen, die, von diversen Punkten der Antenne ausgehend, den Boden strahlenförmig berühren. Bei jeder Entladung bringen selbe den umgebenden Äther in eine wirbelartige Bewegung, wie die pulsierenden Halbkugelflächen von Bjerkneß. Je höher die Antenne ist, desto größer ist die pulsierende sphärische Fläche, desto größer das Volumen des aus dem elektrischen Gleichgewichte gebrachten Äthers und desto größer auch die Entfernung, auf welche diese Strömung des Äthers hinwirkt.

2. Die Antenne dirigiert die Wirkung der durch diese Störungen erzeugten elektrischen Wellen in der Weise, daß sie deren magnetische Kraftlinien in jene Richtung lenkt, in welcher sie auf den Kohärer in der günstigen Weise einwirken. Dementsprechend werden sich diese Kraftlinien, von der Antenne in konzentrierten Kreisen ausgehend, horizontal verbreiten.

Die Erde als leitende Oberfläche betrachtet, übt den Einfluß, daß sie die magnetischen Kraftlinien verdichtet, so daß selbe in der Nachbarschaft des Bodens viel konzentrierter auftreten werden.

Je höher daher die Empfangsantenne ist, von einer desto größeren Anzahl von Kraftlinien wird sie durchschnitten, und da dieselben in dieser Antenne elektrische Schwingungen hervorrufen, wird die Intensität derselben und die Einwirkung auf den Kohärer eine umso größere. Da sich nach der vorhergehenden Erklärung die Kraftlinien in der Nähe des Bodens verdichten, muß die Einwirkung dieser Kraftlinien auf die Empfangsantenne, wenn man selbe vom Boden loslöst, bei sonst gleicher Länge derselben eine viel geringere sein.

Nach dieser Erklärung von Blondel müßte die Fernwirkung der Antenne im arithmetischen Verhältnisse zur Höhe der Antenne zunehmen, was mit den von Tissot nach eingehenden sorgfältigen Untersuchungen gewonnenen Ergebnissen im Widerspruche steht. Nach diesen Versuchen ergaben sich folgende Resultate:

Höhe der Antenne bei jedem Posten	Übertragungsdistanz in Kilometer	Erreichte Entfernung in Kilometer pro Meter der Antenne
12	1·8	0·150
20	4·5	0·225
25	7·5	0·300
30	13·5	0·450
35	22·0	0·620
45	40·0	0·880

Die Richtigkeit dieser etwas gekünstelten Erklärung der Wirksamkeit der Erdverbindung wird außerdem durch die Versuche von Braun, welcher ohne Erdverbindung mit einer Masthöhe von nur 31 *m* auf über 60 *km* mit Sicherheit zu telegraphieren vermochte, widerlegt, indem hier der Einfluß der Erdleitung überhaupt nicht zur Geltung gelangen konnte.

Die einfachste und plausibelste Erklärung für die Wirkungsweise der geerdeten Antenne stützt sich wohl auf die von Slaby nachgewiesene Tatsache, daß durch die Erdung der Antenne ein Knotenpunkt für die in derselben erregten elektrischen Oszillationen geschaffen und die Länge der Wellen sohin durch die Höhe der Antenne bestimmt wird, welche in diesem Falle genau das Vierfache der Antennenlänge beträgt.

Nun ist bekannt, daß lange Wellen sich leichter beugen und der Absorption durch zwischenliegende Hindernisse

weniger unterliegen, als kurze Wellen und infolge dieser Eigenschaften umso weittragender sein müssen, je größer deren Länge ist. Die Fortpflanzung der Wellen erfolgt hierbei in der auf Seite 145 erklärten Weise.

Es stehen diese Anschauungen mit den Ergebnissen der Versuche Brauns, welcher ohne Erde arbeitet, keineswegs im Widerspruche, indem derselbe die Wellenlänge durch richtige Bemessung der Kapazität und der Induktanz des Stromkreises den jeweiligen Verhältnissen genauestens anzupassen vermag.

## K. Schlußbemerkungen.

So aufsehenerregend die anfänglichen Versuche Marconis auch waren, so wenig versprechend schienen sich dieselben für die praktische Verwertung zu gestalten. Schon die geringsten Hindernisse stellten die Vermittelung von Nachrichten in Frage und waren auch die anfänglich erreichten Entfernungen so geringe, daß eine weitverbreitete Anwendung dieser Art der drahtlosen Telegraphie im vorhinein ausgeschlossen schien.

