

VORTRÄGE

ÜBER

ELEKTROTECHNIK

GEHALTEN WÄHREND DER VORTRAGS-SESSION 1901—1902

IN DEN VERSAMMLUNGEN DER FACHGRUPPE FÜR ELEKTROTECHNIK

DES ÖSTERR. INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREINES.



WIEN 1903.

EIGENTUM UND VERLAG DES ÖSTERR. INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREINES.

DRUCK VON R. SPIES & Co. IN WIEN.

INHALTSVERZEICHNIS.

	Seite		Seite
Vorwort	1	VI. Über die Entwicklung der elektrischen Bahnen. Von Ober-Baurat Professor Karl Hochenegg	54
I. Die wissenschaftlichen Grundlagen der Elektrotechnik. Von Professor Dr. Max Reithoffer	3	VII. Über elektrische Kraftübertragung. Von Ingenieur Friedrich Drexler	65
II. Die Maße in der Elektrotechnik. — Einführung in das Wechselstromgebiet. Von Dr. Johann Sahulka	9	VIII. Über Elektrochemie. Von Ober-Ingenieur Viktor Engelhardt	71
III. Über elektrische Messungen und Meßinstrumente I. Von Professor Dr. August Raps	16	IX. Telegraphie und Telephonie. Von Ober-Baurat Karl Barth Edler v. Wehrenalp	87
IV. Elektrische Stromerzeuger und Motoren. Von Direktor Karl Pichelmayer	33	X. Über elektrische Messungen und Meßinstrumente II. Von Professor Dr. August Raps	103
V. Über Kabelfabrikation. Von Direktor Gustav Bergholtz	41		

VORWORT.

Dem längst gefühlten Bedürfnisse der Elektrotechnik auch im Oesterr. Ingenieur- und Architekten-Vereine dauernd jene intensive Pflege zu widmen, welche diesem jüngsten Zweige der technischen Wissenschaften vermöge seiner Bedeutung für die Industrie und das Verkehrswesen, wie nicht minder vermöge seines Einflusses auf die weitere Gestaltung der übrigen Fachrichtungen der Technik mit Recht gebührt, wurde bekanntlich durch die im December 1900 erfolgte Bildung einer siebenten Fachgruppe „für Elektrotechnik“ abgeholfen.

Dass diese „Gründung“ so recht dem Zuge der Zeit entsprach, hat sich wohl sofort durch das allgemeine Interesse der Vereinscollegen für die jüngste Fachgruppe in erfreulicher Weise bestätigt, eine Thatsache, welche aber nicht überraschen kann, wenn man erwägt, wie sehr die Elektrizität heute schon mehr oder weniger in jedem Gebiete menschlicher Thätigkeit zur Geltung gelangt ist. Der Elektrotechnik allein ist es zu danken, dass jetzt Naturkräfte in den Dienst der Menschheit gestellt, an Ort und Stelle oder in weiter Ferne productiv verwertet werden können, welche früher zwar vorhanden, aber ökonomisch nicht benützlich waren.

Die mächtigen und dabei unvergleichlich leicht zu beherrschenden Mittel, welche die Elektrizität bietet, haben nicht nur zur wesentlichen Vervollkommnung der verschiedenen Fabricationsmethoden geführt, sondern auch ganz neue Industriezweige geschaffen. Sowie in den elektrischen Bahnen ein Verkehrsmittel geboten wurde, dessen Bedeutung für den localen Verkehr bereits feststeht, für den Weltverkehr aber auch nicht annähernd vorausbestimmt werden kann, sind auf dem Gebiete der Telegraphie und Telephonie täglich neue Fortschritte zu verzeichnen. Ist man doch schon imstande sich behufs Gedankenaustausches selbst von der Drahtleitung zu emancipieren, es dem geheimnisvollen Aether überlassend die elektrischen Wellen in die Ferne zu leiten.

Was die Wohlfahrt der Menschheit endlich durch die staunenswerten Fortschritte der elektrischen Beleuchtung, der Elektrochemie, durch die segensreichen Erfolge, welche durch die Elektrizität in der Medicin, im Rettungswesen

W i e n, im Jänner 1902.

und im Haushalte erzielt wurden, gewonnen hat, bedarf hier keiner näheren Erläuterung. Wenn nun auch billigerweise zugegeben werden muss, dass diese enormen, im Vorstehenden nur angedeuteten Errungenschaften der Elektrotechnik zum nicht geringen Theile dem hochentwickelten Stande der übrigen technischen Wissenschaften zu danken sind, auf deren sicheren Fundamenten sie sich ungehindert entwickeln konnte, steht doch die Thatsache fest, dass heute jeder Ingenieur, er mag welcher Fachrichtung immer angehören, auch den Fortschritten dieses Faches die gebührende Aufmerksamkeit widmen muss.

In dieser Erwägung glaubte der gefertigte Ausschuss die Thätigkeit der Fachgruppe nicht besser inauguriert zu können als durch Veranstaltung einer Reihe systematischer Vorträge, welche allen Freunden der Elektrotechnik im Oesterr. Ingenieur- und Architekten-Vereine die Möglichkeit bieten sollten, einen Ueberblick über den derzeitigen Stand dieser Wissenschaft zu gewinnen.

Dank dem Entgegenkommen der Vereinsleitung, Dank der werkhätigen Unterstützung des elektrotechnischen Institutes der k. k. technischen Hochschule in Wien und aller zur Mitwirkung eingeladenen Fachmänner gelangte diese Absicht im Laufe des heurigen Winters unter lebhaftester Betheiligung der Vereinscollegen zur Durchführung.

Um nun diese Vorträge, welche infolge ihrer systematischen Zusammengehörigkeit ein in sich abgeschlossenes Werk von dauerndem, fachlichen Werte bilden werden, auch weiteren Kreisen des Vereines zugänglich zu machen, hat es die Vereinsleitung dem gefertigten Ausschusse durch Beistellung der nöthigen Mittel ermöglicht, den Inhalt sämtlicher Vorträge im Vereinsorgane zu veröffentlichen. Dieselben erscheinen ausnahmsweise als Beilage der Zeitschrift, um jedes Mitglied in Stand zu setzen, sich die einzelnen Lieferungen dieser Publication separat sammeln zu können. Damit übergibt nun der gefertigte Ausschuss dieses Werk den geehrten Vereinscollegen in der Hoffnung, damit jenen, welche so zahlreich den Vorträgen selbst beiwohnten, eine erwünschte Erinnerung, allen übrigen Collegen eine Anregung zu bieten.

Der Ausschuss der Fachgruppe für Elektrotechnik.

Die wissenschaftlichen Grundlagen der Elektrotechnik.

Vortrag, gehalten am 21. October 1901 von Professor **Dr. Max Reithoffer.**

Meine Herren!

Es ist nothwendig, dass der Reihe von Vorträgen, welche die Fachgruppe für Elektrotechnik veranstaltet, um insbesondere jenen Herren, welche nicht Berufselektrotechniker sind, das Gesamtgebiet der Elektrotechnik in ihrem Aufbau und Ausbau vorzuführen, eine vorbereitende Vorlesung vorangehe. In dieser soll die Grundlage, durch welche eine allgemeine Verständigung möglich wird, sowie die grundlegenden Gesetze und Erscheinungen, aus denen eben die Elektrotechnik herausgewachsen ist, Behandlung finden.

Freilich bin ich, dem diese Aufgabe zugefallen, mir der Schwierigkeit derselben bewusst, und ich weiß nicht, ob es mir gelingen wird, in der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit den großen Stoff zu bewältigen. Ich werde mich bemühen, das Nothwendigste in gedrängter Form zu bringen, und demselben moderne Deutung unterlegen; denn gerade auf dem Gebiete der grundlegenden Wissenschaft der Elektrotechnik hat sich in den letzten Jahrzehnten ein gewaltiger Umschwung vollzogen. Die Fernwirkungstheorie, mit so vielen Erfolgen durch Newtons Gravitationsgesetz in die naturwissenschaftliche Forschung eingeführt, war auch zur Erklärung der Gesetze des Magnetismus und der Elektrizität herangezogen worden. Die neuere Anschauung ersetzt diese Lehre durch das Nahewirkungsgesetz und Uebertragung der Wirkung durch das Medium in die Ferne.

Angebahnt wurde diese Auffassung durch den genialsten Experimentalphysiker des vorigen Jahrhunderts Michael Faraday, in Formeln gekleidet durch seinen Schüler, den mit dem gesammten mathematischen Rüstzeug ausgestatteten Maxwell, zum Siege geführt durch die genialen Experimente des unsterblichen Hertz. Nicht vergessen dürfen wir, wenn wir die Baumeister dieses neuen stolzen Baues aufzählen, die Namen Helmholtz, Stefan und Boltzmann als werktätige Mitarbeiter.

Beginnen wir mit den Erscheinungen des Magnetismus, so können wir uns über die allbekanntesten einfachsten Grundgesetze leicht hinwegsetzen.

Wir wissen, dass es Magnetismus verschiedenen Zeichens gibt, wir kennen die Abstoßung gleichnamiger, die Anziehung ungleichnamiger magnetischer Massen, ob wir sie positiv und negativ oder nord- und südmagnetisch nennen mögen. Wir wissen auch, dass der Magnetismus ein molecularer Zustand ist und nicht eine Erscheinungsform eines Fluidums, welches in einen Körper beim Magnetisieren hineingegossen wird.

Ein Magnetpol in den Raum gelegt, macht denselben zu seinem Wirkungsfelde. Irgendwo im Raum draußen wird ein zweiter Pol vom ersten Kraftäußerungen erfahren;

wir nennen dann den Raum das magnetische Feld des Poles. Ebenso erzeugt ein Magnetstab im Raume ein magnetisches Feld. Wenn wir in das magnetische Feld eines solchen Magnetstabes einen frei beweglichen Nordpol bringen würden, so würde derselbe Antriebe erfahren, welche ihn vom Nordpol des Magneten weg und zum Südpol desselben hinführen wollen. Verfolgen wir in allen Punkten des Raumes die Richtung dieser Antriebe und zeichnen sie auf, so erhalten wir fortlaufende Linien, die wir die Kraftlinien nennen mögen. Der Definition entsprechend gehen die Kraftlinien vom Nordpol aus und zum Südpol hin, da ja jeder frei bewegliche Nordpol eine solche Bahn beschreiben würde. Die Kraftlinien quellen gewissermaßen aus dem Nordpol heraus und münden in den Südpol. Eine Kraftlinie kann nirgends im Raume enden, denn sonst würde an dem Ende derselben ein unstetiger Punkt auftreten, in dem Sinne, dass an einer Stelle noch eine Kraft herrscht und an einer unendlich nahen bereits keine mehr. Das ist bei der Stetigkeit, nach welcher sich die Erscheinungen in der Natur abspielen, ausgeschlossen. Aber auch an den Polen des Magneten enden sie nicht, sondern setzen sich durch denselben fort, da ja der Magnet gewissermaßen aus unendlich vielen kleinen Magneten mit Polen zusammengesetzt ist und die Zwischenräume zwischen diesen Elementarmagneten mit den Kraftlinien erfüllt sein müssen.

Bis jetzt sind die Kraftlinien für uns nichts anderes als Richtungslinien. Betrachten wir nun die Kraftlinien eines einzelnen Poles, z. B. eines Nordpoles. Sie gehen von demselben strahlenförmig nach allen Punkten des Raumes. Greifen wir ein Bündel derselben heraus, kegelförmig z. B., so bemerken wir, dass dieselbe Zahl von Kraftlinien auf immer größere Flächen sich vertheilt, je weiter wir uns vom Pol entfernen; je weiter wir weggehen, umso weniger dicht drängen sich die Kraftlinien, umso kleiner wird die Kraftliniendichte (in demselben Sinne aufzufassen wie Bevölkerungsdichte). Die Dichte nimmt mit dem Quadrate der Entfernung ab, also genau nach demselben Gesetze, nach dem die magnetischen Kräfte abnehmen. Wir können also die Dichte der Kraftlinien, die irgendwo im Raume anzu treffen ist, als Maß der Kraft daselbst auffassen. Diese Betrachtung der Kraftliniendichte wurde zuerst von Maxwell eingeführt, indem er ein solches Bündel von Kraftlinien als Kraftröhre bezeichnete und deren Querschnitt nach verkehrter Proportionalität als Maß der Kraft nahm. Wir können aber noch weiter gehen. Wir wollen, dass die Kraftliniendichte an irgend einer Stelle des Raumes direct die Größe der hier herrschenden Kraft auf einen Pol von der Stärke $+1$ in Dyn gibt. Dann ist selbstverständlich nicht mehr gestattet, von einem magnetischen Pole unendlich viele Kraftlinien ausgehen zu lassen, sondern eine be-

stimmte Zahl, die mathematisch berechnet werden muss, damit diese geforderte Uebereinstimmung herrsche. Es lässt sich leicht zeigen, dass es dazu genügt, von der magnetischen Masse m die Zahl von $4\pi m$ Kraftlinien auszuheben zu lassen, um die gewünschte Uebereinstimmung zu erhalten. Die Kraftliniendichte an irgend einer Stelle des Raumes nennen wir auch die Größe des magnetischen Feldes an dieser Stelle.

Das magnetische Feld hat jetzt Richtungsgröße und Richtungssinn, ist somit das, was wir mit Vector bezeichnen.

