



# Luftfahrzeugbau und -Führung

Hand- und Lehrbücher des Gesamtgebietes

In selbständigen Bänden unter Mitwirkung von

**Dr. G. Austerweil-Paris**, **R. Basenach †**, Ingenieur, Berlin. **A. Baumann**, Ingenieur, Professor für Luftfahrt, Flugtechnik und Kraftfahrzeugbau an der Techn. Hochschule Stuttgart. **P. Béjeuhr**, Ingenieur, Berlin. **Dr. A. Berson**, Professor, Berlin. **Dr. G. von dem Borne**, Professor für Luftfahrt an der Techn. Hochschule Breslau. **Dr. F. Brähler**, Chemiker, Assistent an der Kgl. Militärtechn. Akademie Berlin. **G. Christians**, Dipl.-Ingenieur, Rheinau-Baden. **R. Clouth**, Fabrikbesitzer, Paris-Neuilly. **Dr. M. Dieckmann**, Privatdozent für reine und angewandte Physik an der Techn. Hochschule München. **H. Dorner**, Dipl.-Ingenieur, Berlin. **Dr. H. Eckener**, Friedrichshafen a. B. **Dr. Flemming**, Stabsarzt an der Kaiser-Wilhelms-Akademie Berlin. **R. Gradenwitz**, Ingenieur, Fabrikbesitzer, Berlin. **J. Hofmann**, Preußischer Regierungsbaumeister, Kaiserl. Reg.-Rat a. D., Genf. **H. Krastel †**, Ingenieur. **Dr. W. Kutta**, Professor an der Techn. Hochschule Aachen. **Dr. F. Linke**, Dozent für Meteorologie und Geophysik am Physikal. Verein und der Akademie Frankfurt a. M. **Dr. A. Marcuse**, Professor an der Universität Berlin. **Dr. A. Meyer**, Assessor, Frankfurt a. M. **St. v. Nieber**, Exzellenz, Generalleutnant z. D., Berlin. **Dr.-Ing. E. Roch**, Dipl.-Ingenieur, Berlin. **E. Rumpler**, Ingenieur, Direktor, Berlin. **O. Winkler**, Oberingenieur, Berlin u. a.

herausgegeben von

**Georg Paul Neumann**

Hauptmann a. D.

**XIII. Band**



München und Berlin 1913

Druck und Verlag von R. Oldenbourg

**Leitfaden**  
der  
**drahtlosen Telegraphie**  
**für die Luftfahrt**

Von

**Dr. Max Dieckmann**

Privatdozent für reine und angewandte Physik  
an der Techn. Hochschule München

Mit 150 Textabbildungen



München und Berlin 1913  
Druck und Verlag von R. Oldenbourg

---

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechtes, vorbehalten  
Copyright 1913 by R. Oldenbourg, Munich

---

## Vorwort.

Es wird stets schwierig sein, ein Fachgebiet, dessen Beherrschung eine solide Grundlage von speziellen Kenntnissen voraussetzt, einem nicht einheitlich vorgebildeten Kreis von Lesern zu vermitteln. Die an sich für das eigentliche Thema unerheblichen drei ersten Kapitel waren so erforderlich, um dem Bande innerhalb der Sammlung Selbständigkeit zu geben.

Denen, die nach der einen oder anderen Richtung ihre Kenntnisse besonders vertiefen wollen, darf ich folgende drei Werke empfehlen:

1. Das Gesamtgebiet behandelnd:  
J. Zenneck, Lehrbuch der drahtlosen Telegraphie.  
II. Auflage, Stuttgart 1913.
2. Besonders die Messtechnik berücksichtigend:  
H. Rein, Radiotelegraphisches Praktikum.  
II. Auflage, Berlin 1913.
3. Für Erlernung des Morsealphabetes und verkehrstechnische Fragen:  
O. Ohlsberg, Handbuch für Funkentelegraphisten.  
Berlin 1911.

Dem Herrn Herausgeber und dem Verlag bin ich für die freundliche Nachsicht bei der Verzögerung der Drucklegung, Herrn F. Eppen für das Lesen der Korrektur zu besonderem Dank verpflichtet.

Gräfelfing, im September 1913.

Max Dieckmann.



# Inhalt.

	Seite
Einleitung . . . . .	1
<b>I. Teil. Physikalische Tatsachen.</b>	
<b>Kapitel I. Die atomistische Auffassung der Elektrizität</b> . . . . .	<b>8</b>
Elektronen . . . . .	8
Leiter I. und II. Klasse . . . . .	10
Isolatoren . . . . .	10
Das Feld ruhender Ladungen . . . . .	11
Elektrizitätsmenge . . . . .	13
Kapazität . . . . .	13
Potential . . . . .	14
Kondensator . . . . .	15
Dielektrikum . . . . .	15
Bewegte Elektronen . . . . .	16
Elektrische Wellen . . . . .	17
<b>Kapitel II. Gleichstrom</b> . . . . .	<b>18</b>
Gleichstromkreis . . . . .	18
Stromquellen . . . . .	18
Primärelemente . . . . .	19
Sekundärelemente . . . . .	20
Thermoelemente . . . . .	20
Gleichstromdynamomaschinen . . . . .	21
Stromstärke . . . . .	21
Ausgleichsgesetz . . . . .	22
Stromverzweigung . . . . .	22
Widerstand . . . . .	23
Berechnung von Widerständen . . . . .	23
Messung von Widerständen . . . . .	23
Schaltung von Widerständen . . . . .	24
Spannungsteiler . . . . .	25
Spatiometer und Lautstärkemessung . . . . .	25
Leistung . . . . .	26