Allein es gelang den nimmer rastenden Bemühungen Marconis und seiner verdienten Mitarbeiter, die zur Verwendung gelangenden Apparate und die sonstigen Einrichtungen so zu verbessern, daß, wie sich dies aus der später folgenden Tabelle ergibt, die Entfernungen sich stetig vergrößerten und hierbei auch die Nachrichtenvermittlung zu sehends an Sicherheit gewann.

Eine der schwierigsten Fragen, nämlich die Geheimhaltung der Nachrichten in der Weise, daß die von einer Stelle entsendeten Zeichen nur von einer anderen bestimmten Stelle aufgenommen werden können, ist nun auch den Bemühungen hervorragender Gelehrter, wie Slaby, Braun und auch Marconi, zu lösen gelungen und sohin das letzte Hindernis für eine allgemeine Verwertung dieser Art von Nachrichtenvermittlung umsomehr beseitigt, als Marconi auf Grund seiner Beobachtungen und Erfahrung die Verbindung zwischen Europa und Amerika binnen sehr kurzer Zeit in Aussicht stellt.

Allerdings lassen sich über Land mittels elektrischer Wellen Mitteilungen dermalen noch nur auf sehr kurze Entfernungen hin verbreiten, aber auch diesbezüglich darf die

Hoffnung auf eine günstige Lösung nicht aufgegeben werden, indem selbst bei beschränkter Tragweite der elektrischen Wellen, wie dies die unter ungünstigen Verhältnissen und mit unzulänglichen Mitteln durchgeführten Versuche von Guarini lehren, durch Zwischenschaltung von Relaisstationen, welche die aufgenommenen Impulse selbsttätig weiter leiten, der erreichbaren Entfernung keine Grenze gesetzt ist.

Die in der kurzen Zeit vom Bekanntwerden dieser Art der Telegraphie bis zum heutigen Tage erzielten Fortschritte sind aus folgender Tabelle zu ersehen:

Versuchsort	Systeme	Erreichte Entfernung in Kilometern	Höhe der Antennen		Produkt ( $p$ ) der Masthöhen	Relative Tragweite $\frac{e}{p} \cdot 10^3$	Bemerkung
Penarth . .	Marconi	14	—	—	—	—	—
Spezia . . .	Marconi	16	30	—	—	—	—
Rongsdorf . .	Slaby	21 I	?	?	—	—	Land abgestimmt
Ile d'Ouessaut	Tissot	22	34	38	1292	58	—
Massena . .	Tissot	35 I	26.5	31	821.5	23	—
Mazzena . .	Tissot	37	25	?	—	—	—
Ile d'Ouessaut	Tissot	42	34	45	1172	28	—
Wimereux . .	Marconi	46	37	37	1365	29	—
Wimereux . .	Marconi	48	37	31	1147	24	—
Nordamerika .	Marconi	57	?	?	—	—	—
Phare de Portzic	Tissot	61	26.5	31	821.5	13	—
Helgoland . .	Braun	63	31	29	900	69	abgestimmt
Dupuy de Lôme	Tissot	72.2	26.5	27	715.5	10.1	—
Ouessaut - Stiff	Tissot	83	34	?	—	—	—
Chelmsford .	Marconi	136	45	45	2025	18	—
Poldhu . . .	Marconi	2495	?	?	—	—	beglaubigt

Trotz dieser bemerkenswerten Fortschritte ist man jedoch noch nicht am Ziele des Erreichbaren angelangt und dürften speziell auf dem Gebiete der elektrischen Kraftübertragung noch große Überraschungen bevorstehen.

Wie Slaby nachzuweisen in der Lage war, liegt die Zukunft der Wellentelegraphie ausschließlich auf dem Gebiete der Erzeugung hoher elektrischer Spannungen. Die bisherigen Leistungen speziell in dieser Beziehung sind jedoch bisher nur bescheidene. Nikola Tesla, welcher im einsamen Felsen-

gebiete seine Forschungen auf dem von ihm angebahnten Gebiete der Erzeugung hoher Spannungen und rascher Wechselzahlen obliegt, soll hierbei zu ganz überraschenden Ergebnissen gelangt sein und ist sohin in erster Linie berufen, einen gewaltigen Umschwung auf diesem Gebiete vorzubereiten.