Wir aber müssen uns fragen, ob die Kraftlinien nicht auch noch eine andere Bedeutung haben als bloß die mathematischen Hilfslinien. Um dieser Frage näher zu treten, betrachten wir noch einmal, was geschieht, wenn wir an irgend einer Stelle des Raumes eine nordmagnetische Masse entstehen lassen. Sie ist im Stande, uns Arbeit zu leisten, denn süd magnetische Pole werden von ihr angezogen. Diese Arbeit muss natürlich aus einer Arbeitsaufspeicherung genommen werden. Es muss also das Erzeugen der betrachteten nordmagnetischen Masse eine Arbeitsaufspeicherung im Raume bedeuten. Diese Arbeit wird umso mehr verbraucht, je näher die angezogenen Südpole zum Nordpole kommen. Wenn sie in denselben hineinstürzen, so wird der Magnetismus des Nordpols mehr und mehr geschwächt, bis er endlich ganz verschwunden ist. Das Erzeugen eines Poles erfordert Arbeit, die wir leisten müssen, und die im Raume aufgespeichert ist. Wir fragen uns nun: Liegt diese Arbeit an dem Punkt des Nordpols selbst oder im umgebenden Medium? Unsere frühere Ueberlegung lehrt uns, dass die aufgespeicherte Arbeit in dem Maße verschwindet, als angezogene Südpole näher rücken. Dadurch, dass der Südpol draußen im Raume sich bewegt, wird unser Arbeitsvorrath beeinflusst. Nun ist es uns aber undenkbar, wenngleich wir, durch das Fernwirkungsgesetz Newtons beeinflusst, Kräftewirkungen in die Ferne ruhig hinnehmen, dass eine Arbeit, die wir an irgend eine Stelle bringen, dadurch vermindert wird, dass an irgend einer anderen Stelle des Raumes etwas vor sich geht. Dieses Räthsel wird nur gelöst, wenn wir uns der Anschauung nicht verschließen, dass die Arbeit nicht in dem Punkte des Poles selbst liegt, sondern im ganzen umgebenden Raum, von dem Pol in das Medium gestrahlt war. Da tritt uns sofort die Vermuthung nahe: vielleicht sind die Kraftlinien die Leitlinien dieser Arbeitsausstrahlung in den Raum, vielleicht sind sie dann weiter die Vermittler der Kräfte nach außen.

Faraday hat zuerst diese Auffassung dargelegt und sogar eine Vermuthung über die Natur dieser Arbeits- und Kraftübertragung ausgesprochen. Er machte eine seltsame Beobachtung: Polarisirtes Licht erfährt unter Umständen durch magnetische Kraftlinien eine Drehung der Polarisations-Ebene. Zu diesem Zwecke genügt es, die Pole eines Elektromagneten zu durchbohren, polarisirtes Licht in der Richtung der Kraftlinien hindurchzusenden und mit einem zweiten Nicol'schen Prisma zu analysieren. Wenn die Lichtstrahlen dabei gewisse Medien zu passieren hatten, gewisse Glasgattungen, Flüssigkeiten, Gase, so kann eine Drehung der Polarisations-Ebene in einem bestimmten Sinne beobachtet werden. Dies deutet auf einen drehenden Charakter der Kraftlinien.

Noch ein anderes Phänomen führt darauf. Leuchtende Quecksilberdämpfe, im Spectralapparat beobachtet, geben eine hellgrüne Linie. Senden wir Kraftlinien längs der Beobachtungsrichtung durch den Quecksilberdampf, so erscheinen im Spectroskop zwei grüne Linien. Auch diese Erscheinung lässt sich durch einen drehenden Einfluss der Kraftlinien erklären. Bei leuchtenden Dämpfen schwingen die Aethertheilchen in elliptischen Bahnen; jede elliptische Schwingung kann in zwei kreisförmige entgegengesetzten Drehsinnes aufgelöst werden. Findet um die Kraftlinien eine Drehung statt,

welche die Schwingungen der Aethertheilchen beeinflusst, so wird die eine der kreisförmigen Schwingungen beschleunigt, die andere verlangsamt werden. Es entstehen aus den zwei Schwingungen gleicher Periode zwei Schwingungen ungleicher Periode; das bedeutet zwei Linien im Spectroskop. Dieses Phänomen ist bekannt unter dem Namen: „Zeeman'sches Phänomen.“

Endlich kann noch die Beobachtung von Hall herangezogen werden.

Alles beweist, dass die Kraftlinien einen drehenden Charakter haben, dass um sie irgend eine Drehung stattfindet, ein Wirbeln. Maxwell spricht auch von den Elementarwirbeln. Bei jeder wirbelnden Bewegung machen sich Centrifugalkräfte geltend, welche die wirbelnde Masse an den Polen abplatteten, am Aequator ausbauchen. Die Abplattung der magnetischen Elementarwirbel an den Polen gibt Anlass zur Entstehung von Zügen in der Richtung der Achsen, was die Kraftwirkung der magnetischen Körper erklären würde, das Bestreben der Kraftlinien, sich zu verkürzen. Die Ausbauchung am Aequator erklärt uns in einfacher Weise die Erscheinung, dass gleichgerichtete Kraftlinien sich gegenseitig abstoßen. Wir werden diese Erscheinung an einigen Darstellungen der Kraftlinien selbst beobachten können.

Die Achse jeder wirbelnden Bewegung bekommt den Charakter der Steifigkeit und Starrheit, und in der That werden wir Versuche dieser Steifigkeit der Magnetkraftlinien beobachten können.

Gehen wir zu den elektrischen Erscheinungen über, so können wir ähnliche grundlegende Beobachtungen zum Ausgangspunkte wählen, wie bei den magnetischen Erscheinungen.

Wir erkennen, dass es Elektricitäten entgegengesetzten Zeichens gibt, und beobachten Abstoßung zwischen gleichnamigen und Anziehung zwischen ungleichnamigen Elektricitäten. Im Gegensatz zum Magnetismus können wir Elektricität eines Zeichens allein darstellen und in den Raum bringen, während wir einen magnetischen Pol allein nie herstellen können.

Die Frage, was eine elektrische Ladung ist, können wir nicht beantworten. Wir beobachten nur, dass es ein Zwangszustand ist, ein Zustand, der sich nicht erhalten will, sondern nach Auflösung strebt. Schaffen wir diese Lösungsmöglichkeit, so wird der Zwangszustand verschwinden. Dieses Auflösungsstreben ist ein verschieden großes, je nach der Größe der Elektricitätsmenge, je nach der Form der Vertheilung, je nach Größe und Form des Trägers derselben. Wir bezeichnen dieses Auflösungsstreben als Spannung. Wenn zwei solche Zwangszustände mit verschieden intensivem Auflösungsstreben, mit verschiedener Spannung untereinander Ausgleichsmöglichkeit haben, so findet zwischen ihnen ein Ausgleich so lange statt, bis beide Zwangszustände gleich geworden sind. Elektrische Ladungen, zwischen denen eine Spannungsdifferenz herrscht, suchen sich auszugleichen, zwischen ihnen findet, wenn hiezu die Möglichkeit geschaffen wird, Elektricitätsbewegung statt. Wir wissen, dass wir diese Ausgleichsmöglichkeit schaffen, wenn wir zwei Körper, die elektrisch geladen sind, durch einen Metalldraht miteinander verbinden.

Freilich erhalten wir auf diesem Wege nur ein kurzes Fließen von Elektricität. Wollen wir ein dauerndes Fließen derselben gewinnen, so müssen wir dafür Sorge tragen, dass jedesmal, sobald ein Ausgleich der Spannungsdifferenz der Zwangszustände vor sich gegangen ist, von neuem der Zwangszustand geschaffen wird. Diese Schaffung immer neuer Zwangszustände nennen wir eine elektromotorische Kraft. Wir gewinnen sie z. B. auf chemischem Wege.

Geben wir in verdünnte Schwefelsäure zwei Platten, eine Kupfer- und eine Zinkplatte, so tritt infolge der verschiedenen chemischen Affinitäten eine Zerlegung der Schwefelsäure in Elementengruppen, Ionen, und eine Wanderung derselben ein. Diese wandernden Ionen müssen wir uns nach der neueren Theorie mit Elektrizitätsmengen geladen vorstellen, die eine mit positiver, die andere mit negativer. Sie bringen auf ihrer Wanderung die Elektrizitätsmengen zu den Elektroden. In unserem Falle die positiven zur Kupferplatte, die negativen zur Zinkplatte.

Die Wanderung selbst ist ein Ausfluss der Differenzen in den Affinitätsdrücken, welche die beiden Metalle auf den Elektrolyten ausüben. Mit dem Transport der Elektrizitäten an die Metallplatten findet eine Ladung derselben statt. Es entsteht jener Zwangszustand, von dem wir früher gesprochen haben, der sich nur mit Widerstreben erhält, und nur so lange wachsen kann, bis dieses Widerstreben gleich groß geworden ist dem Streben der Ionen, infolge der Affinität heranzuwandern und Elektrizität zu bringen. Nur so lange konnte die Ladung vor sich gehen, dann tritt Ruhe ein. Der Affinitätsdruck ist zwar noch vorhanden, die Ionen wollen noch wandern; da sie aber Elektrizität bringen und diese Elektrizität von der elektrischen Ladung abgestoßen wird, so tritt endlich Gleichgewicht ein. Wenn wir aber die zwei Platten durch einen Leiter miteinander verbinden, so findet ein Ausgleich der Zwangszustände durch diese Leiter statt, es fließt Elektrizität von einer Seite zur anderen, sich gegenseitig aufhebend. Es nehmen die Zwangszustände ab und halten infolge dessen dem Affinitätsdrucke nicht mehr das Gleichgewicht. So kann von neuem chemische Arbeit auftreten, von neuem die Zerlegung der Säure und die Wanderung der Ionen beginnen. Wir haben hier eine solche elektromotorische Kraft. Durch dieselbe kann ein Abfließen von elektrischen Ladungen, ein Abfließen von Elektrizität dauernd erhalten werden, und wir nennen eine solche Erscheinung einen elektrischen Strom.

Unter der Stärke des elektrischen Stromes verstehen wir die in der Secunde zum Abflusse gelangende Elektrizitätsmenge. Der elektrische Strom vermag Wirkungen in den Raum auszuüben und Arbeit zu leisten. Es ist selbstverständlich, dass diese Leistung im vorliegenden Falle ihr Aequivalent in der chemischen Leistung haben muss (Leistung ist die Arbeit in der Zeiteinheit). Da die chemische Leistung umso größer ist, je größer die durch die Wärmetönungen bedingten Affinitätsdifferenzen sind, und da diesen Affinitätsdifferenzen die elektromotorische Kraft entspricht, so wird die elektrische Leistung umso größer sein, je größer die elektromotorische Kraft ist. Da ferner die chemische Leistung umso größer ist, je mehr Aequivalente in der Secunde zur Zersetzung gelangten, je mehr Ionen zur Wanderung kamen, und da jede dieser Ionen Elektrizitätsmenge bringt und durch den Kreis schiekt, so wird die elektrische Leistung umso größer sein, je mehr Elektrizitätsmenge in der Secunde geflossen ist. Daher müssen wir sagen: Die Leistung eines elektrischen Stromes ist umso größer, je größer die elektromotorische Kraft und je größer die secundliche Elektrizitätsmenge oder die Stromstärke ist.

Unsere Einheiten sind so gewählt, dass das Product aus elektromotorischer Kraft und Stromstärke direct die Leistung gibt.

Da wir an den elektrischen Strömen magnetische Kraftäußerungen in den Raum beobachten, so liegt die Versuchung nahe, nach solchen Leitlinien der Kraftübertragung in den Raum zu forschen wie bei den Magneten.

Wenden wir das einfache Hilfsmittel zur Darstellung magnetischer Kraftlinien an, indem wir kleine, leicht bewegliche Eisentheilchen, Eisenfeilspäne, auf eine Ebene, eine Glasplatte, in die Nähe des Stromleiters bringen und

klopfen. Die Eisenfeilspäne springen in die Luft, werden für den Augenblick frei beweglich, richten sich in der Richtung der Kraftlinien und behalten, zu Boden fallend, die Lage bei. Stecken wir einen geradlinigen Leiter durch eine Glasplatte und machen diesen Versuch, so bemerken wir, dass sich die Eisenfeilspäne in concentrischen Kreisen um diesen geradlinigen Leiter anordnen. Wir sehen, dass die Kraftlinien wieder in sich geschlossene Curven bilden, ohne Anfang und Ende. Suchen wir die Richtung dieser Kraftlinien auf, indem wir einen beweglichen Nordpol an die Stelle derselben bringen, so beobachten wir, dass alle diese concentrischen Kraftlinien in dem Sinne verlaufen, wie er durch die Ampère'sche Schwimmregel oder durch die Daumenregel festgesetzt ist. Diese letztere lautet: Bringen wir die rechte Hand an den Stromleiter, mit dem Strome weisend und die Handfläche dem betrachteten Punkte des Raumes zugekehrt, so gibt der Daumen die Richtung der Kraftlinien in diesem Punkte an.

Wenn wir einen solchen geradlinigen Leiter zusammenbiegen, z. B. zur Kreisform, so werden alle die Kraftlinien, die den Leiter in concentrischen Ringen umgeben, einseitig zusammengedrückt. Eine solche Zusammendrückung ist aber mit abstoßenden Kräften verbunden, wie wir früher erörtert haben. Es müssen also solche zusammengedrückte Kraftlinien den Leiter, um den sie aufgefädelt sind, zu zerreißen suchen. Freilich sind diese Kräfte gering. Eine Goldblattschleife, vom Strome durchflossen, würde sich aufblähen. Sichtbar können wir diese Erscheinung dadurch machen, dass wir einen noch beweglicheren Leiter nehmen: glühende Dämpfe, Gase.

Ich habe hier einen Apparat, mit dem ich mir zwischen zwei hornförmig gebogenen Drähten Spannungen von 16.000 Volt erzeugen kann. Durch diese hohe Spannung entsteht ein Funke zwischen den beiden Hörnern, und da ein solcher Funke immer glühende Metaldämpfe mitreißt, so bildet sich dadurch eine fliegende, flüchtige Brücke zwischen den beiden Elektroden. Mit dem Uberspringen des Funkens tritt Elektrizitätsbewegung ein; es entstehen Kraftlinien um den durchflossenen Leiter, und wenn diese Kraftlinien Drücke auf den Leiter ausüben, so werden sie den Funken in die Höhe treiben.