## VIII

	Seite
Stromwärme . . . . .	27
Magnetisches Feld um die Strombahn . . . . .	27
Gesetz von Biot und Savart . . . . .	27
Permeabilität . . . . .	31
Linke Handregel . . . . .	33
Saitengalvanometer . . . . .	34
<b>Kapitel III. Wechselstrom . . . . .</b>	<b>35</b>
Induktion . . . . .	35
Rechte Handregel . . . . .	36
Lenzsches Gesetz . . . . .	38
Wechselstromdynamomaschine . . . . .	38
Transformator . . . . .	40
Periodische Funktionen . . . . .	42
Die Frequenz . . . . .	48
Spannung . . . . .	49
Stromstärke . . . . .	50
Widerstand . . . . .	51
Kapazität . . . . .	53
Verriegelungskondensator . . . . .	55
Kapazitätsmessung . . . . .	55
Schaltung von Kondensatoren . . . . .	56
Selbstinduktion . . . . .	57
Drosselspule . . . . .	58
Hysteresis . . . . .	60
Selbstinduktionsmessung . . . . .	61
Schaltung von Selbstinduktionsspulen . . . . .	63
Leistung . . . . .	63
Resonanz . . . . .	64
Eigenschwingungen . . . . .	65
Resonanzinduktor . . . . .	68
<b>Kapitel IV. Der geschlossene Schwingungskreis . . . . .</b>	<b>69</b>
Die Erzeugung von Hochfrequenzströmen . . . . .	69
Aufstellung der Schwingungsgleichung . . . . .	71
Aperiodische Entladung . . . . .	73
Periodische Entladung . . . . .	74
Zahlenbeispiel . . . . .	76
Funkenstrecke . . . . .	80
Widerstand . . . . .	83
Kapazität . . . . .	86
Selbstinduktion . . . . .	89
Resonanz . . . . .	92
Koppelung . . . . .	94
Lose Koppelung . . . . .	95

	Seite
Feste Koppelung . . . . .	96
Koppelungskoeffizient . . . . .	100
Wellenmesser . . . . .	102
Aufnahme einer Resonanzkurve . . . . .	107
Wellenlänge eines Primärkreises . . . . .	109
Dämpfung . . . . .	109
Dämpfung eines Wellenmessers . . . . .	110
Bestimmung des Koppelungskoeffizienten . . . . .	113
Kapazitätsmessung . . . . .	114
Selbstinduktionsmessung . . . . .	115
Eichung von Empfangskreisen . . . . .	115
<b>Kapitel V. Der offene Schwingungskreis . . . . .</b>	<b>116</b>
Nicht quasistationärer Kreis . . . . .	116
Stehende Wellen . . . . .	117
Antennen . . . . .	124
Messungen . . . . .	128
Eigenwellenlänge . . . . .	128
Kapazitätsmessung . . . . .	130
Koppelung . . . . .	132
Dämpfung . . . . .	132
Antennenwiderstand . . . . .	133
Wirkungsgrad . . . . .	135
<b>Kapitel VI. Die Strahlung . . . . .</b>	<b>136</b>
Das elektrische Wechselfeld . . . . .	136
Magnetisches Wechselfeld . . . . .	140
Elektromagnetische Wellen . . . . .	142
Reichweite . . . . .	144
Gerichtete Antennen . . . . .	148
Luftelektrische Störungen . . . . .	148
<b>Kapitel VII. Wellenempfindliche Anordnungen . . . . .</b>	<b>150</b>
Kohärer oder Fritter . . . . .	151
Graphitkohärer . . . . .	153
Elektrolytischer Detektor . . . . .	154
Thermodetektor . . . . .	155
Andere Detektoren . . . . .	159
Tikker . . . . .	160
<b>II. Teil. Anwendungen.</b>	
<b>Kapitel VIII. Drahtlostelegraphische Systeme . . . . .</b>	<b>161</b>
Marconi . . . . .	161
Braun . . . . .	164
Tönende Funken (Wien) . . . . .	168
Ungedämpfte Schwingungen (Poulson) . . . . .	174