Andere berufene Forscher dürften auf dem von demselben angebahnten Wege vorwärts schreiten und eröffnet sich somit dem Auge für neue Nutzenwendungen der Elektrizität zum allgemeinen Wohle eine herrliche Perspektive.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

---

## SACHREGISTER.

- A**bsorption, elektrische 119.  
 Abstimmung zweier Stromkreise, gegenseitige 116.  
 Adler, die Methode von 29.  
 Äther, die Rolle des 137.  
 Analogien, hydraulische 81, 85.  
 — mechanische 81.  
 Antenne, Erklärung der Wirkungsweise der 255.  
 — Form der 257.  
 — Isolierung der 256.  
 — Kapazität der 257.  
 — Länge der 255.  
 — Natur der 257.  
 — Richtung der 255.  
 — Verbindung mit der Erde 256.  
 — verschiedene Erklärungen über die Wirkungsweise der 257.  
 Apparate, die verschiedenen zum Aufnehmen der elektrischen Wellen 172.
- B**ell, die Versuche von 19.  
 Bissing, Erklärung der Wirkung der elektromagnetischen Induktionsmethoden 45.  
 Blondel, der regenerierbare Kohärer von 176.  
 — der Wellenanzeiger von 182.  
 Blondlot, der Erreger von 170.  
 — der Resonator von 173.  
 Bose, der Erreger von 171.  
 Branly, der Kohärer von 175.
- Braun, die Hydrotelegraphie von 230.  
 Braun, das System der drahtlosen Wellentelegraphie von 230, 235.  
 Braunerhjelm und Orling, Empfänger der, von 179.  
 — — Methode zur Dirigierung eines Steuerruders mittels elektrischer Wellen 252.  
 Brechungsindex 129.  
 — und Dielektrizitätskonstante, Beziehungen zwischen 133.  
 — — Erklärung der Nichtübereinstimmung 165.
- C**ohen und Cole, Vielfachapparat für drahtlose Telegraphie von 246.  
 — — Übertragungseinrichtung für die Wellentelegraphie von 251.  
 Cole und Cohen, Vielfachapparat für drahtlose Telegraphie von 246.  
 — — Übertragungseinrichtung für die Wellentelegraphie von 251.  
 Crookes, Vorschläge von 72.
- D**ielektrikum, Wirkung des 91.  
 Dielektrizitätskonstante, Bestimmung der 131.  
 — und Brechungsindex, Beziehungen zwischen 133.  
 — — Erklärung der Nichtübereinstimmung 165.  
 Dolbear, die Methode von 51.  
 Ducretet, der Kohärer von 181.

- E**dison, die Methoden von 46, 53.  
 Eigenschaften die, der elektrischen Wellen 160.  
 Einleitung 1.  
 — zur Wellentelegraphie 65.  
 Einrichtung die, von Popoff 74.  
 Einrichtungen, die ersten, zur Wellentelegraphie von Marconi 75.  
 Eisen, Magnetisierung durch oscillatorische Ströme 103.  
 Elektrizitätserzeuger, die 188.  
 Elektronen 137.  
 Empfangsapparat von Renz, Lippold und Schaffer 180.  
 Empfangseinrichtungen die, von Marconi 192.  
 Empfänger der, von Orling und Braunerhjelm 179.  
 Entladung oscillatorische, von Leydenerflaschen 83.  
 — — — Bedingung zur 88.  
 Entstehung elektrischer Oszillationen 80.  
 Erklärung elektrischer Oszillationen 80.  
 — oscillatorischer Ströme 80.  
 Erreger der, von Bose 171.  
 — die verschiedenen Formen der 168.  
 — der, von Lebedew 171.  
 — für Mehrfachtelegraphie 172.  
 — der, von Righi 170.  
 Erzeugung oscillatorischer Ströme 80.  
 — von sekundären elektrischen Schwingungen 96.  
 Evershed, die Methode von 43.
- F**requenz elektrischer Oszillationen, Bestimmung der 94.
- G**uarinis selbsttätiger Wellenübertrager 210.
- H**istorisches 7.  
 Hertz, der Resonator von 172.  
 — der unterbrochene Resonator von 173.  
 — die Versuche von 146.  
 Hughes, die Versuche von 68.  
 Hydrotelegraphie, die, von Braun 230.
- I**nduktanz, Einfluß der, des sekundären Stromkreises 103.  
 — Entstehen der 101.  
 Induktions- und Leitungsmethoden, die verschiedenen 17.  
 Induktionsmethoden, elektromagnetische 24.  
 — — Erklärung der Wirkung nach Bissing 45.  
 — elektrostatische 45.  
 Isolierung der Antenne 256.
- J**ohnston, Leitungsmethoden 18.
- K**itsee, die Methode von 55.  
 Kohärer, der 157.  
 — der regenerierbare, von Blondel 176.  
 — der, von Branly 175.  
 — — von Ducretet 181.  
 — — von Marconi 175.  
 — — von Popoff 174.  
 — — von Tissot 178.  
 — selbstregenerierender, von Tommasina 177.  
 — die Wirkungsweise des 183.
- Kondensatoren, Einfluß des Widerstandes auf die Wirkung, beziehungsweise Entladung der 90.  
 Kondensatoren, Vorgang bei Entladung 93.  
 Konstruktion der Oszillatoren, Bedingungen für die 114.