Diese Vermuthung können wir durch den Versuch leicht bestätigen. Unterstützt wird das Hinauftreiben des Funkens noch durch das Blasen der erwärmten Luft. Die ganze Anordnung wird vielfach verwendet bei Blitzschutzvorrichtungen für Starkstrom-Anlagen und bei Hochspannungs-Ausschaltern. Sie bezweckt, eine solche Einrichtung zu treffen, dass eine Entladung zwar eintreten, aber der Funke nicht bestehen kann, sondern von selbst auslöscht. (Versuch.) (Fig. 1 zeigt das Aufsteigen des Funkenstromes, stroboskopisch aufgenommen.)

Nun wollen wir einige Kraftlinienbilder von Magneten sowohl als auch von Strömen betrachten. (Auf einem gläsernen Tischchen wurden mit Eisenfeilspänen Kraftlinien erzeugt und durch einen Projectionsapparat zur Darstellung gebracht.)

Reihen wir mehrere stromdurchflossene Windungen aneinander, so erhalten wir das Solenoid. Die Kraftlinien, die in eine Windung eintreten und sie auf der anderen Seite verlassen wollen, werden von der nächsten Windung erfasst und durch sie hindurchgeführt, dann wieder von der nächsten u. s. w. Sind die Windungen nahe genug aneinander, so erhalten wir eine solche Kraftlinien-Anordnung, wie wenn die Endflächen des Solenoids freie Magnetpole eines Magneten wären. Die Kraftlinien treten bei einem Ende des Solenoides aus, durchsetzen in Curven den Raum, dringen bei der anderen Seite wieder hinein und schließen sich so.

Die wichtigste Folge der Wechselwirkung zwischen elektrischen Strömen und Magnetpolen, die wir an der Ablenkung eines Nordpols erkannt haben, ist die Induction.

Bringen wir in ein magnetisches Feld, das z. B. diesen Raum in der Richtung von links nach rechts durchzieht, also so als wenn links in der Ferne ein Nordpol, rechts ein Südpol sich befände, einen horizontalen stromdurchflossenen Leiter senkrecht zu den Kraftlinien, so strebt dieser, nach der Ampère'schen Schwimmregel den Nordpol nach links zu bewegen; also wenn der Strom von mir gegen den Saal zufließt, wird der Nordpol in die Höhe gehoben. Wenn er aber fest ist, so wird der Leiter auf andere Weise diese relative Lageänderung zu erreichen streben. Er selbst wird eine Kraft nach abwärts erfahren. Bei dieser Bewegung, einer Kraft folgend, wird er mechanische Arbeit leisten können. Es ist eine nothwendige Folge, dass die mechanische Arbeit ihr Aequivalent in einer elektrischen finde und, auf die Zeit

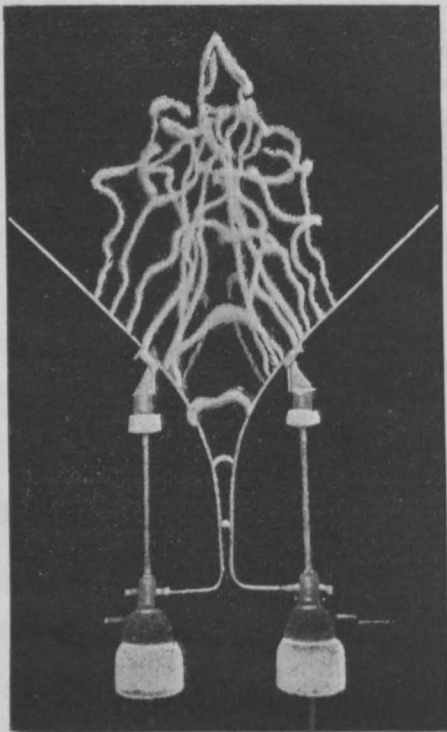


Fig. 1.

bezogen, die mechanische Leistung ihr Aequivalent in einer elektrischen Leistung. Da nun aber der Strom unserer Voraussetzung nach ungeändert bleibt, die elektrische Leistung aber durch das Product aus Spannung und Strom gegeben ist, so folgt daraus, dass der Betrag unserer elektrischen Leistung, die wir aufwenden müssen, in einer Erhöhung der Spannung gelegen sein muss.

Wir müssen eine höhere Spannung aufwenden, um den Strom in dem bewegten Leiter zu erhalten, als im ruhigen. Es tritt in dem Leiter elektromotorische Kraft auf, welche uns entgegenarbeitet, die von uns überwunden werden muss. Wir nennen sie die elektromotorische Gegenkraft. Sie spielt eine große Rolle bei Betrachtung und Berechnung der Elektromotoren. Von dieser Erscheinung der Erzeugung einer elektromotorischen Kraft durch die Bewegung eines Leiters in einem Magnetfelde können wir aber auch eine Nutzenanwendung in anderem Sinne machen. Wir bewegen einen stromlosen Leiter mechanisch durch das Magnetfeld. Auch jetzt wird — wie früher — eine elektromotorische Kraft entwickelt. Diese arbeitet uns jetzt nicht entgegen, da wir ja in den Leiter keinen Strom schicken, wir können sie vielmehr dazu benützen, elektrischen Strom durch einen äußeren Kreis fließen zu machen.

Diese Erzeugung einer elektromotorischen Kraft nennen wir Induction. Faraday spricht dieses Gesetz so aus: Wenn wir mit einem Leiter Kraftlinien schneiden, so wird in diesem Leiter eine elektromotorische Kraft induciert, die umso größer ist, je mehr Kraftlinien geschnitten werden. An den Enden dieses Leiters tritt Spannungsdifferenz auf, und verbinden wir sie durch einen Leiterkreis, so wird ein elektrischer Strom fließen.

Die hier auftretenden elektromotorischen Kräfte sind jedoch sehr klein. Um technische Anwendungen zu erzielen, müssen wir mehr und mehr Drähte nehmen. Selbstverständlich dürfen wir diese Drähte nicht nebeneinander zurückführen, sonst würden ja in beiden Drähten gleichsinnige elektromotorische Kräfte entstehen, und die beiden würden sich an ihrem Zusammenstoßpunkte aufheben. Wir müssen vielmehr den Draht in weiterem Bogen zurückführen, und erhalten so eine Windung.

Bewegen wir eine Windung im Magnetfelde so, dass wir mit einer Seite der Windung die Kraftlinien voll schneiden, während wir mit der anderen Seite wenige oder gar keine Kraftlinien schneiden, so erhalten wir gleichfalls eine Induction in dieser geschlossenen Windung. Wir bemerken dabei, dass es nothwendig ist, dass die beiden Seiten der Windung verschieden viele Kraftlinien schneiden. Da sich dabei die Zahl der Kraftlinien, die durch das Innere der Windung gehen verändert hat, so kommen wir zum Maxwell'schen Inductionsgesetze für Windungen: In einer Windung entsteht eine elektromotorische Kraft, wenn sich die Zahl der Kraftlinien, welche durch die Windungen dringen, verändert.

Beide Inductionsgesetze wollen wir durch einen Versuch nachweisen. Zur Beobachtung der stattfindenden Induction benützen wir ein empfindliches Instrument, in welchem ein Spiegel schon durch Einwirkung von sehr schwachen Strömen eine Ablenkung erfährt. Die Leiter oder Windungen, deren Induction wir untersuchen wollen, verbinden wir an ihren Enden mit diesem Instrumente, einem Spiegelgalvanometer. (Die Inductionsgesetze wurden für geraden Draht und Windung durch den Versuch nachgewiesen.)

Das allgemeinste Inductionsgesetz aber ist dasjenige, welches aus der Verschmelzung der Erscheinung der Induction mit dem Gesetze von der Erhaltung der Arbeit sich ergibt. Es ist das Lenz'sche Gesetz und lautet: Wenn irgendwo in einem Leiter durch Veränderung eine Induction stattfindet, so findet sie immer so statt, dass sich der inducierte Strom der inducierenden Ursache, der inducierenden Veränderung widersetzt. Dieses Gesetz wird uns in allen Fragen die richtige Antwort geben; die Veränderung kann eine solche der Lage oder Stärke sein.

Auch dort, wo wir die inducierten Ströme gar nicht genau verfolgen können, können wir über ihre Wirkung Aufschluss geben.

Wenn wir z. B. zwischen den Polschuhen eines kräftigen Magneten (Elektromagneten) eine Kupfermasse schwingen lassen (Waltenhofen'sche Pendel, Fig. 2 a und b), so werden in demselben Momente, wo der Magnetismus in den Polschuhen vorhanden ist oder entsteht, in der schwingenden Kupfermasse Ströme induciert, ganz unregelmäßiger Richtung, Wirbelströme, die wir nicht näher verfolgen können. Aber das eine steht fest: da sie durch die Bewegung des Kupfers im Magnetfelde erzeugt werden, werden sie sich dieser Bewegung widersetzen, dieselbe bremsen. Von dieser Erscheinung wird ja Anwendung gemacht bei den Bremsen der elektrischen Straßenbahnwagen. Der Motorführer schließt offene Windungen, welche mit dem Rade gekuppelt sind und sich in einem Magnetfelde drehen, durch mehr oder minder große Widerstände und schafft so die Möglichkeit, dass Ströme induciert werden. Die inducierten Ströme widersetzen sich der Bewegung und bremsen.

Wenn wir um die Pole eines Elektromagneten Windungen stecken und sie plötzlich abheben, so erhalten wir nach dem Maxwell'schen Inductionsgesetze in den Windungen eine Induction durch die Veränderung der Kraftlinienzahls in der Windung. Wir können aber diese Kraftlinienzahls in der Windung auch ändern, indem wir die Windungen ruhig auf dem Pol stecken lassen und den Magnetismus stärken oder schwächen. Wir könnten einen solchen Versuch an unserem Elektromagneten machen, indem wir die Kraftlinien des Magneten, der ja ein Elektromagnet ist, sehr rasch verändern und den inducierten Strom der Spule zur Beleuchtung einer kleinen Glühlampe verwenden. Diese Erscheinung wird noch deutlicher, wenn wir bei einem Elektromagneten durch die Art des erregenden Stromes den Magnetismus sehr rasch wechseln lassen.

Ich habe hier eine Spule, in welche ich einen langen Eisenkern, gebildet aus einzelnen Eisendrähten, hineinstecke. Durch die Windungen der Spule schiebe ich einen rasch wechselnden Strom, Wechselstrom aus dem Straßennetze. Es entstehen Kraftlinien; dieselben wechseln mit dem Strome. Halte ich eine zweite Spule, an deren Enden eine kleine Glühlampe angeschlossen ist, über das herausragende Ende, so bemerken wir, wie die Glühlampe aufleuchtet. Die

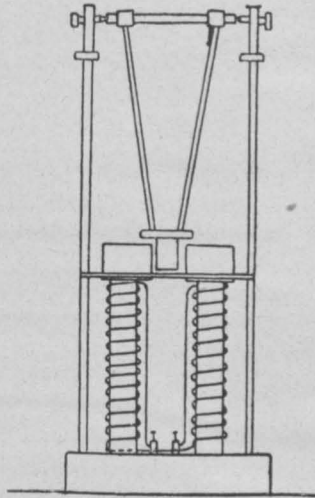


Fig. 2a.

Glühlampe leuchtet schon bei bloßer Annäherung, und ich könnte so die ganze Umgebung dieses Wechselstrom-Elektromagnetes nach Kraftlinien absuchen. Stecke ich die Spule ganz darüber, so kommt die Glühlampe in sehr heftiges Leuchten. (Versuche.) Nehme ich einen geschlossenen Kupferring und stecke ihn über den Eisenkern des Elektromagneten, so wird auch in ihm ein Strom induciert, und wir beobachten wieder das Lenz'sche Gesetz: Der inducierte Strom widersetzt sich dem Pulsieren der Kraftlinien. Er thut dies 1. dadurch, dass er selbst wechselnde Kraftlinien erzeugt, welche die Pulsation auszugleichen streben, und 2. dadurch, dass er den ganzen Ring dem Einflusse der pulsierenden Kraftlinien entziehen will. Der Ring springt aus dem Felde heraus. (Versuch.) Drücken wir den Ring mit Gewalt über den Eisenkern, so spüren wir die Kraftlinien wie einen elastischen Polster.

Die elektromagnetische Induction bildet eigentlich den Ausgangspunkt für die Definition unserer elektromotorischen Kräfte. Aus ihr ist auch die Einheit der elektromotorischen Kraft abgeleitet worden. Die praktische Einheit derselben ist das Volt. Für die Stromstärke gilt als Einheit ein Ampère, und beide Einheiten sind so gewählt, dass uns ihr Product die Leistung in Watt darstellt. Ein Watt ist gleich 10^7 Secunden-Erg. Da 1 Secunden-Kilogramm-Meter $= 9.81 \times 10^7$ Secunden-Erg und eine Pferdestärke $= 75$ Se-

cunden-Kilogramm-Meter ist, so ist $1 PS = 75 \times 9.81 = 736$ Watt. Den Quotienten aus Spannung und Strom nennen wir den Widerstand. Die Einheit desselben ist das Ohm.