## X

	Seite
<b>Kapitel IX. Zündungsgefahr</b> . . . . .	175
Bestehen einer Zündungsgefahr . . . . .	175
Stille Entladungen und Funken . . . . .	175
Zerstörbarkeit des Ballonstoffes . . . . .	177
Austreten von Gas . . . . .	179
Luftelektrizität . . . . .	179
<b>Kapitel X. Die Bordstationen</b> . . . . .	180
Freiballonstationen . . . . .	180
Antennen . . . . .	180
Empfänger . . . . .	181
Luftschiffstationen . . . . .	184
Antennen . . . . .	185
Sender . . . . .	185
Flugzeugstationen . . . . .	190
<b>Kapitel XI. Orientierung und meteorologische Beratung</b> . . . . .	195
Orientierungsmethoden . . . . .	195
Methode von Lux . . . . .	196
Abstandsschätzung (Dieckmann) . . . . .	197
Telefunkenkompass (Meissner) . . . . .	199
Kombinierte Methode . . . . .	203
Methoden der Rückfrage . . . . .	204
Meteorologische Beratung . . . . .	204
<b>Kapitel XII. Der Verkehr</b> . . . . .	206
Die Morsezeichen . . . . .	206
Betriebserlaubnis . . . . .	207
Tabelle der Morsezeichen . . . . .	209
Namen- und Sachverzeichnis . . . . .	211

### Druckfehlerberichtigung.

Seite 13 Zeile 4 von unten: Kapazität statt Capazität.

Seite 37 Zeile 6 von unten: Induktionsversuch statt . . . vresuch.

## Einleitung.

---

Die Einrichtungen der drahtlosen Telegraphie gestatten auf elektrischem Wege von einer Sendestation nach einer Empfangsstation Signale und Nachrichten zu übertragen ohne dass zwischen den beiden Stationen eine künstliche Verbindung besteht. Diese Tatsache ist für die Luftschiffahrt von bemerkenswerter Bedeutung, denn sie gibt die Möglichkeit, dass auf Fahrt befindliche Luftfahrzeuge unter sich oder, was wichtiger ist, mit Stationen auf der Erdoberfläche in Verbindung treten. Eine derartige Kommunikation kann nicht nur gelegentlich für einen direkten Nachrichtenaustausch erwünscht sein, sie kann auch das Hilfsmittel bilden zu einer ausserordentlichen Erhöhung der Betriebssicherheit im Verkehr mit Luftfahrzeugen jeder Art. Bei geeigneter Organisation könnte beispielsweise der Fahrzeugführer jederzeit auch bei unsichtigem Wetter über Fahrzeugort, Kurs und Wetterlage mühelos unterrichtet sein. Er wäre imstande, geeignete Befehle für eine Landung zu geben und etwa benötigte Reserveteile schon während der Fahrt anzufordern.

In den allgemeinen Gebrauch ist die drahtlose Telegraphie bei den Luftschiffen, Freiballons und Flugzeugen bisher wenig getreten, wenn man von den militärischen Luftschiffstationen sowie denen der Deutschen Luftschiffahrts-Aktiengesellschaft absieht, deren Erörterung hier füglich unterbleiben darf. Jedenfalls ist dieser Umstand nicht in einem Mangel der drahtlosen Telegraphie begründet. Im Gegenteil; sie hat ihre Anwendbar-

keit in zahlreichen Einzelfällen aufs Glänzendste bewiesen. Die Ursache dürfte vielmehr in der Jugend beider Gebiete, der Luftschiffahrt sowohl als der drahtlosen Telegraphie zu suchen sein. Die rasche Entwicklung der Luftschiffahrt hat den Luftschiffingenieuren noch zu wenig Musse gelassen, diesen für sie immerhin sekundären Fragen entsprechend näher zu treten, wie auch die Ingenieure der drahtlosen Telegraphie, beschäftigt mit der allgemeinen Ausbildung ihrer Systeme, diesen Spezialzweig erst in jüngster Zeit entsprechend gepflegt haben. Der Zweck der vor-

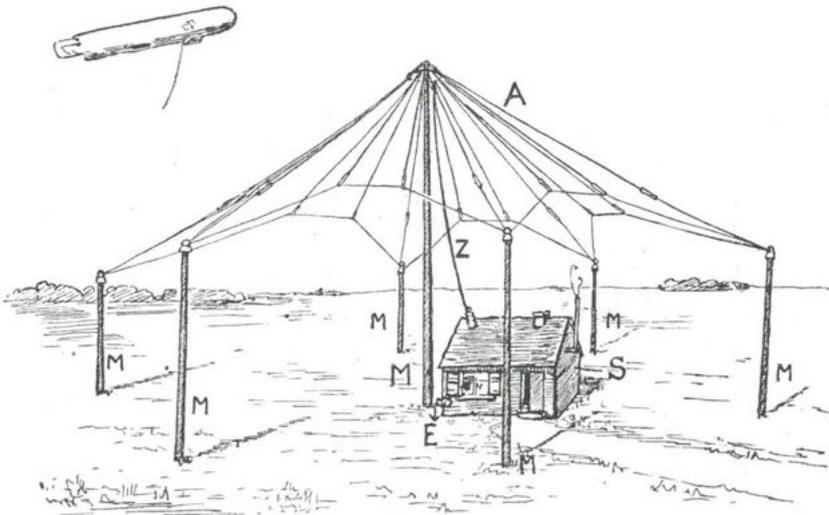


Abb. 1. Äusseres einer drahtlostelegraphischen Station.

liegenden Bändchen ist, dem Luftschiffer das Verständnis für die drahtlose Telegraphie zu vermitteln und ihm die notwendigen theoretischen und praktischen Grundlagen für eine einsichtsvolle Montage und Bedienung drahtlostelegraphischer Anordnungen an die Hand zu geben.