- L**ebedew, der Erreger von 171.  
 Leitungs- und Induktionsmethoden, die verschiedenen 17.  
 Leitungsmethoden, Johnston, Melhuish, Schwendler 18.  
 Leitungsmethode von Michél 23.  
 — von Rathenau 21.  
 — von Smith 20.  
 Leitungssystem Lindsay 17.  
 — Morse 9.  
 Lindsay, Leitungssystem 17.  
 Linsen, Konzentration elektrischer Strahlen durch 163.  
 Lippold, Renz und Schaffer, Empfangsapparat von 180.  
 Lodge und Muirhead, das System der abgestimmten drahtlosen Telegraphie von 219.  
 Leydenerflaschen, Bedingungen zur oszillatorischen Entladung 88.  
 — Entladung, oszillatorische, von 83.  
 — Vorgang bei Entladung 93.
- M**agnetisierung von Eisen durch oszillatorische Ströme 103.  
 Marconi, Anordnungen für die abgestimmte Wellentelegraphie 198.  
 — die ersten Einrichtungen zur Wellentelegraphie 75.  
 — die Empfangseinrichtungen von 192.  
 — der Kohärer von 175.  
 — die Sendeeinrichtungen von 189.  
 — das System von 189.  
 — die drahtlose Telegraphie vor 1.  
 Medium, das elektromagnetische 120.  
 Mehrfachtelegraphie, Erreger für 172.  
 Melhuish, Leitungsmethoden 18.  
 Methode, die, von Adler, Phelps und Wood 29.  
 — die, von Dolbear 51.  
 — — von Evershed 43.  
 — — von Kitsee 55.
- Methode, die, von Preece 30.  
 — — von Smith 45.  
 — — von Somzee 44.  
 — zur Dirigierung eines Steuerers mittels elektrischer Wellen von Orling und Braunerhjelm 252.  
 — zur Anzeige der gegenseitigen Abstimmung zweier Stromkreise 116.  
 Methoden, die, von Edison 46, 53.  
 Methoden, Induktions-, elektromagnetische 24.  
 — — elektrostatische 45.  
 — zur drahtlosen Telegraphie und Telephonie, die indirekten 56.  
 — die verschiedenen, der drahtlosen Telegraphie 5.  
 Michél, die Methode von 23.  
 Morse, Leitungssystem 9.  
 Muirhead und Lodge, das System der abgestimmten drahtlosen Telegraphie von 219.
- N**atur, die, der elektrischen Wellen 143.
- O**rling und Braunerhjelm, Empfänger, der, von 179.  
 — — Methode zur Dirigierung eines Steuerers mittels elektrischer Wellen 252.
- Oszillationen, elektrische, Bestimmung der Frequenz 94.  
 — — Erklärung und Entstehung 80.  
 — — und Skineffekt, Beziehung zwischen 102.  
 — — elektrische stationäre, im offenen Stromkreise 118.
- Oszillationsdauer der Radiatoren, Bestimmung der 112.  
 Oszillationsperiode, die 106.  
 Oszillator, der, von Blondlot 170.  
 — — von Bose 171.