Verbinden wir zwei Punkte verschiedener Spannung durch einen Leiter, so fließt durch denselben elektrischer Strom. Und umgekehrt: Fließt durch einen Leiter ein elektrischer Strom, so muss an seinen Enden ein Spannungsunterschied herrschen. Zwischen Punkten gleicher Spannung kann nie ein elektrischer Strom auftreten. Stellen wir unsere Betrachtung längs eines stromdurchflossenen Kreises an, so finden wir von Punkt zu Punkt im Sinne des Stromes eine Spannungsdifferenz, ein Spannungsgefälle. Die elektromotorische Kraft ist der gesammte durch chemische Action, durch elektromagnetische Induction oder sonstwie erzeugte elektrische Druck. Die Spannungsdifferenzen an den Enden einzelner Theile des Stromkreises sind eben Theile dieses gesammten elektrischen Druckes, der elektromotorischen Kraft. In der Maschine wird elektromotorische Kraft erzeugt. Schickt sie Strom in den äußeren Kreis, so wird auf dem ganzen Wege Spannung, Druck verbraucht, in der Wicklung der Maschine, in der Leitung und in der Lampe oder in einem sonstigen Verbrauchsapparat. Wir bezeichnen

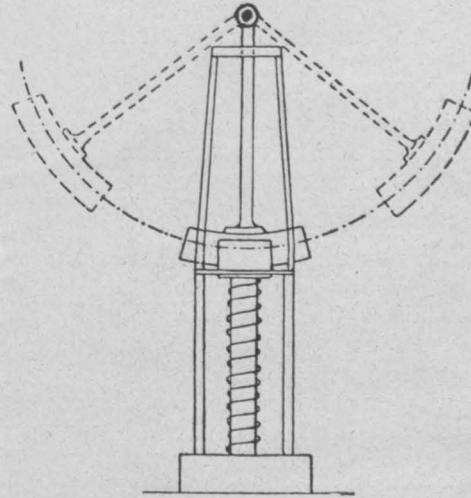


Fig. 2b.

ein Spannungsgefälle, das nothwendig ist, damit der Strom fließe, ohne dass wir es dort ausnützen, als Spannungsverlust; während wir jene Spannung, die an dem Orte der Verwertung, an der Lampe, entsteht, die Nutzs Spannung oder Verbrauchsspannung nennen. Ein solcher Spannungsverlust entsteht in der Wicklung der Maschine. An den Klemmen der Maschine herrscht somit schon eine kleinere Spannung als die elektromotorische Kraft, die Klemmenspannung. Ebenso bringen uns die Leitungen einen Spannungsverlust.

Wir können unsere Vorlesung nicht schließen, ohne unser Augenmerk auch darauf zu richten, wie es sich dann verhält, wenn wir zwei elektrische Ladungen verschiedener Spannung, zwei solche Zwangszustände verschiedenen Ausgleichungsbestrebens nicht durch einen metallischen guten Leiter, sondern durch einen flüssigen Leiter oder durch das, was wir Nichtleiter nennen, verbinden.

Bringen wir einen flüssigen Leiter, einen Leiter zweiter Classe, zwischen solche Enden mit Spannungsdifferenz, so wird in ihm das Verkehrte eintreten von dem, was wir zu Beginn unserer Betrachtung über elektrische Ströme erkannt haben. Die Ionen werden zu Trägern der Elektrizität und bringen sie von einer Seite auf die andere. Sie selbst müssen mitwandern, um die Elektrizität hinüberzubringen. Es ist dies ein ganz anderer Transport der Elektrizität wie

bei dem guten Leiter. Dieser Elektrizitätstransport kann oft gegen den Affinitätsdruck vor sich gehen, wie bei der Ladung eines Accumulators, oft auch ohne Ueberwindung eines solchen.

Sind die beiden Ladungen durch einen Nichtleiter, ein Dielektricum verbunden, so kann eine unmittelbare Ausgleichung der beiden Zwangszustände nicht eintreten.

Das nicht leitende Medium besteht aus einer Kette von isolierten Zellen. Der Uebertritt von Elektrizität aus einer in die andere ist versperrt. In jeder derselben selbst aber findet eine Polarisierung statt, eine Zerlegung des neutralen Zustandes in zwei entgegengesetzte Zwangszustände, der beeinflussenden Elektrizität die ungleichnamige Art zuwendend. Durch jede Ladung, die in den Raum gebracht wird, wird das umgebende Medium polarisiert. In jeder Zelle wird eine kleine Verschiebung von Elektrizität stattfinden, welche verschwindet, sobald die ursprüngliche Ladung verschwindet, und entgegengesetzt wird, sobald die ursprüngliche Ladung ihr Zeichen wechselt.

Denken wir uns nun die ursprüngliche Ladung im raschen Wechsel ihr Zeichen ändernd, so wird in jeder einzelnen Elementarzelle des Dielektriums eine solche rasch wechselnde Verschiebung stattfinden. Es treten Verschiebungsströme auf, welche in gleicher Weise mit magnetischen Kraftlinien verbunden sind wie die fließenden Ströme selbst. Auch hier wieder müssen wir uns die Fortpflanzung der Verschiebung von Theilchen zu Theilchen gehend denken; eine solche an die Zeit geknüpfte, wechselnde Verschiebung nennen wir eine Welle. So haben wir den Begriff der elektromagnetischen Welle kennen gelernt, welcher den Ausgangspunkt der elektromagnetischen Lichttheorie bildet. Eine erste Nutzenanwendung der elektromagnetischen Welle erblicken wir in der drahtlosen Telegraphie.

Jede neue Erkenntnis schafft der Technik neue Anwendungsgebiete, und es ist zu erwarten, dass durch die fortschreitende Erkenntnis des Wesens und der Gesetze der elektromagnetischen Welle der Elektrotechnik neue, fruchtbringende Anwendungsgebiete geschaffen werden.

Die Maße in der Elektrotechnik. — Einführung in das Wechselstromgebiet.

Vortrag, gehalten am 4. November 1901 von Dr. Johann Sahulka.

I.

Im ersten Vortrage wurde bereits erwähnt, dass in der Elektrotechnik gegenwärtig als Einheiten für Stromstärke, Spannung und Widerstand das Ampère, Volt und Ohm allgemein gebräuchlich sind. In früherer Zeit wurden nicht diese Maße angewendet, ebenso wie auch für die Länge und das Gewicht nicht das Kilogramm und Meter, sondern andere willkürlich gewählte Maßeinheiten benützt wurden. Die Maße sämtlicher physikalischer Größen lassen sich auf drei Fundamentalmaße zurückführen, u. zw. auf die Maße der Länge, der Materie und der Zeit; dies ist in dem Sinne zu verstehen, dass die Messung jeder physikalischen, bezw. elektrotechnischen Größe irgendwie zurückführbar ist auf Messungen von Längen-, Materien- und Zeiteinheiten. Die letzteren drei Einheiten nennt man die Fundamental-Einheiten; ihre Werte sind in dem allgemein angenommenen Centimeter - Gramm - Sekunden-System:

Längeneinheit: 1 cm.

Materieneinheit (Masseneinheit): Die Materienmenge, welche enthalten ist in 1 cm³ destillierten Wassers bei 4° C.

Zeiteinheit: 1 Secunde.

Werden die Maße der anderen physikalischen Größen so gewählt, dass sie aus diesen drei Fundamentalmaßen abgeleitet sind, so nennt man die sich ergebenden Einheiten die absoluten Maßeinheiten im Centimeter-Gramm-Sekunden-Systeme; wie diese Ableitung möglich ist, geht aus der nachfolgenden Zusammenstellung hervor.

Krafteinheit. Falls 1 cm³ reinen Wassers hier in Wien in unmittelbarer Nähe der Erdoberfläche ohne irgend ein Bewegungshindernis, also z. B. im luftleeren Raume, frei zur Erde fallen könnte, so würde infolge der Anziehung durch die Erde diese Wassermenge von dem Momente an gerechnet, wo sie freigelassen wird, nach einer Secunde bereits eine Geschwindigkeit von 980·8 cm per Secunde, nach zwei Secunden bereits die doppelte Geschwindigkeit u. s. w. haben. An verschiedenen Stellen der Erdoberfläche würde diese Geschwindigkeit nicht überall den genau gleichen Wert haben wie in Wien. Daher wurde nicht jene Kraft als Einheit der Kräfte gewählt, mit welcher 1 cm³ Wasser in Wien oder in einer anderen Stadt von der Erde angezogen wird, sondern jene Kraft, welche, auf 1 cm³ destillierten Wassers wirkend, diesem, wenn gar keine Bewegungshindernisse vorhanden sind, nach einer Secunde eine Geschwindigkeit von 1 cm pro Secunde verleiht. Die so gewählte Krafteinheit ist für alle Orte der Erdoberfläche genau gleich groß und heißt 1 Dyn. Die Kraft, mit welcher die Erde 1 cm³ Wasser in Wien anzieht, ist demnach gleich 980·8 Dyn; an anderen Orten der Erde ist diese Kraft etwas verschieden. Wählt man von anderen Stoffen

solche Mengen, dass sie von der Erde mit derselben Kraft (980·8 Dyn in Wien) angezogen werden wie 1 cm³ Wasser, was mittels einer Wage leicht ermittelt werden kann, so sagen wir von allen erhaltenen Stoffmengen, dass sie die gleiche Materienmenge (Massenmenge) besitzen wie 1 cm³ Wasser. Bringt man diese Stoffmengen an verschiedene Orte der Erde, so werden sie nicht mit der genau gleichen Kraft angezogen wie in Wien, mit der Wage verglichen erscheinen sie jedoch unter einander überall gleich schwer, weil die auf die verschiedenen Stoffe (Wasser, Messing u. s. w.) wirkende Anziehungskraft der Erde sich für alle Stoffe in gleicher Weise ändert. Das Gewicht von 1 cm³ destillierten Wassers von 4° C. oder einer äquivalenten anderen Stoffmenge, welches Gewicht als 1 g bezeichnet wird, repräsentiert daher an den einzelnen Orten der Erde nicht die genau gleiche Anzahl von Krafteinheiten (Dyn), und trotzdem ist die Wägung überall richtig, weil dieselbe nur eine Massenvergleichung ist. Wenn ein Körper ebenso schwer ist wie 1 cm³ reinen Wassers, so ist seine Masse die Masseneinheit, bezw. er enthält die Masse von 1 g.

Einheit der magnetischen Masse, das ist Polstärken-Einheit. Die Ursache der magnetischen Erscheinungen schreibt man dem Vorhandensein von magnetischen Massen zu. Denkt man sich zwei gleichnamige und gleich große (gleich starke) magnetische Massen in einem Abstände von 1 cm nebeneinander angeordnet, so müssen sie sich nach dem Coulomb'schen Gesetze mit einer Kraft abstoßen, welche den Massen direct proportional, dem Quadrate des Abstandes der Massen verkehrt proportional ist. Sind die beiden gleichen Massen gerade so gewählt, dass sich als abstoßende Kraft 1 Dyn ergibt, so sieht man jede dieser magnetischen Massen als Einheiten der magnetischen Masse im Centimeter-Gramm-Sekunden-Systeme an.

Einheit der Intensität eines magnetischen Feldes. Befindet sich eine magnetische Masse (ein Magnetpol) frei beweglich in einem magnetischen Felde, so wirkt auf ihn in der Richtung der Kraftlinien des Feldes eine Kraft, welche proportional ist der Größe der magnetischen Masse und der Stärke (Intensität) des magnetischen Feldes. Ein Feld hat die Einheit der Stärke im absoluten Maßsysteme, wenn eine in dasselbe versetzte magnetische Masseneinheit mit der Kraft 1 Dyn in der Richtung der magnetischen Kraftlinien getrieben wird. In diesem Falle wird, wie bereits im ersten Vortrage erwähnt wurde, das magnetische Feld in der Weise bildlich dargestellt, dass, wenn man senkrecht zur Richtung der magnetischen Kraftlinien eine Fläche legt, welche in Quadrate von 1 cm² Größe eingetheilt ist, auf jedes einzelne Quadratcentimeter nur eine Kraftlinie, die z. B. vom Mittelpunkte desselben ausgehen kann, entfällt. Ist die Stärke des Feldes gleich mehreren Einheiten, so entfallen pro jedes einzelne Quadrat-

centimeter ebenso viele Kraftlinien, als die Feldstärke Einheiten hat, in gleichförmiger Vertheilung.

Einheit der Stromstärke im elektromagnetischen Maße. Zur Feststellung dieser Einheit dient folgende Ueberlegung: Es möge ein Strom durch einen Leiter fließen, von welchem ein Theil so beschaffen ist, dass er gerade die Form eines Kreisbogens von 1 cm Länge hat, dem gerade auch ein Radius von 1 cm Länge entspricht; in das Centrum des Bogenstückes werde eine magnetische Masseneinheit (Magnetpol von der Stärke 1) gebracht; es möge nur die Wirkung des in dem betrachteten Bogenstücke fließenden Stromes auf die magnetische Masse im Centrum betrachtet werden. Der Strom wirkt auf diese Masse mit einer Kraft, deren Richtung senkrecht ist auf der Ebene, die man durch das Bogenstück und das Centrum legt, und zwar nach der Seite hin, nach welcher die linke Hand des im Strome schwimmend gedachten Ampère'schen Schwimmers zeigt, wenn sich im Centrum eine nordmagnetische Masse befindet. Nach dem Biot-Savart'schen Gesetze ist die auf die magnetische Masse ausgeübte Kraft im vorliegenden Falle proportional der Stärke des Stromes, der Größe der magnetischen Masse, der Länge des Bogenstückes und verkehrt proportional dem Quadrate des Radius.

Die drei letzteren Größen haben im betrachteten Beispiele alle die Werte der Einheit. Man wählt jene Stromstärke als die Einheit der Stromstärke im Centimeter-Gramm-Secunden-Systeme, welche im vorliegenden Beispiele der Strom, welcher durch das Bogenstück von 1 cm Länge und 1 cm Radius fließt, haben müsste, damit er gerade mit der Kraft 1 Dyn auf die magnetische Masseneinheit im Centrum des Bogenstückes wirkt. Dies ist die absolute Einheit der Stromstärke. Die Einheit 1 Ampère (gebräuchliche Einheit) ist zehnmal kleiner als diese Einheit. Ein Strom von 1 Ampère scheidet, wenn man ihn durch eine wässrige Lösung von Silbernitrat hindurchsendet, in welche zwei Platten aus Platin oder Silber eingetaucht sind, an jener Platte, wo er aus der Flüssigkeit austritt, in jeder Secunde 0.001118 g Silber aus.