Das typische Äusserere einer drahtlostelegraphischen Anlage Abb. 1 dürfte einigermaßen bekannt sein. Neben einem Stationsgebäude S, das die Sendeapparate und Empfangsapparate enthält und in dem sich eine Primärenergiequelle, Benzinmotor,

Dampfmaschine usf. befinden muss, wenn das Gebäude keinen Kraftanschluss an eine benachbarte elektrische Zentrale besitzt, erhebt sich eine Mastanlage MM' zur Verspannung der sogenannten Antenne. Die Anordnung dieser Antenne kann auf mancherlei Art geschehen. Wesentlich ist, dass leitende Metallmassen, Drähte oder Bänder A in tunlichst grossem Abstand vom Erdboden isoliert angebracht und durch eine Zu-

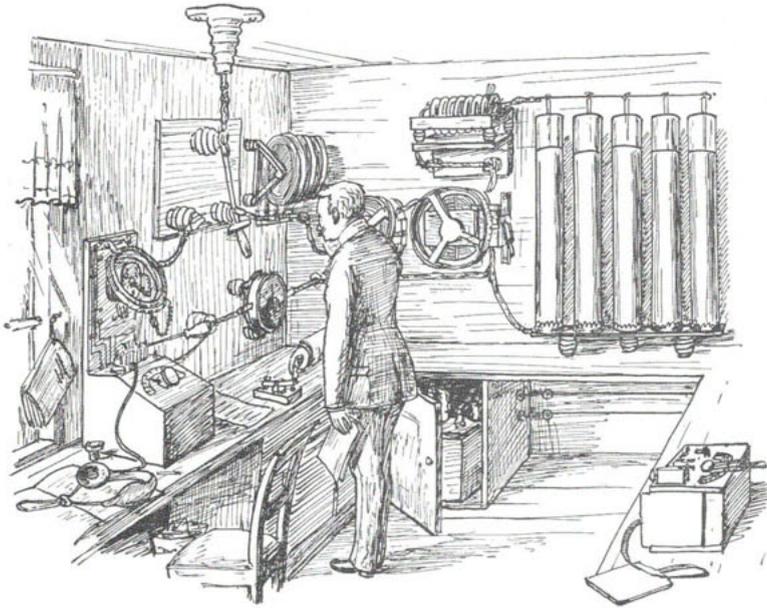


Abb. 2. Inneres einer drahtlostelegraphischen Station.

leitung Z mit dem Stationsgebäude verbunden werden. Aus dem Stationsgebäude führt eine weitere Leitung E heraus. Sie steht mit im Boden versenkten Metallplatten, Drahtnetzen oder dem Grundwasser in Verbindung, wenn die Konstrukteure nicht vorgezogen haben, in einigem Abstand über dem Erdboden isoliert ein zweites Drahtsystem als „Gegengewicht“ zu verspannen. Dieses Gegengewicht tritt dann an Stelle der „Erde“.

Die Gegenstation, die in Abb. 1 als Luftschiffstation skizziert ist, enthält die erforderlichen Stationsapparate in der Gondel oder Kabine. Die Antenne hängt, damit man die nötige Vertikalerstreckung des Luftleitergebildes erhält, einfach als Drahtlitze nach unten. Als Gegengewicht dienen die Metallteile des Luftschiffgerippes oder besondere angeordnete Gegengewichtsleiter.

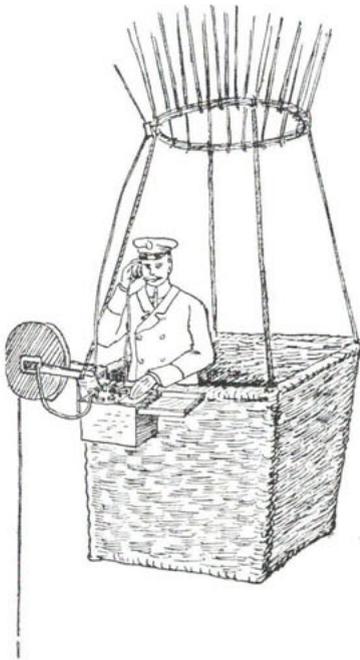


Abb. 3. Ballonempfänger.

Von den im Innern der Stationsräume befindliche Anordnungen zum Geben und Empfangen lässt sich ein typisches Bild kaum entwerfen. Immerhin kann Abbildung 2 eine Vorstellung von einer derartigen Einrichtung mit ihrer auf den ersten Blick nicht übersehbaren Mannigfaltigkeit von Schaltern, Einstellvorrichtungen, Spezialapparaten und Messinstrumenten in einem Stationsgebäude vermitteln.