- Oszillator, der, von Lebedew 171.  
 — für Mehrfachtelegraphie 172.  
 — der, von Righi 170.  
 — — von Sarazin und de la Rive 169.
- Oszillatoren, die verschiedenen Formen der 168.  
 — Bedingungen über die Konstruktion der 114.
- P**helps, die Methode von 29.  
 Popoff, Einrichtung, die, von 73.  
 — der Kohärer von 174.  
 Preece, die Methode von 30.  
 — drahtlose Telephonie nach 39.
- R**adiatoren, elektrische 108.  
 — Bestimmung der Oszillationsdauer der 112
- Radiophonie, die 56.  
 Rathenau, die Methode von 21.  
 Renz, Lippold und Schaffer, Empfangsapparat von 180.  
 Resonanz, elektrische 109.  
 Resonator, der, von Blondlot 173.  
 — — von Hertz 172.  
 — — unterbrochene, von Hertz 173.
- Righi, der Erreger von 170.  
 — der Wellenanzeiger von 182.
- Rive de la und Sarazin, der Oszillator von 169.
- S**arazin & de la Rive, der Oszillator von 169.  
 Schaffer, Renz & Lippold, Empfangsapparat von 180.  
 Schirmwirkung 98, 164.  
 Schwendler, Leitungsmethoden 18.  
 Schwingungen, elektrische, Erzeugung von sekundären 96.  
 Sendeeinrichtungen, die, von Marconi 189.
- Skineffekt 99.  
 — und elektrische Oszillationen, Beziehung zwischen 102.
- Slaby, das System der abgestimmten und mehrfachen Wellentelegraphie von 225.
- Smith, die Methode von 20, 45.  
 Somzee, die Methode von 44.
- Steuerruder, Methode zur Dirigierung eines, mittels elektrischer Wellen, von Orling und Braunerhjelm 252.
- Stevenson, das System von 42.
- Strahlen, elektrische, Konzentration der, durch Linsen 163.
- Stromkreis, sekundärer, Einfluß der Induktanz des 103.  
 — offener, Oszillationen, elektrische, stationäre im 118.
- Stromkreise, Abstimmung zweier, gegenseitige 116.  
 — Methoden zur Anzeige der gegenseitigen Abstimmung 116.
- Ströme, oszillatorische, Erklärung 80.  
 — oszillatorische, Erzeugung 80.  
 — oszillatorische, Magnetisierung von Eisen, durch 103.
- System das, von Marconi 189.  
 — das, von Stevenson 42.
- Systeme, die verschiedenen, der Wellentelegraphie 189.
- T**elegraphie, die drahtlose vor Marconi 1.  
 — drahtlose, die verschiedenen Methoden der 5.  
 — — Methoden, indirecte 56.  
 — — abgestimmte, das System von Lodge und Muirhead 219.  
 — mit dunklen Wärmewellen 64.  
 — drahtlose, Verbesserungen von Wilson 244.  
 — lichtelektrische, von Zickler 59.

- Telephonie, drahtlose, Methoden, indirekte 56.  
 — — nach Preece 39.  
 Tissot, der Kohärer von 178.  
 Tommasina, der selbstregenerierende Kohärer von 177.  
 Trowbridge, Versuche von 26.
- Übertragungseinrichtung** für die Wellentelegraphie von Cole und Cohen 251.
- Versuche**, die, von Hughes 68.  
 — die, von Hertz 146.  
 — von Trowbridge 26.  
 Vielfachapparat für drahtlose Telegraphie von Cohen und Cole 246.  
 Vorgang bei Entladung von Leydenerflaschen 93.  
 — — Kondensatoren 93.  
 Vorschläge von Crookes 72.
- Wärmewellen**, dunkle, Telegraphie mit 64.  
 Wellen, approximative Anzahl in der Sekunde 168.  
 — elektrische, Apparate zum Aufnehmen der 172.  
 — — die Eigenschaften der 160.  
 — — die Natur 143.
- Wellenanzeiger, der einfachste 182.  
 — der, von Blondel 182.  
 — der, von Righi 182.  
 Wellenformen, die verschiedenen 139.  
 Wellentelegraphie, die 65.  
 — die Einleitung 65.  
 — die verschiedenen Systeme der 189.  
 — drahtlose, das System von Braun 230, 235.  
 — die ersten Einrichtungen von Marconi 75.  
 — die abgestimmte, von Marconi 198.  
 — abgestimmte und mehrfache, das System von Slaby 225.  
 Wellenübertrager, selbsttätiger, von Guarini 210.  
 Widerstand, Einfluß auf die Entladung der Kondensatoren 90.  
 — — — Wirkung der Kondensatoren 90.  
 Wilson, drahtlose Telegraphie, Verbesserungen 244.  
 Wirkungsweise, die, des Kohärers 183.  
 Wood, die Methode von 29.
- Zickler**, lichtempfindliche Telegraphie 59.

# Handbuch des Telegraphendienstes der Eisenbahnen.

Von **A. Prash**, Ingenieur.

Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage.

Mit 144 Abbildungen. 14 Bogen. Oktav. Gebdn. 3 K 30 h = 3 Mark.

Der erste Versuch des als tüchtiger Fachmann bekannten und geachteten Fachmannes, ein Werk zu schaffen, welches auch dem nicht technisch gebildeten Eisenbahnbeamten ein Mittel an die Hand gibt, sich, so weit dies zum allgemeinen Verständnis unbedingt erforderlich ist, auch theoretisch in den Telegraphendienst einzuführen, ist als durchaus gelungen zu betrachten, wofür auch die Tatsache Zeugnis gibt, daß eine zweite Auflage erforderlich wurde.