Einheit der elektromotorischen Kraft. Wird ein gerader Leiter von 1 cm Länge in einem magnetischen Felde, dessen Intensität gleich der Einheit der Feldintensitäten ist, senkrecht zur Richtung der magnetischen Kraftlinien mit einer gleichförmigen Geschwindigkeit von 1 cm pro Secunde bewegt, so wird in dem Leiter eine elektromotorische Kraft induciert, deren Größe als Einheit der elektromotorischen Kräfte im Centimeter-Gramm-Secunden-Systeme angenommen wurde. Die Einheit 1 Volt ist 100,000.000mal größer. Dem nach Clark benannten hydroelektrischen Elemente (Quecksilber als eine Elektrode, oberhalb einer Paste von oxydfreiem Quecksilbersulfat und neutralem Zinksulfat, in welche Paste ein Zinkstäbchen eintaucht) entspricht, wenn das Element keinen Strom abgibt, bei 15° C. eine elektromotorische Kraft von 1.434 Volt. Elektrischen Beleuchtungsanlagen entspricht gewöhnlich eine Betriebsspannung von 110 Volt oder 150 Volt; bei der ersteren Spannung erfordert eine Lampe, deren Leuchtkraft gleich 16 Kerzenstärken ist, einen Strom, dessen Stärke ca. 1/2 Ampère ist. Eine Bogenlampe erfordert ca. 50 Volt Spannung und eine Stromstärke von 6—10 Ampère.

Einheit des Widerstandes. Wenn ein Leiter so beschaffen ist, dass eine auf ihn einwirkende elektromotorische Kraft, deren Größe gleich der Einheit der elektromotorischen Kraft ist, in dem Leiter gerade einen Strom hervorruft, dessen Stärke gleich der Einheit der Stromstärke ist, so gilt der Widerstand dieses Leiters als die Einheit des elektrischen Widerstandes im Centimeter-Gramm-Secunden-Systeme. Die gebräuchliche Einheit 1 Ohm ist 1,000,000.000mal größer. Hat ein Leiter den Widerstand 1 Ohm, so ruft die elektromotorische Kraft 1 Volt in ihm

gerade den Strom von der Stärke 1 Ampère hervor. Allgemein ist gemäß dem Ohm'schen Gesetze die Anzahl der Ampère gleich der Anzahl der Volt, dividirt durch die Anzahl der Ohm. Dieses Gesetz gilt für den Fall, als der Strom ein Gleichstrom ist; wenn jedoch der Strom ein Wechselstrom ist, so gilt, wie an späterer Stelle erläutert wird, dieses Gesetz nur unter gewissen Beschränkungen. Der Widerstand 1 Ohm ist gleich dem Widerstande eines Quecksilberfadens von 106.3 cm Länge und 1 mm² Querschnitt, wenn das Quecksilber chemisch rein ist und die Temperatur des schmelzenden Eises hat.

Einheit der elektrischen Arbeitsleistung. Fließt ein Strom in einem Leiter, so wird stets eine elektrische Arbeit geleistet, die einer mechanischen Arbeitsleistung äquivalent ist. Haben die Stromstärke und die auf den Leiter entfallende elektrische Spannung Werte, welche gleich sind den Einheiten im Centimeter-Gramm-Secunden-Systeme, so wird pro Secunde im Leiter die Arbeitseinheit geleistet. Hat der Strom die Stärke 1 Ampère, und ist die Spannung 1 Volt, so ist die entsprechende Arbeitsleistung 1 Watt; dieselbe ist äquivalent einer mechanischen Arbeitsleistung von $\frac{1}{9.81}$ Kilogramm-Meter pro 1 Secunde.

Da einer Pferdekraft eine Arbeitsleistung von 75 kg/m pro 1 Secunde entspricht, ist 1 PS äquivalent einer elektrischen Arbeitsleistung von $75 \times 9.81 = 736$ Watt. Eine Arbeitsleistung von 1000 Watt heißt 1 Kilowatt. Einer 16kerzigen Glühlampe von 100 Volt und 1/2 Ampère entspricht ein Verbrauch von 50 Watt, d. i. circa 1/15 PS; einer Bogenlampe von 50 Volt und 6 Ampère entsprechen 300 Watt, d. i. circa 0.4 PS.

II.

Erzeugung von Wechselstrom, Princip der Wechselstrom-Maschine. Im ersten Vortrage wurde ein Versuch über Induction gezeigt (Seite 6), welcher darin bestand, dass eine Spule aus isoliertem Draht vor einen kräftigen Magnetpol gebracht und hierauf wieder von demselben entfernt wurde. Die Enden der Drahtspule waren mit einem Strommessinstrumente (Galvanometer) verbunden. Aus dem Versuche ergab sich, dass sowohl während der Dauer der Annäherung der Spule an den Magnetpol als auch während der Dauer der Wegbewegung von dem Pole in der Spule ein elektrischer Strom induciert wurde, welcher im letzteren Falle die entgegengesetzte Richtung hatte wie im ersten Falle; wenn die Spule in unveränderlicher Lage gehalten wurde, fand keine Induction statt. Bei der Annäherung und Wegbewegung der Spule muss eine mechanische Arbeit geleistet werden, welche größer ist als die Arbeit, die zur einfachen Lageänderung der Spule erforderlich ist. Der Magnetpol und der in der Spule inducierte Strom wirken nämlich mit einer Kraft aufeinander, welche die Bewegung, die wir mit der Spule vornehmen, hemmt (Lenz'sches Gesetz). Daher ist während der Bewegung der Spule vor dem magnetischen Pole ein Mehrbetrag an mechanischer Arbeit zu leisten; derselbe bildet die Gegenleistung für den erhaltenen Strom, bzw. für die demselben entsprechende elektrische Arbeit, die, wie an früherer Stelle erörtert wurde, äquivalent ist einer mechanischen Arbeit. Betrachten wir nun die nebenstehende Fig. 1, und nehmen wir an, dass von den in derselben gezeichneten Magnetpolen N_1, S_1, N_2, S_2 , die wir uns als die Pole von horizontal gelagerten cylindrischen, geraden Magneten denken, zunächst nur der erste nordmagnetische Pol N_1 allein vorhanden sei; die einzelnen Magnete, welche entweder permanente oder mit Gleichstrom erregte Elektromagnete sein mögen, seien senkrecht zur Papierebene, und zwar unmittelbar hinter derselben gelagert, so dass die in der Figur gezeichneten Pole gegen uns ragen. Zu dem Pole N_1 möge eine Spule C , welche die in der

Figur gezeichnete Anfangslage hat, und deren Windungsebene in der Papierebene liegt, bewegt werden. Die Spule möge einen eisernen Kern haben und mit einer Drehachse A in Verbindung stehen. Wir wollen annehmen, dass von den in der Figur gezeichneten Spulen C, D, E, F zunächst nur die Spule C vorhanden sei. Während der Annäherung der Spule C an den Pol N_1 entsteht in derselben ein Inductionsstrom, welcher in der Richtung des einfachen Pfeiles fließt; der Kern der Spule wird durch den Inductionsstrom so magnetisiert, dass er auf der dem Pole N_1 zugekehrten Seite nordmagnetisch wird, so dass die Spule C während der Annäherung an den Pol N_1 von diesem abgestoßen wird. Dieser Inductionsstrom entsteht während der ganzen Dauer der Annäherung der Spule C an den Pol N_1 . In dem Momente, wenn sich die Spule mit dem Pole deckt, entsteht kein Inductionsstrom. Wird die Spule C von dem Pole N_1 wegbewegt, bis sie an die Stelle D kommt, so wird während der Wegbewegung fortwährend in der Spule ein Strom induciert, welcher im Vergleich zu dem während der Annäherung entstandenen Inductionsstrom entgegengesetzt gerichtet ist. Der Kern der Spule C wird daher während der Wegbewegung der Spule vom Pole N_1 an der dem Pole zugewendeten Seite süd magnetisch sein, so dass die Spule von dem Pole N_1 angezogen wird. Man ersieht, dass sowohl

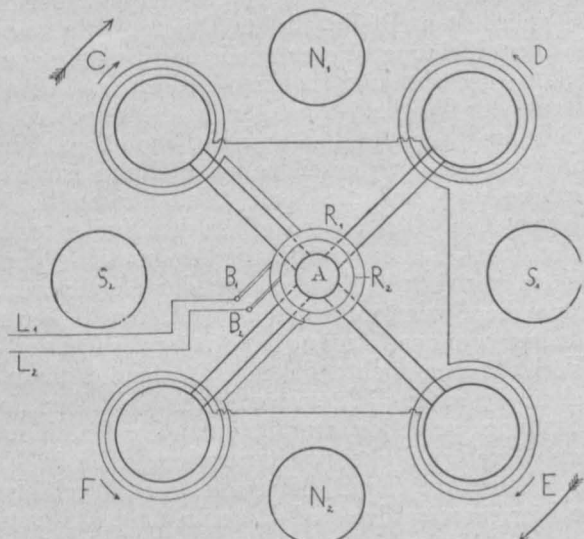


Fig. 1.

während der Annäherung als während der Wegbewegung der Spule eine mechanische Arbeit geleistet werden muss, welche größer ist als in dem Falle, wenn der Pol N_1 nicht vorhanden wäre; das Aequivalent für die Mehrarbeit ist der erzeugte Inductionsstrom. Würde man die Spule C im gleichen Sinne wie früher von D aus in der durch die gefiederten Pfeile angegebenen Drehrichtung weiter bewegen, so würde in derselben, da sie aus dem Bereiche des magnetischen Feldes des Poles N_1 gelangt, kein Strom induciert werden. Nehmen wir aber an, dass auch die anderen in der Figur gezeichneten Magnetpole S_1, N_2, S_2 bereits an den angedeuteten Stellen vorhanden sind, so ersehen wir, dass während der Annäherung der Spule an den Pol S_1 in derselben ein Inductionsstrom entsteht, welcher die gleiche Richtung hat wie der infolge der Entfernung der Spule vom Pole N_1 entstandene Strom.

Wenn die Spule mit dem Pole S_1 zur Deckung gelangt, hört der Inductionsstrom während eines Zeitmomentes auf zu fließen; während der Bewegung der Spule von S_1 zu N_2 hat der Strom wieder die gleiche Richtung wie bei der Lage C der Spule. Im Momente, wenn sich die Spule mit dem Pole N_2 deckt, ist sie wieder stromlos; während der Bewegung von N_2 zu S_2 hat der Inductionsstrom wieder die gleiche Richtung wie bei der Lage D der Spule. Wird

die Spule kontinuierlich um die Achse A gedreht, so entsteht ein Strom, welcher jedesmal, wenn die Spule bei einem Pole vorbeibewegt wird, die Richtung wechselt. Tragen wir in einem Coördinaten-System die Zeitwerte als Abscissen, die jeweiligen Stromwerte als Ordinaten auf, und zwar je nach der Stromrichtung oberhalb, bzw. unterhalb der Abscissenachse, so erhalten wir die sogenannte Stromcurve (Fig. 2), welche zeigt, wie sich der Strom

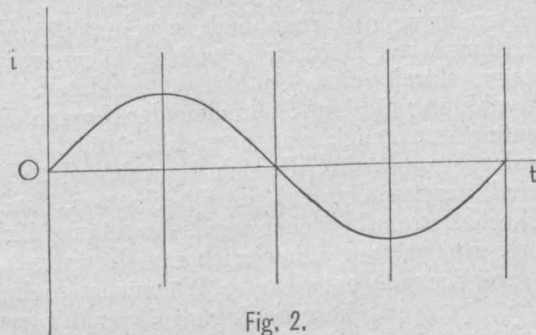


Fig. 2.

ändert. Derselbe erlangt nach Verlauf einer gewissen Zeit immer periodisch dieselben positiven und negativen Werte und wird ein Wechselstrom genannt; eine Maschine, welche geeignet ist, solche Ströme zu erzeugen, heißt eine Wechselstrom-Maschine. Die Zeit, während welcher der Strom eine volle Werteänderung (alle positiven und negativen Werte) erleidet, heißt eine Periode; die Anzahl der Perioden pro Secunde ist die Periodenzahl des Wechselstromes. In dem früher besprochenen Beispiele entstehen während einer vollen Umdrehung der Spule zwei Perioden, so dass die Periodenzahl des in der Spule erzeugten Wechselstromes gleich ist dem doppelten Werte der Tourenzahl pro Secunde. Die Zahl der Magnetpole muss nicht, wie nur beispielsweise angenommen wurde, gleich vier sein, sondern könnte allgemein gleich $2n$ sein; in diesem Falle entsprechen einer Umdrehung n Perioden. Außer der Spule können, wie in dem in der Fig. 1 dargestellten Beispiele einer Wechselstrom-Maschine ersichtlich ist, noch andere Spulen D, E, F , die ebenfalls um die Achse A drehbar sein mögen, so angeordnet sein, dass die in denselben während der Bewegung entstehenden Inductionsströme gleichzeitig die Richtung wechseln; dies ist der Fall, wenn sich alle Spulen gleichzeitig mit den Magnetpolen decken. Die Wicklungen der Spulen kann man untereinander so verbinden, dass die in allen Spulen entstehenden Inductionsströme sich in ihrer Wirkung unterstützen. Der Anfang der Wicklung der ersten Spule C und das Ende der Wicklung der letzten Spule F werden nicht verbunden, sondern mit zwei von einander isolierten, auf der Achse A angeordneten Metallringen (Schleifringen) verbunden, auf welchen zwei Metallbürsten B_1, B_2 schleifen, die mit einem äußeren Stromkreise in Verbindung stehen. Es ist klar, dass auf diese Weise von den Spulen an den äußeren Stromkreis ein Wechselstrom abgegeben wird. Die in der Fig. 1 dargestellte Maschine kann in Bezug auf ihren Bau in mannigfacher Weise in Bezug auf die Anordnung der Magnetpole und der Spulen abgeändert werden; auch können die Spulen durch andere Arten von Wicklungen ersetzt werden. Man kann auch die Magnetpole um die Achse rotieren lassen und dagegen die Spulen C, D, E, F fix anordnen. In diesem Falle kann man den Wechselstrom von fixen Klemmen abnehmen, muss aber den rotierenden Elektromagneten mittels Schleifringen den für ihre Erregung nothwendigen Gleichstrom zuführen. Der letztere wird in der Regel von einer besonderen Stromquelle, der sogen. Erregermaschine, geliefert. Die Magnete NS bilden zusammen den Feldmagneten, die Spulen C, D den Anker der Wechselstrom-Maschine; einer der beiden Theile muss von einer Triebmaschine (Dampfmaschine oder Turbine) gedreht werden, um in der Ankerwicklung einen

Wechselstrom zu erzeugen. Die gebräuchlichen Wechselstrom-Maschinen erzeugen Ströme, deren Periodenzahl von 20 bis zu 150 Perioden pro Secunde beträgt. In der Centrale der Internationalen Electricitäts-Gesellschaft in Wien werden Wechselströme erzeugt, welchen 42 Perioden pro Secunde entsprechen.