Abbildung 3 stellt ein entsprechendes Bild für eine Luftschiffempfangsstation vor, in welcher der Luftschiffer gerade mit dem Telephonhörer eine Nachricht vom Erdboden entgegennimmt, die der Telegraphist von Abbildung 2 durch

Drücken des Morsetasters gibt. Der Luftschiffer hört die abgesandten Punkte und Strichfolgen des Morsealphabetes in demselben Rhythmus als ein deutliches Singen im Telephonhörer. Durch fortlaufendes Nachschreiben der von kurzen Zwischenräumen unterbrochenen Buchstabensignale setzt er sich den Text der Meldung wieder zusammen.

Während die Abbildungen 2 und 3 uns vorerst nur eine gewisse Anschauung von den für die drahtlose Telegraphie in

Frage kommenden Anordnungen gibt, führt uns die folgende Skizze 4 bereits erheblich tiefer in das Wesen der drahtlosen Telegraphie ein. Sie gibt ein prinzipielles Schema der beim Senden und Empfangen vor sich gehenden Energieumformungen. Links auf dieser Skizze ist eine Sendestation angenommen, rechts eine Empfangsstation. Die einzelnen umgrenzten Flächen-teile repräsentieren von Stufe zu Stufe die betreffenden Energieformen, wobei die Richtung der Pfeile den Sinn der Umwandlung angibt.

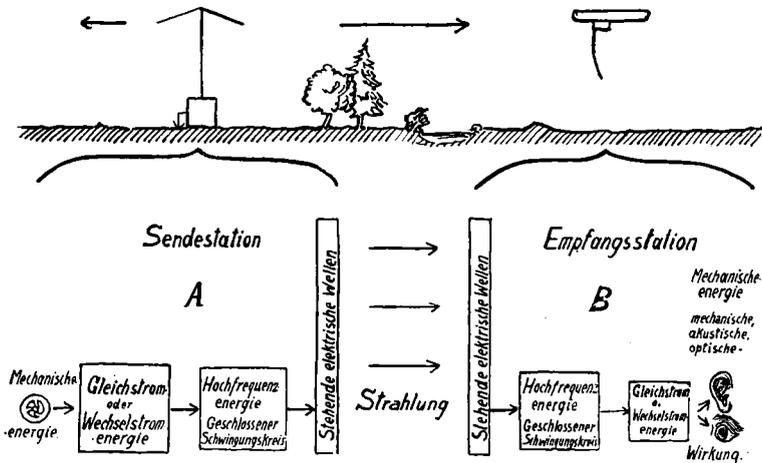


Abb. 4. Schema der Energieumwandlungen.

Die vorhandene Primärenergie wird, wenn sie nicht schon in Form elektrischer Energie (Anschluss an fremde Zentrale, galvanische Elemente) vorliegt, mit Hilfe einer Dynamomaschine in Gleichstrom oder Wechselstrom niederer Frequenz (50 bis 2000 Wechsel pro Sek.) umgewandelt.

Die nächste Stufe ist die der Hochfrequenzenergie; man stellt sich durch Kondensatorentladungen elektrische Schwingungen her, deren Strom etwa 100000 bis 1000000 mal pro Sekunde die Richtung ändert. Die Hochfrequenzströme werden zur Ausbildung stehender elektrischer Wellen benützt und zwar geschieht dies in den Antennen. Von den Antennen strahlt die Energie

in Form elektromagnetischer Wellen mit Lichtgeschwindigkeit in den Raum aus. Dort, wo diese Wellen ein entsprechendes Luftdrahtgebilde treffen, also die Antenne einer Empfangsstation, erzeugen sie auf ihm wieder stehende Wellen. Die Energie dieser stehenden Wellen wird durch geeignete Vorrichtungen in der nächsten Stufe in die Energieform gewöhnlicher Hochfrequenzströme zurückverwandelt. Die Hochfrequenzenergie endlich setzt sich in Gleichstrom und Wechselstrom um, der in der letzten Stufe in eine Energieform übergeführt wird, die von den menschlichen Sinnesorganen unmittelbar wahrgenommen werden kann. Es werden akustische, optische oder mechanische, Auge und Ohr unmittelbar oder mittelbar affizierende Vorgänge betätigt.

Diese ganze Umwandlungsserie von Energieformen weist hinsichtlich der Prozesse im Sender und im Empfänger eine deutliche Symmetrie auf. Ursprünglich hat man mechanische Energie bzw. Wechsel- oder Gleichstromenergie zur Verfügung, über die verschiedenen sich links und rechts entsprechenden Zwischenformen, erhält man am Ende der Reihe wieder Wechsel- oder Gleichstromenergie zum Betriebe des Anzeigeapparates zurück.

Da keiner der einzelnen Umwandlungsprozesse ideal in dem Sinne verläuft, dass alle jeweils zugeführte Energie restlos und ohne Wärmeverluste in die nächste Form überginge, da vor allem von der ausgestrahlten Energie nur ein äusserst kleiner Bruchteil in die Empfangsanlage gelangt, so ist der ganze Übertragungsprozess energetisch genommen relativ unvollkommen. Von der im Sender zugeführten Energie erscheint im Empfänger nur ein fast verschwindender Betrag. Wenn dieser Betrag aber ausreicht, die Anzeigeapparate sicher zum Ansprechen zu bringen, so ist der Zweck der Anlage, die Verständigung über grössere Entfernungen ohne künstliche Leitung hinreichend erfüllt.