---

## Die Elektrischen Einrichtungen der Eisenbahnen.

Eine Anleitung zum Selbststudium der Telegraphen-, Telephon- und elektrischen Signaleinrichtungen von

**R. Bauer. A. PRASCH. O. Wehr.**

Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage. — Mit 318 Abbildungen.  
29 Bogen. Oktav. Gebunden 6 K 60 h = 6 Mark.

Der Zweck der in der Fachwelt bestens gekannten und geachteten Autoren bei Verfassung der ersten Auflage war, ein Werk zu schaffen, welches die gesamten elektrischen Eisenbahneinrichtungen in ihrer Totalität in einer Weise behandelt, daß es auch dem nicht fachlich gebildeten Leser ermöglicht wird, sich über das Wesen und den Zweck dieser Einrichtungen ein vollkommen klares Bild zu schaffen, und denselben sohin in die Lage versetzt, vorkommenden Falles bei Auftreten von Gebrechen in diesen Einrichtungen mit Verständnis eingreifen und die Behebung derselben veranlassen zu können.

---

A. Hartlebens Verlag in Wien, Pest und Leipzig.

A. HARTLEBENS

# Elektro-technische Bibliothek.

In reich illustrierten Bänden, geheftet à 3 K 30 h = 3 Mark. Eleg. geb.  
à 4 K 40 h = 4 Mark.

Jeder Band ist für sich vollkommen abgeschlossen und einzeln käuflich.

## Inhalt der Sammlung.

- |  |   |
|--|---|
| <p>Bd.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Glaser-De Cew., Die dynamo-elekt. Maschinen. 6. A., bearb. v. Dr. F. Auerbach.</li> <li>2. Eduard Japing. Die elektr. Kraftübertragung. 3. Aufl.</li> <li>3. Urbanitzky, Dr. Das elektr. Licht. 3. A.</li> <li>4. Hauck, Die galvan. Batterien, Akkumulatoren u. Thermoäulen. 4. A.</li> <li>5. Sack, Die Verkehrs-Telegraphie.</li> <li>6. Schwartz, Telephon, Mikrophon und Radiophon. 3. Aufl.</li> <li>7. Japing, Die Elektrolyse, Galvanoplastik u. Reinmetallgewinnung. 2. A.</li> <li>8. Wilke, Die elektrischen Meß- und Präzisions-Instrumente. 2. Aufl.</li> <li>9. Hauck, Die Grundlehren der Elektrizität. 3. Aufl.</li> <li>10. Zech, Elektrisches Formelbuch.</li> <li>11. Urbanitzky, Die elektrischen Beleuchtungs-Anlagen. 3. Aufl.</li> <li>12. Kohlfürst, Die elektrischen Einrichtungen der Eisenbahnen und das Signalwesen.</li> <li>13. Tobler, Die elektrischen Uhren und die Feuerwehr-Telegraphie.</li> <li>14. Canter, Die Haus- und Hotel-Telegraphie. 2. Aufl.</li> <li>15. Waechter, Die Anwendung der Elektrizität für militärische Zwecke.</li> <li>16. Zacharias, Die elektr. Leitungen und ihre Anlage für alle Zwecke der Praxis. 2. Aufl.</li> <li>17. Krämer, Die elektrische Eisenbahn.</li> <li>18. Lewandowski, Die Elektro-Technik in der praktischen Heilkunde.</li> <li>19. Zenger, Die Spannungs-Elektrizität, ihre Gesetze, Wirkungen und technischen Anwendungen.</li> <li>20. May, Die Weltliteratur der Elektrizität und des Magnetismus, 1860—1883.</li> <li>21. Schwartz, Die Motoren der elektr. Maschinen.</li> <li>22. Wallentin, Die Generatoren hochgespannter Elektrizität.</li> <li>23. Tumlitz, Das Potential.</li> <li>24. Zacharias, Die Unterhaltung und Reparatur der elektr. Leitungen.</li> <li>25. Granfeld, Die Mehrfach-Telegraphie auf Einem Drahte.</li> <li>26. Jüllig, Die Kabeltelegraphie.</li> </ol> | <p>Bd.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>27. Fodor, Das Glühlicht, sein Wesen und seine Erfordernisse.</li> <li>28. Albrecht, Gesichte der Elektrizität.</li> <li>29. Urbanitzky, Blitz- und Blitz-Schutzvorrichtungen.</li> <li>30. Schaschl, Die Galvanostegie.</li> <li>31. Wietlisbach, Die Technik des Fernsprechwesens.</li> <li>32. Krüss, Die elektro-technische Photometrie.</li> <li>33. Neumayer, Die Laboratorien d. Elektrotechnik.</li> <li>34. Urbanitzky, Elektrizität u. Magnetismus im Altertum.</li> <li>35. Geßmann, Magnetismus und Hypnotismus.</li> <li>36. Gerland, Die Anwendung der Elektrizität bei registrierenden Apparaten.</li> <li>37. Hoh, Elektrizität und Magnetismus als kosmotelurische Kräfte.</li> <li>38. Auerbach, Die Wirkungsgesetze der dynamo-elektrischen Maschinen.</li> <li>39. Fodor, Materialien für Kostenvoranschläge elektrischer Lichtanlagen.</li> <li>40. Fiedler, Die Zeitlegraphen und die elektrischen Uhren vom praktischen Standpunkte.</li> <li>41. Fodor, Die elektrischen Motoren mit besonderer Berücksichtigung der elektrischen Straßenbahnen.</li> <li>42. Zacharias, Die Glühlampe.</li> <li>43. Fodor, Die elektrischen Verbrauchsmesser.</li> <li>44. Fodor, Die elektrische Schweißung und Lötung.</li> <li>45. Sack, Die elektrischen Akkumulatoren und ihre Verwendung in der Praxis.</li> <li>46. Fodor, Elektrizität direkt aus Kohle.</li> <li>47., 48., 49. u. 50. Peters, Angewandte Elektrochemie. In drei Bänden. I. Band, Die Primär- u. Sekundär-Elemente. II. Band, 1. u. 2. Abt., Anorganische Elektrochemie. III. Band, Organische Elektrochemie.</li> <li>51. u. 52. Stögermayr, Materialistisch-hypothetische Sätze. In zwei Bänden.</li> <li>53., 54., 55. u. 56. Peters, Elektrometallurgie und Galvanotechnik. In 4 Bänden. I. Band, Die Halb- und Leichtmetalle. II. Band, Kupfer. III. Band, Edelmetalle. IV. Band, Zink, Blei, Nickel und Kobalt.</li> </ol> |
|--|---|