Verwendung der Wechselströme. — Messung derselben. Mit Wechselstrom kann man ebenso wie mit Gleichstrom Glühlampen und Bogenlampen zum Leuchten bringen; ferner auch, wie im folgenden Abschnitt erklärt wird, Motoren betreiben. Wenn man einen Wechselstrom durch eine Glühlampe sendet, so ist die Wärmeentwicklung in dem Glühfaden der Lampe in jedem Zeitmomente veränderlich, und zwar hängt sie ab von dem Quadrate der Stromstärke, die sich fortwährend ändert. Die Lampe wird, wenn sie einmal mit Gleichstrom, das andere mal mit Wechselstrom betrieben wird, dann in beiden Fällen gleich stark glühen und daher auch gleich stark leuchten, wenn die pro Secunde entwickelte Wärmemenge in beiden Fällen gleich groß ist; diese Bedingung ist erfüllt, wenn der Durchschnittswert der Quadrate der jeweiligen Wechselstromwerte ebenso groß ist wie das Quadrat der Stromstärke des Gleichstromes. Man schreibt in diesem Falle dem Wechselstrom dieselbe Ampèrezahl zu, welche der Gleichstrom hat, und nennt diesen Wert den Effectivwert oder die effective Stärke des Wechselstromes. Dieser Wert ist demnach gleich der Quadratwurzel aus dem Durchschnittswerte der Quadrate der Wechselstromwerte. In ganz übereinstimmender Weise spricht man von dem Effectivwerte der elektromotorischen Kraft oder Spannungsdifferenz, wenn dieselbe periodisch veränderlich ist, und drückt dieselbe in Volt aus. Die von einem Wechselstrom-Apparate verbrauchte elektrische Arbeitsleistung ist im allgemeinen nicht gleich dem Producte der effectiven Werte von Stromstärke und Spannung wie in dem Falle, wenn der Apparat von Gleichstrom durchflossen ist, sondern etwas kleiner, so dass das angegebene Product noch mit einem Factor multipliciert werden muss, welcher kleiner ist als die Einheit und von der Beschaffenheit des Apparates und den Betriebsverhältnissen abhängig ist; der Factor wird in der Regel als Cosinus eines Winkels ausgedrückt. Wenn man den Wechselstrom durch Glühlampen sendet, ist die verbrauchte elektrische Arbeitsleistung genau gleich dem Producte der Effectivwerte von Stromstärke und Spannung.

Princip des mit einfachem Wechselstrom betriebenen, synchron laufenden Wechselstrom-Motors. Betrachten wir nochmals die in Fig. 1 schematisch dargestellte Maschine, und nehmen wir an, dass der durch die Spulen CDE gebildete Anker nicht von einer Triebmaschine angetrieben werde, sondern still stehe; durch die Leitungen $L_1 L_2$ möge ein von einer anderen Wechselstrom-Maschine erhaltener Strom in die vorliegende Maschine gesendet werden, um sie als Motor zu betreiben. Wir ersehen, dass jede einzelne Spule je nach der Richtung des durchfließenden Stromes, welcher nach jeder halben Periode die Richtung wechselt, von dem benachbarten Magnetpole angezogen oder abgestoßen wird. Bei einer Periodenzahl von 42 Perioden pro Secunde würde jede Spule 42mal während einer Secunde von dem benachbarten Pole angezogen und ebenso oft abgestoßen. Aus diesem Grunde kann der Anker nicht in Rotation kommen, da hiefür eine längere Zeit hindurch in gleicher Richtung wirkende Kraft erforderlich wäre. Die Maschine kann daher, wenn wir einen Wechselstrom in dieselbe senden, nicht als Motor angehen, und zwar nicht einmal im unbelasteten, noch weniger im belasteten Zustande. Stellen wir uns aber nun vor, es möge der Anker durch irgend ein Hilfsmittel in Rotation versetzt werden, und zwar mit der sogen. synchronen Geschwindigkeit, d. h. so rasch gedreht werden, dass die Spulen sich während der Dauer einer halben

Periode des Wechselstromes gerade von einem Magnetpole zum nächsten bewegen. Die Rotationsrichtung sei hiebei nicht die Richtung der gefiederten Pfeile, sondern entgegengesetzt gerichtet. Wenn die Spulen gerade die gezeichnete Lage haben und der durch die Leitungen $L_1 L_2$ zugeführte Wechselstrom in den Spulen gerade die Richtung hat, welche durch die einfachen Pfeile angedeutet ist, so wird im Kerne der Spule C an der dem Papier zugewendeten Seite ein Nordpol entstehen; die Spule wird daher vom Pole N_1 abgestoßen, vom Pole S_2 angezogen, so dass eine Kraft in demselben Sinne wirksam ist, in welchem die Drehung stattfindet. Dasselbe gilt von den anderen Spulen. Wenn die Spule C beim Pole S_2 vorübergeht, ändert sich gleichzeitig auch die Richtung des zugeführten Wechselstromes; daher bleibt die auf die Spule von den Magnetpolen $S_2 N_2$ geübte Kraft wieder in der Rotationsrichtung wirksam; ebenso verhalten sich die anderen Spulen. Der Anker wird sich daher von selbst ohne weitere Einwirkung einer äußeren Kraft im angegebenen Drehungssinne mit synchroner Rotationsgeschwindigkeit weiterdrehen. Da hiebei auf die Spulen und ihre Kerne fortwährend von den Magnetpolen aus Kräfte einwirken, können vom Anker aus auch andere Maschinen angetrieben werden.

Es ist hiebei nicht notwendig, dass der Anker, wie früher angenommen wurde, sich entgegengesetzt der Richtung der gefiederten Pfeile dreht. Denken wir uns den Anker in der Richtung dieser Pfeile mit synchroner Geschwindigkeit gedreht und nehmen jedoch an, dass die Spulen, wenn der Wechselstrom gerade die durch die einfachen Pfeile angedeutete Richtung hat, um einen Viertelkreis im Vergleich zur gezeichneten Stellung zurück gelegen seien, so dass sich die Spule C an der Stelle F befindet. Wir ersehen, dass die zwischen den Spulen und den Magnetpolen wirksamen Kräfte wieder im Sinne der Rotation wirken, so dass die Maschine wieder als Motor laufen kann. Wenn die Spulen in beiden betrachteten Fällen nicht gerade die angenommene Anfangslage haben, so ändert sich an den Verhältnissen nichts, da sich die Spulen dann von selbst, indem sie anfänglich ein wenig zurückbleiben, in die richtige Stellung einstellen, worauf dann die Maschine mit synchroner Geschwindigkeit weiter rotiert. Die in Fig. 1 dargestellte Maschine kann daher auch mit Wechselstrom als Motor betrieben werden und kann in beiden Rotationsrichtungen als Motor laufen; sie kommt jedoch nicht von selbst in Gang, muss künstlich auf synchronen Lauf gebracht werden und kann nur während des synchronen Laufes zum Antriebe anderer Maschinen Kraft abgeben. Der Umstand, dass die Maschine als Motor nicht von selbst angeht und während des Betriebes eine ganz bestimmte Rotationsgeschwindigkeit hat, die nur durch Aenderung der Zahl der Magnetpole und Ankerspulen abgeändert werden kann, ist als ein bedeutender Nachtheil anzusehen.

Princip des Wechselstrom-Transformators. Bringen wir in eine Spule P (Fig. 3), welche von Wechselstrom durchflossen ist, einen aus Eisendraht bestehenden Kern K , so wird derselbe magnetisiert werden. Da der Wechselstrom nach jeder halben Periode die Richtung wechselt, muss sich auch die Polarität des Kernes übereinstimmend ändern, so dass während einer halben Periode die Richtung des magnetischen Feldes im Kern z. B. von unten nach oben gerichtet ist, in der nächsten halben Periode entgegengesetzt gerichtet ist u. s. f. Schiebt man auf den Kern eine zweite Spule S , so wird in ihr infolge der Aenderung des Magnetismus des Kernes fortwährend eine Induction ausgeübt, und zwar ein Wechselstrom induciert, welcher die gleiche Periodenzahl hat wie der Strom in der Spule P . Die Spule P heißt die primäre Spule, S die sekundäre Spule. Verbindet man die Enden der Spule S mit einer Glühlampe L , so kommt dieselbe zum Leuchten. (Versuch.) Wie stark die Ströme, welche in einer

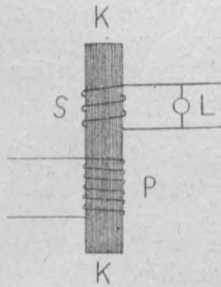


Fig. 3.

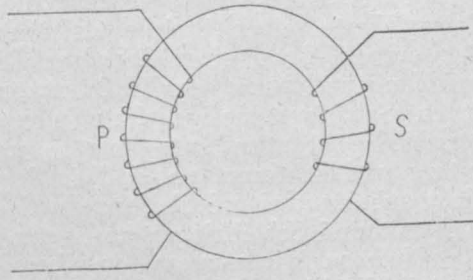


Fig. 4.

secundären Spule erzeugt werden, sein können, ersehen wir an dem folgenden Versuche. Wenn wir als secundäre Spule einen einfachen geschlossenen Metallring wählen, so bewirken die erzeugten Ströme, dass ein kupferner Ring in kurzer Zeit sehr heiß wird, ein Bleiring sogar schmilzt. (Versuch.) Wickelt man die Spulen *P* und *S* nicht auf einen geraden Eisenkern, sondern auf einen aus Eisendrähten oder Eisenblechen zusammengesetzten Ring (Fig. 4) oder einen anderen Eisenkörper von geschlossener Form, und schicken wir wieder durch die Spule *P* einen Wechselstrom, so wird hiebei der Ring fortwährend magnetisiert. Wegen der leichten Magnetisierbarkeit des Eisens ist das in der Luft entstehende magnetische Feld im Verhältnisse zu dem im Eisenkörper entstehenden Felde so schwach, dass es gar nicht beachtet zu werden braucht. Die im Ringe entstehenden magnetischen Kraftlinien sind concentrische kreisförmige Linien und verlaufen ganz im Eisen. Alle von der primären Spule im Eisenringe erzeugten Kraftlinien gehen daher durch die secundäre Spule hindurch, und umgekehrt gehen die von der secundären Spule erzeugten Kraftlinien durch die primäre Spule hindurch. Messen wir die Spannungsdifferenzen zwischen den Enden der primären Spule und den Enden der secundären Spule, so ersehen wir, dass dieselben sich genau so verhalten wie die Windungszahlen der Spulen; dies ist deshalb erklärlich, weil beide Spulen das gleiche magnetische Feld umschließen.

Schaltet man an die secundäre Spule Apparate, z. B. Glühlampen, an, so wird in denselben eine elektrische Arbeit verbraucht. Dieser muss eine aufgewendete Arbeit entsprechen; der Arbeitsaufwand findet in der primären Spule statt, und zwar erfolgt diese Arbeitsübertragung aus dem primären in den secundären Kreis unter Vermittlung der Spulen und des gemeinsamen Kernes. Je mehr Arbeit man in dem an die secundäre Spule angeschlossenen Stromkreise (secundären Kreise) verbraucht, desto mehr Arbeit muss in der primären Spule aufgewendet werden. In dem Apparate selbst finden bei dieser Arbeitsübertragung Verluste in den Wicklungen und im Kerne statt, welche aber verhältnismäßig nur gering sind.

Wenn man im secundären Kreise viel Arbeit verbraucht, so wird, wenn man die Verluste im Apparate vernachlässigt, in der primären Spule angenähert die gleiche Arbeit verbraucht. Die von der primären Spule verbrauchte elektrische Arbeit muss von der Stromquelle geliefert werden, an welche die primäre Spule angeschlossen ist. Da sich die Spannungsdifferenzen an den Enden der primären und secundären Spule wie die Windungszahlen der Spulen verhalten, und da die in der primären Spule aufgewendete und die im secundären Kreise wieder gewonnene Arbeit nahezu gleich sind, müssen die Stromstärken in der primären und secundären Spule sich umgekehrt verhalten wie die Windungszahlen; in Wirklichkeit muss wegen der Verluste, die der Apparat selbst verursacht, und noch wegen einer anderen Ursache die Stromstärke in der primären Spule etwas größer sein als dieser Wert. Der besprochene Apparat wirkt als ein Umwandler, Transformator, für elektrische Arbeit. Man kann mit demselben einen Strom von gegebener Span-

nung in einen Wechselstrom von gleicher Periodenzahl, aber n -fach größerer oder kleinerer Spannungsdifferenz umwandeln, wobei gleichzeitig der umgewandelte Strom angenähert, bezw. n -fach schwächer oder stärker ist als der in den Apparat gesendete Strom. Wird die Windungszahl der secundären Spule größer gewählt als die der primären, so wird die Spannung erhöht und die Stromstärke vermindert; im anderen Falle tritt das entgegengesetzte ein. Man kann derartige Transformatoren in der Weise benutzen, dass man den von einer Wechselstrom-Maschine, welche Ströme von sehr hoher Spannungsdifferenz erzeugt, gelieferten Strom an den einzelnen Verbrauchsstellen, welche mit der Maschine durch Leitungen verbunden sind, auf eine niedere Spannungsdifferenz transformiert, worauf der transformierte Strom zum Betriebe der Verbrauchsapparate benützt wird. Man kann auch die Wechselstrom-Maschine so bauen, dass sie selbst Strom von geringer Spannung liefert, welcher mittels eines Transformators in einen hochgespannten Strom von geringer Stärke umgeformt wird, zu dessen Fernleitung dann nur schwache Leitungen erforderlich sind, worauf an den Verbrauchsstellen der hochgespannte Strom mittels Transformatoren wieder in niedergespannten Strom umgewandelt wird.