Die verschiedenen Systeme der drahtlosen Telegraphie benützen verschiedene Prinzipien und Instrumentarien bei den in Frage kommenden Energieumwandlungen. Vom Jahre 1896 an, in welchem dem Italiener Marconi zum ersten Male über einige Kilometer eine drahtlostelegraphische Verständigung gelang, sind fortlaufend wesentliche Verbesserungen und Vervoll-

kommungen von Erfindern und Ingenieuren aller Kulturstaaten, insbesondere auch von deutscher Seite vorgenommen worden.

Das Verständnis der drahtlostelegraphischen Anordnungen und die Anwendung der drahtlosen Telegraphie auf die Luftschiffahrt setzt somit die Kenntnis der grundlegenden Begriffe und physikalischen Tatsachen, welche bei den aufgeführten Energieumwandlungen eine Rolle spielen, voraus. Es sind dies zahlreiche Gesetze der ruhenden Elektrizität, der Gleichströme, Wechselströme, Hochfrequenzströme und der elektromagnetischen Strahlung. Mit ihnen beschäftigen sich in der angeführten Reihenfolge die Kapitel des ersten Abschnittes. Der zweite Abschnitt behandelt dann die wichtigsten drahtlostelegraphischen Systeme und Anordnungen, der dritte endlich die speziellen Anwendungen auf die Luftschiffahrt.

---

## I. Teil.

# Physikalische Tatsachen.

## I. Kapitel.

### Die atomistische Auffassung der Elektrizität.

**Elektronen.** Die moderne Elektrizitätslehre steht auf einem atomistischen Standpunkt, das heisst sie fasst alle elektrischen Erscheinungen auf als die Wirkungen kleinster, nicht weiter unterteilbarer Elektrizitätsquanten. Diese kleinsten Quanten, die unter sich völlig gleich beschaffen sind, werden als die „Elektronen“ bezeichnet.

Jedes Materieatom, also jeder chemisch nicht weiter unterteilbare Baustein der uns umgebenden Körperwelt enthält nach dieser Auffassung in seinem gewöhnlichen, unelektrisierten Zustand trotz seiner chemischen Einheitlichkeit eine gewisse Anzahl dieser Elektronen.

Um ein rohes, aber gerade an dieser Stelle entschuldbares Bild zu gebrauchen, kann man ein Atom etwa mit der Kugel eines mit Wasserstoff gefüllten Luftballons vergleichen. In einer derartigen Kugelhülle, die wir uns gerade in der Gleichgewichtslage schwebend denken wollen, sitzt, obwohl sie von aussen betrachtet eine geschlossene Einheit vorstellt, im Innern die schier zahllose Menge von Wasserstoffteilchen.

Es verhält sich dann in diesem Bilde das chemische Atom zu den Elektronen, wie die Ballonhülle zu den Wasserstoffteilchen ihrer Füllung.

Besitzt ein Atom mehr Elektronen, als seinem gewöhnlichen „Gleichgewichtszustand“ entsprechen, so nennt man das Atom, oder den aus solchen Atomen aufgebauten Körper negativ elektrisch geladen.

In unserem Bilde würde das einem Luftballon entsprechen, der mit Wasserstoff nachgefüllt wird und so einen grösseren Auftrieb erhält.

Besitzt ein Atom dagegen weniger Elektronen, als seinem Gleichgewichtszustand entsprechen, hat es aus einem gewissen Grunde Elektronen verloren, dann nennt man es positiv elektrisch geladen.

Dies würde einem Ballon entsprechen, bei dem man durch Ventilziehen hat Gas ausströmen lassen.

Positiv (+) elektrische und negativ (—) elektrische Ladungen gehen also auf dieselbe Grundursache zurück, sie bezeichnen den Mangel oder Überfluss an Elektronen. Jede Elektrizitätsmenge ist danach ein ganzzahliges Vielfache der Ladung eines Elektrons. Bis auf das Vorzeichen gleiche Elektrizitätsmengen können sich neutralisieren, wenn sie auf demselben System zusammen kommen, denn gleich grosser Mangel und Überfluss heben sich auf.

Gerade so, wie das aus einem Ballon ausströmende Gas selbständig als solches weiter bestehen kann, können auch die etwa einem Atom entnommenen Elektronen als freie negative Elektrizität selbständig existieren. Bei gewissen Gasentladungen, die Sonderfälle der Funkenentladung vorstellen, kennen wir derartige Elektrizitätsmengen, die völlig losgelöst von der Materie bestehen.

In analoger Art von Materie befreite positive Elektrizitätsmengen sind nicht bekannt. Sie würden in unserem Bilde auch keinen Platz finden. Denn auch ein etwa ganz entleerter Ballon ist nichts als ein des Gases mangelnder Ballon — ein maximal positiv elektrisiertes Atom.

Elektronen kann man nicht schaffen und nicht zerstören. Man kann sie nur aus den Atomen trennen oder frei machen. Bei einem derartigen Prozess der Sammlung von Elektronen auf

einem Körper entsteht immer gleichzeitig dort, woher man die Elektronen nahm, ein äquivalenter Mangel.