Jeder Band ist für sich abgeschlossen und einzeln käuflich.  
Geh. à 3 K 30 h = 3 Mark = Eleg. geb. à 4 K 40 h = 4 Mark.

A. Hartlebens Verlag in Wien, Pest und Leipzig.

# Die Elektrizität im Dienste der Menschheit.

Eine populäre Darstellung  
der  
magnetischen und elektrischen Naturkräfte  
und ihrer  
praktischen Anwendungen.

Nach dem gegenwärtigen Standpunkte der Wissenschaft bearbeitet  
von

**Dr. Alfred Ritter von Urbanitzky.**

Mit 1000 Abbildungen.

**Zweite, vollständig neu bearbeitete Auflage.**

Vollständig in Original-Prachtband 18 K = 15 M.

Die Bedeutung, welche die Elektrotechnik in fast allen Zweigen menschlichen Schaffens erlangen hat, macht es erklärlich, daß man überall, wohin nur überhaupt menschliche Kultur gedungen ist, darnach strebt, sich mit den hervorragendsten Errungenschaften der modernen Elektrotechnik bekannt zu machen. Obwohl nun gute Fachzeitschriften bereits zu Gebote standen, machte sich doch bald der Wunsch nach einem zwar umfassenden, aber auch jedem Gebildeten verständlichen Werke geltend. Diese Aufgabe hat als Erster der Verfasser der **Elektrizität im Dienste der Menschheit** gelöst, und wie die allgemein günstige Aufnahme bewies, mit vollem Erfolge. Dieser Erfolg einerseits und andererseits die raschen Fortschritte, welche auf allen Gebieten der modernen Elektrotechnik seither gemacht worden sind, veranlaßten die Herstellung der nunmehr vollständig vorliegenden zweiten, vollkommen neu bearbeiteten Auflage. Wie durchgreifend diese Neubearbeitung erfolgt ist, dürfte schon zu erkennen sein, wenn wir von ganz neu hinzugekommenen Kapiteln, größeren und kleineren Abschnitten nur folgende beispielsweise erwähnen: Über die Natur der Magnete, die Magnetisierungskurve, den magnetischen Kreisprozeß, Hysteresis, über Selbstinduktion, die Hertzschen Versuche, über die Wirkung der elektrischen Ströme auf Menschen, Tiere und Pflanzen, über den Drehstrom, Akkumulatoren und Transformatoren, Leitungsmaterialien und Leitungsbau, Ausbeutung der Naturkräfte und über Elektrizitätswerke, das Schweißen, Löten und Heizen, sowie die Aluminiumgewinnung, über den elektrischen Bahn- und Schiffsbetrieb, über elektrische Hebewerke und Ventilatoren, über Telephonzentralen, Akkumulatoren- und Maschinenbetrieb in Telegraphenämtern u. s. w. u. s. w. Es ist selbstverständlich, daß außerdem auch sämtliche übrigen Kapitel vollständig dem gegenwärtigen Stande der Elektrotechnik entsprechend umgearbeitet worden sind. Ohne den wissenschaftlichen Charakter aufzugeben, wurde jedoch eine jedem Gebildeten verständliche Darstellung gewählt und dieselbe durch sorgfältig ausgewählte Abbildungen und möglichst einfach gehaltene schematische Darstellungen unterstützt. Der Inhalt des gesamten Werkes zerfällt zunächst in die drei Hauptabteilungen: **Magnetismus und Elektrizität, Erzeugung, Umwandlung und Leitung elektrischer Ströme und die praktischen Anwendungen der Elektrizität.