Vortheil der Anwendung hoher Spannungen. Um die elektrische Energie auf größere Entfernungen von einer Stromerzeugungsstelle (Centrale) aus in ökonomischer Weise leiten zu können, ist es vortheilhaft, eine möglichst hohe Spannung anzuwenden; darauf hat Deprez zuerst im Jahre 1881 aufmerksam gemacht. Die Distanzen, auf welche man die elektrische Energie bei Anwendung verschiedener Spannungen in gleich vortheilhafter Weise übertragen kann, nehmen in quadratischem Verhältnisse mit der angewendeten Spannung zu; dies kann aus dem folgenden Beispiele ersehen werden: Ein elektrischer Motor erfordere zu seinem Betriebe eine Arbeitsleistung von 1000 Watt, u. zw. in der Form eines Stromes von 10 Ampère bei 100 Volt Betriebsspannung. Wir wollen annehmen, dass in den Leitungen zwischen der Stromerzeugungsstelle und dem Motor ein Energieverlust von 5%, d. i. von 50 Watt, stattfinden dürfe. In diesem Falle müssen die den Motor mit der Stromerzeugungsstelle verbindenden Leitungen so dimensioniert werden, dass in denselben ein Spannungsverlust von 5 Volt stattfindet, da mit Rücksicht auf die Stromstärke von 10 Ampère der Verlust in den Leitungen dann den angegebenen Wert hat; die Dynamo in der Stromerzeugungsstelle muss daher einen Strom von 105 Volt Spannung abgeben.

Nehmen wir nun an, dass die Wicklungen der Dynamo und des Motors so abgeändert werden, dass diese Maschinen bei gleicher Leistung für die zehnfache Spannung geeignet seien. Die Fernleitungen mögen dieselbe Stärke haben, wie in dem früher betrachteten Beispiele. Der Motor erfordert nun einen Strom von 1 Ampère bei 1000 Volt Spannung. In den Fernleitungen darf ein Energieverlust von 50 Watt wie früher eintreten, welchem Verluste mit Rücksicht auf die Stromstärke von 1 Ampère nun ein Spannungsverlust von 50 Volt entspricht, so dass der von der Dynamo abgegebene Strom eine Spannung von 1050 Volt hat. Bei gleicher Distanz von Motor und Dynamo wie im früheren Falle würde im zweiten Beispiele wegen der zehnfach kleineren Stromstärke der Spannungsverlust in den Fernleitungen nicht 5 Volt, sondern nur 0.5 Volt betragen. Da nun aber der Spannungsverlust im zweiten Falle 50 Volt betragen darf, kann bei Festsetzung des gleichen procentuellen Energieverlustes in den Fernleitungen und bei Annahme gleicher Stärke der Leitungen im zweiten Falle die Distanz zwischen Motor und Dynamo hundertmal, das ist 10^2 mal größer gewählt werden als im ersten Falle; die angewendete Spannung war dabei zehnmal so groß als im ersten Falle.

Um festzustellen, wie weit man in der Erhöhung der Spannungen gehen könne, wurden im Jahre 1898 in Amerika sehr eingehende Versuche von der Westinghouse Co. und der Telluride Power Transmission Co. ausgeführt. Aus den Versuchen hat sich ergeben, dass die Witterungsverhältnisse ohne wesentlichen Einfluss sind auf die in den Fernleitungen entstehenden Verluste, ebenso erscheint im Falle der Anwendung von Wechselstrom zur Energieübertragung die Wahl der Periodenzahl belanglos. Die Verluste in den Fernleitungen setzen sich zusammen aus dem Verluste infolge des Widerstandes der Leitungen, aus dem Verluste infolge Stromableitung an den Isolatoren und aus dem Verluste infolge directen Stromüberganges zwischen den Fernleitungen durch die Luft. Der letzterwähnte Verlust ist bei Anwendung niedriger Spannungen äußerst gering, beginnt aber, wenn die Spannungsdifferenz der Leitungen 20.000 Volt übersteigt, zu wachsen und wird bei Spannungen über 50.000 Volt sehr groß. Die Fernleitungen leuchten dann mit bläulichem Lichte im Dunkeln und geben direct große Energiemengen an die Luft ab. Die Grenze in der Anwendung hoher Spannungen ist daher bei circa 40.000 Volt gegeben; einem Strome von 1 Ampère entspricht bei dieser Spannung eine Leistung von circa 54 PS. Bei Benützung isolierter Drähte würde man noch höhere Spannungen anwenden können, doch ist es nicht möglich, Leitungen in betriebssicherer Weise für so hohe Spannungen zu isolieren. In der Praxis sind bei Kraftübertragungs-Anlagen thatsächlich Spannungen von 10.000—20.000 Volt zur Anwendung gelangt; bei der Anlage von Provo nach Mercur Mills in Utah ist sogar eine Spannung von 40.000 Volt angewendet. Ganz analoge Verhältnisse wie bei der elektrischen Kraftübertragung treten bei der Vergrößerung der Fallhöhe eines Wasserfalles auf. Je größer die Fallhöhe, desto kleiner braucht bei gleicher Arbeitsleistung die Wassermenge zu sein. Wir dürften aber, wenn wir ein Mittel hätten, die Fallhöhe nach Belieben zu vergrößern, doch nicht zu weit gehen, weil sonst das Wasser während des Falles zu sehr zerstäuben würde; diese Erscheinung ist mit der Energieabgabe der elektrischen Leitungen an die Luft zu vergleichen. Würde man das Wasser in ein Rohr einschließen, so würde zwar das Zerstäuben verhindert, doch wäre es bei zu großer Fallhöhe nicht möglich, genügend feste Rohre herzustellen, ebenso wie es bei elektrischen Leitungen nicht möglich ist, eine genügend haltbare Isolation der Drähte zu erzielen.

Wechselstrom-Maschinen für mehrphasige Ströme. Drehstrom-Maschine. Denken wir uns bei der in der Fig. 1 schematisch dargestellten Maschine an dem Anker nicht bloß die Spulen *CDEF*, sondern noch vier andere gleichartige und in gleicher Art verbundene Spulen gerade in den Zwischenräumen zwischen den Spulen *CDEF* angeordnet. Die Enden der Wicklung seien wieder mit zwei isolierten Schleifringen verbunden, von welchen ein Strom für einen äußeren Stromkreis abgenommen werde. Die neuen Spulen werden einen Strom von gleicher Periodenzahl und Spannung liefern wie die Spulen *CDEF*, doch wird stets, wenn der Strom in diesen Spulen das Maximum seines Wertes hat, der Strom in dem neuen Spulensysteme gerade den Nullwert haben und umgekehrt. Man sagt in diesem Falle, die von den beiden Spulensystemen gelieferten Ströme seien in der Stromphase

verschoben, u. zw. haben sie einen Phasenunterschied von einem Viertel einer Periode, da eben der zweite Strom stets um die Dauer einer Viertelperiode früher oder später das Maximum, bzw. den Nullwert, erreicht als der vom ersten Spulensysteme gelieferte Strom. Da man für zwei verschiedene Ströme stets eine gemeinschaftliche Rückleitung wählen kann, so sind in dem betrachteten Falle nicht unbedingt vier Schleifringe nothwendig, man könnte auch mit drei Schleifringen auslangen.

Nehmen wir nun an, dass bei der in Fig. 1 dargestellten Maschine zwischen je zwei Spulen zwei gleichartige Spulen in gleichmäßiger Weise angeordnet und dass die homologen Spulen in der angegebenen Weise zu Stromkreisen vereinigt sind, so würde die Maschine drei Ströme von gleicher Periodenzahl, aber verschiedener Phase liefern. Man kann den Anfang und das Ende der drei Spulenwicklungen so anordnen, bzw. die Spulen so combinieren, dass die erhaltenen Ströme um je ein Drittel einer Periode in der Phase verschoben sind.

Denken wir uns z. B. die 12 vollkommen gleichen Spulen der Reihe nach, wie sie in der Peripherie des Ankers angeordnet sind, mit den Zahlen 1, 2, 3 bis 12 bezeichnet, so bilden die Spulen 1, 4, 7, 10, d. i. *CDEF*, das erste System I; in ganz gleicher Art geschaltet, bilden die Spulen 3, 6, 9, 12 das zweite System II; die Spulen 5, 8, 11, 2 das dritte System III. Die von den drei Spulensystemen gelieferten Ströme könnte man mittels sechs Schleifringen in drei äußere Kreise leiten; eventuell könnte man für alle drei Ströme eine gemeinsame Rückleitung wählen und daher mit vier Schleifringen auskommen. In dem betrachteten Falle, wenn die drei Ströme gerade einen Phasenunterschied von je einem Drittel einer Periode haben, ist jedoch, wenn in allen drei Stromkreisen gleich starke Ströme entnommen werden, die Summe der Momentanwerte der drei Ströme in jedem Augenblicke gleich Null. Man kann daher den vierten für die gemeinsame Stromrückleitung bestimmten Schleifring und die zugehörige Leitung ganz weglassen und kommt mit drei Schleifringen, bzw. wenn der Anker fest und der Feldmagnet beweglich ist, mit drei Klemmen am Anker aus; jeder einzelne der drei Ströme bildet die Rückleitung für die beiden anderen Ströme. Die Schaltung der Spulensysteme kann nach einer der in den Fig. 5 und 6 dargestellten Arten vorgenommen werden. In beiden Figuren sind bei *G* die mit *I II III* bezeichneten drei Spulensysteme des Ankers einer Wechselstrom-Maschine dargestellt, welche drei in der Phase um je ein Drittel einer Periode verschobene Ströme liefert, während bei *M* die analogen Spulensysteme des im folgenden noch zu besprechenden Motors ebenfalls mit *I II III* bezeichnet sind. Zwischen *G* und *M* sind die drei Fernleitungen $L_1 L_2 L_3$ angeordnet. Die Schaltung gemäß Fig. 5 nennt man die offene oder Sternschaltung, die Schaltung nach Fig. 6 die geschlossene oder Dreiecksschaltung. Eine Maschine, welche derartige Ströme liefert, wird aus einem an späterer Stelle angegebenen Grunde eine Drehstrom-Maschine genannt; ebenso wird die Gesamtheit der von der Maschine abgegebenen Ströme mit dem Worte Drehstrom bezeichnet.

Wechselstrommotor für mehrphasige Ströme, Drehstrommotor. Um die Wirkungsweise dieser Art von Wechselstrommotoren in einfacher Art zu erläutern, gehen wir von dem bekannten Apparate von

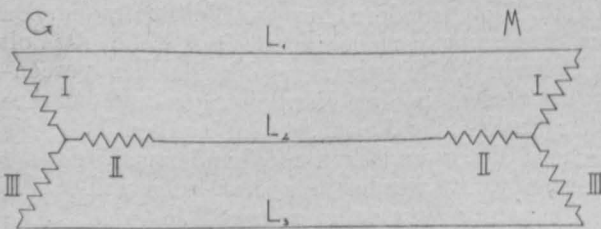


Fig. 5.

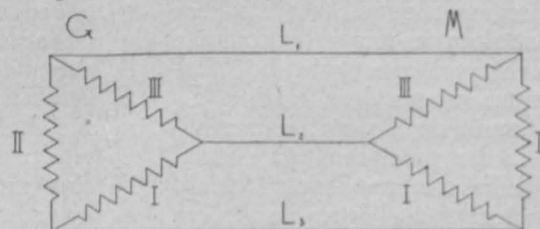


Fig. 6.

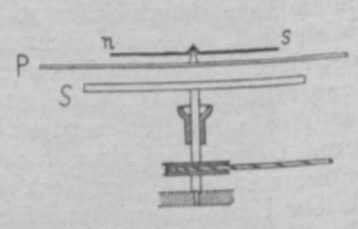


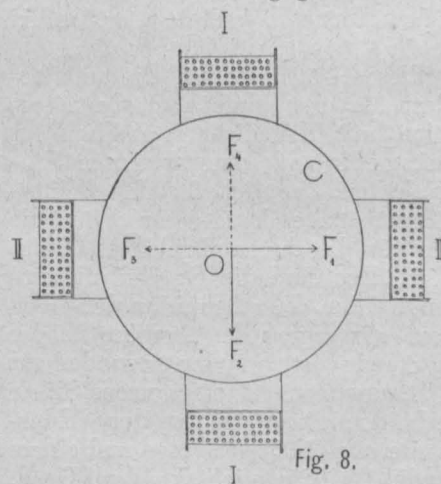
Fig. 7.