Die an diesem Gleichnis entwickelte unitarisch atomistische Auffassung der Elektrizität gibt in vielen Fällen eine bequeme Handhabe, die elektrischen Erscheinungen zu übersehen. Unter nunmehriger Verabschiedung des Bildes seien deshalb hier einige für das spätere wesentliche Tatsachen und Vorstellungen aufgeführt.

Leiter I. und II. Klasse. Es gibt eine grosse Reihe von Substanzen, deren Atome die Elektronen nicht allzu fest binden, derart, dass Elektronen in das Atom hinein und aus dem Atom heraustreten und sich als freie Elektronen zwischen den Atomen mehr oder weniger leicht bewegen können. Solche Substanzen, in denen sich die Elektrizität frei ohne Materie-transport bewegen kann (es sind namentlich die Metalle), nennt man Leiter I. Klasse für die Elektrizität.

Als Leiter II. Klasse werden andere Substanzen bezeichnet (es handelt sich meist um Flüssigkeiten oder Gase), bei denen sich Atome oder Moleküle, die einen Über- oder Unterschuss an Elektronen haben, bei gegebenem Anlasse in Bewegung setzen, so dass hier ein Elektrizitätstransport immer von einem Materie-transport begleitet ist. Derartige Materieteilchen, die wandernd ihre Ladung transportieren können, nennt man Ionen. Je nach dem Vorzeichen unterscheidet man positive und negative Ionen. Die Leiter zweiter Klasse leiten durch Ionentransport. Flüssige Leiter II. Klasse heissen auch Elektrolyte.

Isolatoren. Im Gegensatz zu den Leitern stehen zahlreiche weitere Substanzen, deren Atome oder Moleküle die Elektronen fest binden und nicht hergeben. Nur innerhalb des Atomes können sich die Elektronen einigermassen bewegen. Derartige isolierende Materialien spielen allgemein eine grosse Rolle, wenn es sich darum handelt, Leiteranordnungen, auf denen sich bestimmte elektrische Prozesse abspielen sollen, von der Umgebung wirksam zu trennen. Hartgummi, Gummi, Porzellan, Glas, Pressspan usf. sind in diesem Sinne gute Isolatoren.

Das Feld ruhender Ladungen. Wenn sich irgendwo an einem Punkt ein Mangel resp. Überschuss an Elektronen befindet, also mit anderen Worten, wenn an diesem Punkte eine elektrische Ladung vorhanden ist, so erleidet auch die Umgebung dieses Punktes gewisse Veränderungen. Es herrscht in dieser Umgebung ein Zwangszustand, der sich darin äussert, dass andere genäherte elektrische Ladungen abgestossen oder

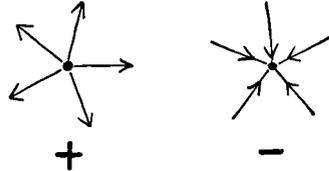


Abb. 5. Elektrisches Feld einer punktförmigen positiven und negativen Ladung.

angezogen werden, je nachdem sie das gleiche oder entgegengesetzte Vorzeichen der dort bestehenden Ladung besitzen. Die Anziehungs- resp. Abstossungskräfte in einem derartigen Bezirk, den man ein elektrostatisches Feld nennt, haben überall eine ganz bestimmte Richtung und Stärke. Man kann ein solches von einer Ladung herührendes Feld dadurch bildlich charakterisieren, dass man wie in Abbildung 5 die Richtung der Kräfte durch Pfeillinien angibt, die Stärke der Kräfte aber durch die Anzahl der gezeichneten Linien ausdrückt. Der Pfeil dieser so definierten

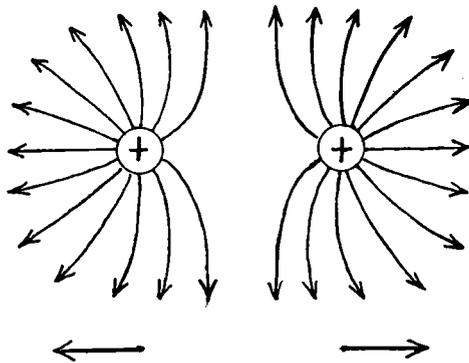
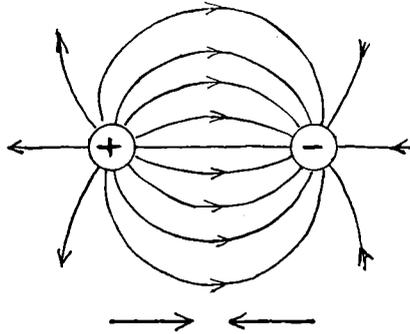


Abb. 6. Anziehung ungleichnamiger und Abstossung gleichnamiger Ladung.

elektrischen Kraftlinien gibt stets die Richtung an, in welcher sich eine positive Ladung bewegen würde. Positive Ladungen sind „Quellen“, negative Ladungen „Sinkstellen“ dieser Kraftlinien. Abbildung 6 zeigt das Feld beim gleich-