** Die erste Hauptabteilung bringt als Einleitung eine geschichtliche Darstellung der Forschungen über Magnetismus und Elektrizität und hieran reihen sich die magnetischen und elektrischen Grunderscheinungen; auch die atmosphärische Elektrizität, der Erdstrom und das Nordlicht finden Erwähnung. Es folgen hierauf die Abschnitte über galvanische Elektrizität, Induktion und Elektrizität im Tier- und Pflanzenreiche, womit die I. Hauptabteilung, welche die für das Verständnis der folgenden Abteilungen notwendige Grundlage darstellt, abschließt. In der II. Hauptabteilung wird zunächst die Erzeugung der elektrischen Ströme durch Maschinen, galvanische Elemente und Thermosäulen dargestellt, dann werden die Umwandlungs- und Regulierungsmethoden durch Akkumulatoren, Transformatoren, Ausgleichsmaschinen und Regulatoren erläutert und schließlich finden die Leitungen, welchen gegenwärtig infolge der raschen Ausbreitung der Telephonie und der Starkstromtechnik hohe Bedeutung zukommt, eine entsprechend ausführliche Schilderung. Die III. Hauptabteilung umfaßt sämtliche Anwendungen der elektrischen Ströme und ist in die Unterabteilungen: 1. Das elektrische Licht, 2. Galvanoplastik, Elektrochemie und Elektrometallurgie, 3. Die elektrische Kraftübertragung, 4. Die Telephonie, und 5. Telegraphie und Signalwesen abgeteilt.

A. Hartlebens Verlag in Wien, Pest und Leipzig.

# PHYSIK.

Eine gemeinverständliche Darstellung  
der physikalischen Erscheinungen und  
ihrer Beziehungen zum praktischen  
Leben.

Von

**Dr. Alfred Ritter von Urbanitzky.**

Mit 564 Abbildungen.

57 Bogen. Groß-Oktav. Geh. 10 K = 9 Mark. In Original-Leinwandband  
13 K = 11 Mark 50 Pf.

## Die Elektrizität.

Für jedermann geschildert von  
Th. Schwartz, E. Japing, A. Wilke.

Eine kurze und verständliche Darstellung der Grundgesetze, sowie der Anwendungen der Elektrizität zur Kraftübertragung, Beleuchtung, Elektrometallurgie, Galvanoplastik, Telegraphie, Telephonie und im Signalwesen.

Vollständig neu bearbeitet von

**Dr. Alfred Ritter von Urbanitzky.**

Sechste Auflage.

Mit 162 Abbildungen.

10 Bogen. Oktav. Gebunden 1 K 60 h = 1 Mark 50 Pf.

Das

## Buch der Experimente.

Physikalische Apparate und Versuche. — Mechanische Operationen. —  
Naturwissenschaftliche Liebhabereien.

Von

**A. v. Schweiger-Lerchenfeld.**

Mit 425 Abbildungen und einer Beilage.

25 Bogen. Groß-Oktav. In Original-Farbendruck-Einband 6 K 60 h = 6 Mark.

Das

## PERPETUUM MOBILE.

Eine Beschreibung

der interessantesten, wenn auch vergeblichen, aber doch immer sinnreichen  
und belehrenden Versuche, eine Vorrichtung oder Maschine herzustellen, welche  
sich beständig, ohne äußere Anregung, von selbst in Bewegung erhalten soll.

Von

**A. DAUL.**

Mit 37 Abbildungen.

10 Bogen. Oktav. Geh. 2 K 20 h = 2 Mark.

A. Hartlebens Verlag in Wien, Pest und Leipzig.

S, 61



S - 96





Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000297312