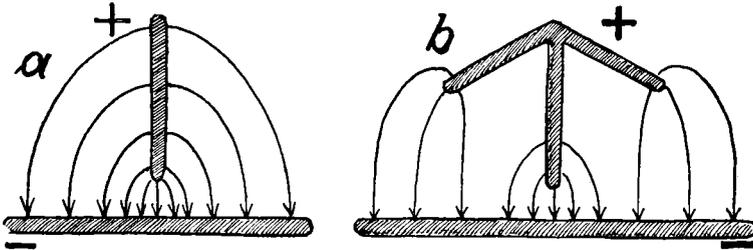


Abb. 7. Verlauf der elektrischen Kraftlinien.

zeitigen Vorhandensein zweier ungleichnamig und zweier gleichnamig geladener Kugeln. Man übersieht, für den Fall die Kugeln Bewegungsfreiheit haben, die Art der eintretenden Bewegung, wenn man annimmt, dass die Kraftlinien einmal das Bestreben haben, sich in ihrer eigenen Richtung zu verkürzen und quer

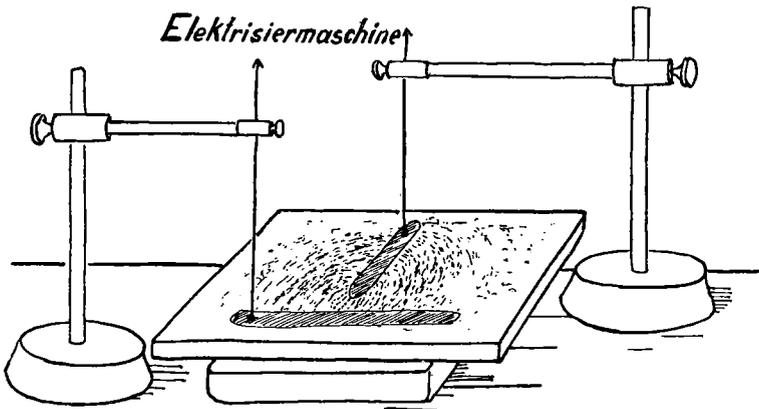


Abb. 8. Herstellung elektrischer Kraftlinienbilder.

dazu sich gegenseitig abzustossen. Die Kraftlinien stehen stets senkrecht zur Oberfläche der Leiter. Um ein für uns wichtiges Beispiel anzuführen, ist in Abb. 7a der Verlauf eines Feldes gezeichnet, das sich zwischen einem vertikal gestellten Leiter und einer

entgegengesetzt geladenen, leitenden Fläche ausbilden muss. Ein derartiger Feldverlauf würde etwa zwischen einer geladenen Vertikalantenne und dem entgegengesetzt geladenen Erdboden anzunehmen sein. Bei einer Schirmantenne nach Abb. 1 würde sich das Bild von 7b ergeben.

Man kann den Verlauf derartiger elektrischer Kraftlinien experimentell anschaulich machen, wenn man Staniolmodelle der Leiter auf eine Glasplatte legt (C. Fischer), die mit pulverisierten Gipskristallen bestreut wird. Ladet man dann die Modelle, wie Abb. 8 erkennen lässt, elektrisch auf, so ordnen sich die Kristalle in Richtung der Kraftlinien und man erhält instruktive elektrische Kraftlinienbilder.

Die Abstossung gleichnamiger Ladungen macht es ohne weiteres verständlich, dass der Sitz der Ladung eines Leiters immer die Oberfläche sein muss. Die Ladungen entfernen sich tunlichst weit voneinander. Ist der Leiter gekrümmt, so ist die grösste „Oberflächendichte“ der Ladung an den Stellen stärkster Krümmung anzutreffen (Abb. 9).

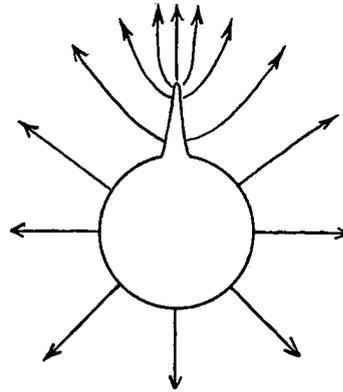


Abb. 9. Elektrisches Feld um geladenen Körper.

**Elektrizitätsmenge.** Jede Elektrizitätsmenge ist nach dem eingangs gesagten ein ganzes Vielfaches der Ladung des Elementarquantums. Die technische Masseinheit der Elektrizitätsmenge, das Coulomb, ist gegeben, wenn ca. 6400000000000000000, oder, anders geschrieben,  $6,4 \times 10^{18}$  Elektronen je nach dem Vorzeichen der Elektrizitätsmenge im Über- oder Unterschuss vorhanden sind. Die Ladung dieses Elementarquantums ist durch viele elektrische und optische Beobachtungen gegeben.

**Capazität.** Jeder Leiter ist durch seine Grösse und Anordnung mehr oder weniger zur Aufnahme von Elektrizität geeignet. Auf eine freihängende Kugel von 1 cm Radius, die in einem uns hier nicht interessierenden Masssystem als „Centi-