A r a g o aus. Dieser (Fig. 7) besteht aus einer um eine verticale Achse drehbaren Kupferscheibe S ; oberhalb derselben ist eine Glasplatte P fix angeordnet, auf welche eine Declinationsnadel $n s$ aufgesetzt ist. Wird die Scheibe S gedreht, so gelangt auch die Declinationsnadel im gleichen Drehungssinne in Rotation, u. zw. nicht etwa infolge einer Luftströmung, da die Glasplatte P verhindert, dass die von der Kupferscheibe erzeugte Luftströmung auf die Nadel übertragen wird, sondern nur infolge der Wirkung von Inductionsströmen. Die von der Magnetnadel ausgehenden magnetischen Kraftlinien durchsetzen nämlich zum Theile die Scheibe und daher entstehen in dieser während der Drehung der Magnetnadel Inductionsströme. Nach dem L e n z'schen Gesetze ist die Wechselwirkung zwischen der Magnetnadel und der bewegten Scheibe eine derartige, dass die Drehung der Scheibe gehemmt wird, und daher wird die Nadel in gleichem Drehungssinne mitgezogen, in welchem die Scheibe gedreht wird.

Der A r a g o'sche Versuch ist auch umkehrbar. Wenn anstatt der Scheibe die Magnetnadel gedreht wird, so entstehen ebenfalls in der Scheibe Inductionsströme, und wird dieselbe im Drehungssinne der Nadel mitgezogen. Zum Gelingen des Versuches ist in diesem Falle erforderlich, dass die Declinationsnadel durch einen kräftigen permanenten oder Elektromagneten ersetzt wird; überdies ist es vorthellhaft, dem Magneten eine solche Form zu geben, dass die Enden desselben gegen die Scheibe zu umgebogen sind,

so dass die magnetischen Pole direct der Scheibe zugekehrt sind.

In der Mitte der Achtzigerjahre ist nun der italienische Physiker Galileo Ferraris und unabhängig von ihm Nicola Tesla in Amerika auf die Idee gekommen, die Wirkung des vorerwähnten rotirenden Magneten durch die Wirkung zweier magnetischer Felder zu ersetzen, welche durch Wechselströme verschiede-



ner Phase erzeugt werden. In Fig. 8 ist das Schema des Apparates von Ferraris dargestellt; die Figur stellt einen horizontalen Schnitt durch den Apparat vor.

Mit C ist ein um eine verticale Achse O drehbarer Kupfereylinder bezeichnet, welcher von zwei Spulen I und II umschlossen ist, durch welche zwei Wechselströme von gleicher Periodenzahl gesendet werden, welche einen Phasenunterschied von einem Viertel einer Periode haben.

In einem bestimmten Zeitmomente hat der Strom in der Spule I seine größte Intensität, während der Strom in der Spule II gerade den Nullwert hat; in diesem Momente erzeugt nur die Spule I ein magnetisches Feld in der Richtung OF_1 . Nach Verlauf von einem Viertel einer Periode hat der Strom in der Spule II seine größte Stärke, während der Strom in der Spule I den Nullwert hat; in diesem Momente hat das magnetische Feld die Richtung OF_2 . Während des Verlaufes des Viertels der Periode war in beiden Spulen Strom vorhanden und erzeugten daher beide Spulen magnetische Felder, bezw. in den Richtungen OF_1 und OF_2 ; diese Felder, welche entsprechend den Stromstärken etwas schwächer als OF_1 und OF_2 sind, setzen sich stets zu einem resultierenden magnetischen Felde zusammen, dessen Richtung eine Mittellage zwischen OF_1 und OF_2 einnimmt.

Das magnetische Feld nahm daher im ersten Viertel der Periode allmählich alle Richtungen von OF_1 angefangen

bis OF_2 an. Nach Ablauf von zwei Vierteln der Periodendauer der Wechselströme hat wieder der Strom in der Spule I das Maximum seiner Stärke, aber die entgegengesetzte Richtung wie in dem anfänglich betrachteten Momente; die Spule II ist wieder stromlos; die Spule I erzeugt allein das magnetische Feld, und zwar in der Richtung OF_3 . Nach einem weiteren Viertel der Periode ist nur in der Spule II Strom vorhanden, und zwar im Maximum der Stärke, aber in entgegengesetzter Richtung als nach Ablauf des ersten Viertels der Periode; das Feld hat nun die Richtung OF_4 . Nach Verlauf der ganzen Periode hat das Feld wieder die Richtung OF_1 . Die beiden Spulen, bezw. die in denselben fließenden Ströme, erzeugen daher in dem von ihnen umschlossenen Raume ein magnetisches Feld, welches sich dreht, d. i. ein sogenanntes magnetisches Drehfeld. Das Feld dreht sich in dem betrachteten speciellen Falle während der Dauer einer Periode einmal herum. Durch eine geänderte Anordnung der Spulen und Wahl einer größeren Anzahl von Spulen kann man erzielen, dass das Feld während der Dauer einer Periode nur den zweiten, dritten u. s. w. Theil einer vollen Umdrehung macht.

In gleicher Weise wie bei Anwendung von zwei Wechselströmen verschiedener Phase kann man auch bei Anwendung von drei Wechselströmen $I II III$, die paarweise einen Phasenunterschied von einem Drittel einer Periode haben, ein magnetisches Drehfeld erzeugen. Die Spulen, bezw. Wickelungen, welche die Ströme $I II III$ durchfließen, können dann nach dem in Fig. 5 oder Fig. 6 dargestellten Schema verbunden sein.

Durch die Wirkung des magnetischen Drehfeldes kommt der Cylinder C geradeso in Rotation wie infolge der Einwirkung eines Magneten, der sich innerhalb des Cylinders um eine verticale Achse drehen würde. Wählt man statt eines Kupfereylinders einen aus übereinander gelegten kreisförmigen Eisenblechen gebildeten Cylinder, welcher mit einigen in sich geschlossenen Wicklungen versehen ist, deren Windungsebene parallel zur Drehachse ist, so wird ein derartiger Cylinder durch die Einwirkung des magnetischen Drehfeldes mit viel größerer Kraft in Rotation versetzt als ein einfacher Kupfereylinder. In diesem Falle kann der Apparat als Motor verwendet werden und wird ein Mehrphasenstrom- oder Drehfeld-Motor genannt. Der mit den kurzgeschlossenen Wicklungen versehene Cylinder wird der Anker des Motors genannt. Der Motor kann in seiner Construction mannigfach abgeändert werden, auch kann der Anker den feststehenden Theil des Motors bilden. Wenn speciell der Motor mit drei in der Phase verschobenen Wechselströmen betrieben wird und die Schaltungen gemäß Fig. 5 oder 6 angewendet sind, so wird er häufig Drehstrommotor genannt. Die Bezeichnung wurde deshalb gewählt, weil durch die Wirkung der drei Wechselströme ein magnetisches Drehfeld entsteht.

Die Geschwindigkeit, welche der Anker eines Drehfeldmotors annehmen kann, ist höchstens gleich der Rotationsgeschwindigkeit des magnetischen Drehfeldes (synchroner Lauf), da bei Erlangung dieser Geschwindigkeit keine relative Lageänderung des Drehfeldes gegenüber dem Anker mehr eintritt, also auch keine Ströme im Anker mehr induciert werden und daher auch keine Kraftwirkung auf den Anker mehr zustande kommt.

Wie aus dem Gesagten hervorgeht, haben die Drehfeldmotoren der beschriebenen Art die Eigenschaft, dass sie von selbst in Gang kommen, u. zw. auch unter Belastung angehen; sie haben also dieselben Vorzüge wie die Gleichstrom-Motoren. Ueberdies können sie aber so ausgeführt werden, dass der bewegliche Theil (Anker) frei ist von jeder Art von Stromzuführung, was als ein sehr großer Vorzug anzusehen ist. Die früher erwähnten Nachteile der Synchronmotoren sind daher durch die Drehfeldmotoren vollkommen beseitigt worden.

Ueber elektrische Messungen und Messinstrumente.

Vortrag, gehalten am 18. November 1901 von Prof. Dr. August Raps.

I.

Der Einladung des Oesterr. Ingenieur- und Architekten-Vereines bin ich mit großem Vergnügen gefolgt. Es ist an mich die Aufgabe herangetreten, Ihnen die elektrischen Messungen und die elektrischen Messapparate hier, soweit es im Rahmen eines Vortrages ausführbar ist, zu beleuchten.

Ich stehe nicht an, zu behaupten, dass die Entwicklung der Elektrizität in innigem Zusammenhange steht mit der Entwicklung der elektrischen Messmethoden und Messinstrumente. Die elektrischen Kräfte und ihre Eigenschaften lagen nicht so offenkundig zutage wie die anderen Naturkräfte. Dass z. B. ein herabfallender Stein, eine herabstürzende Wassermasse große Arbeiten zu leisten vermögen, das drängt sich unserem Bewusstsein unmittelbar auf. Es waren uns ferner schon seit langer Zeit die Kräfte bekannt, welche den Dämpfen erhitzter Flüssigkeiten innewohnen, und ebenso auch die Kräfte, welche zur Ausnutzung gelangen, wenn sich feste oder flüssige Körper plötzlich vergasen. Die Wege, welche zur Entdeckung der elektrischen Kräfte führten, waren nicht so einfach. Sie waren im Gegentheil umständlich und mühselig. Man gelangte bloß dadurch ans Ziel, dass schon sehr frühe elektrische Messungen, und zwar sehr genaue Messungen, in ausgedehntem Maße ausgeführt worden sind.

Es sind die ausgezeichnetsten Geister, die wir besessen, welche uns diese elektrischen Messmethoden zugänglich gemacht haben; Faraday, Maxwell, Kirchhoff, Thomson, Weber, Helmholtz, ohne aller der anderen zu gedenken, die auch Großes auf diesem Gebiete geleistet haben. Es wäre sehr verführerisch, die Geschichte dieser Messmethoden oder Messinstrumente hier zu verfolgen. Doch dieses Unterfangen wäre zu gewagt, wir kämen damit bei der Kürze der Zeit nicht durch. Ich schlage Ihnen daher vor, einen anderen Weg zu beschreiten, und lade Sie ein, an der Hand typischer Messinstrumente neuester Construction einzelne Methoden, welche uns die wichtigsten elektrischen Größen zu messen gestatten, hier heute Abend mit mir kurz zu verfolgen. Meine Herren Vorgänger auf diesem Platze haben Sie schon mit dem Wesen der Elektrizität und ihrer Constanten bekannt gemacht. Deshalb kann ich mich kurz fassen. Ich will bloß sagen, dass es besonders folgende Größen sind, die uns interessieren: Der elektrische Widerstand, die Stromstärke, die Spannung, ferner die elektrische Leistung und die elektrische Arbeit. Diese Größen wollen wir messen lernen. Wie Sie wissen, sind die Grundeinheiten, auf denen die elektrischen Größen basieren, von drei Grundconstanten abgeleitet, und zwar von der Längeneinheit, von der Masseneinheit und von der Zeiteinheit. Alle diese Einheiten sind gewählt nach internationaler Vereinbarung, und einigte man sich auf das Centimeter, das Gramm, die Secunde,

daher die Bezeichnung *cgs*-System. Es hat der ausgezeichnete Physiker Thomson scherzweise einmal ausgesprochen, dass, wenn es passieren sollte, dass eine gewaltige Explosion auf unserem Planeten stattfinden würde, und es würde einer von uns in den Raum geschleudert und dieser Eine sei zufälligerweise versehen mit einem Centimetermaße und einem Grammgewicht — eine Taschenuhr hat er sicher ohnedies bei sich — so wäre er im Stande, unser gesamtes Maßsystem auf dem Planeten, auf dem er landen würde, zu reproducieren.

Es sind nun nicht diese Größen selbst, die uns beschäftigen werden, sondern äußerst einfach davon abgeleitete, durch Multiplication mit dekadischen Zahlen aus ihnen gewonnene. So entstanden aus den absoluten Einheiten die praktischen Einheiten, nämlich für den Widerstand das Ohm, für die Stromstärke das Ampère, für die Spannung das Volt, ferner für die davon abgeleitete Größe, für die Leistung, das Watt. Das sind die Größen, die uns hauptsächlich beschäftigen werden. Die Definition derselben machen wir einfach, indem wir sagen: das Ampère ist die Stromstärke, welche im Stande ist, in der Secunde aus einer reinen, wässrigen Lösung von salpetersaurem Silber 0.001118 g Silber auszuscheiden. Das Ohm ist der Widerstand einer Quecksilbersäule von 1.063 m Länge und einem Querschnitte von 1 mm², die 14.452 g wiegt, bei Null Grad. Aus diesen Größen können wir die übrigen ohneweiters ableiten. Als eine andere Größe, die für die Praxis große Wichtigkeit besitzt, stellt sich uns die Isolation dar. Da sie aber weiter nichts als ein Widerstand ist, so wird durch sie die Schaffung einer neuen Einheit nicht erforderlich. Bloß die Art und Weise, wie sie auftritt, fordert uns zur näheren Betrachtung auf sowie auch der vorerwähnte Umstand. Ich möchte Sie noch auf eine Größe ganz besonders aufmerksam machen und Ihnen später zeigen, wie man sie misst; das ist die Permeabilität des Eisens. Diese ist für die Elektrotechnik von einschneidender Bedeutung. Die Permeabilität ist die Größe, die uns anzeigt, wie vielmal dichter die Kraftlinien in dem Eisen concentrirt sind als im magnetischen Felde, welches das Eisen umgibt. Das ist namentlich für den Bau von Dynamomaschinen und für die Construction elektrischer Apparate sehr wichtig.

Wir wollen nun die Instrumente, die zum Verificieren und zum Messen dieser Größen vorhanden sind, besprechen.

Ich sagte schon, dass wir anfangen wollen mit den Widerstandsmessungen. Nun, nach der Definition des Widerstandes liegt es nahe, bei Vergleichen von Widerständen sich der Quecksilbereinheit zu bedienen. Diese ist aber sehr umständlich zu transportieren und daher für die Praxis wenig geeignet. Man hat deshalb schon frühzeitig danach gestrebt, diese Quecksilbernormale durch eine andere, leicht zu handhabende, zu ersetzen.

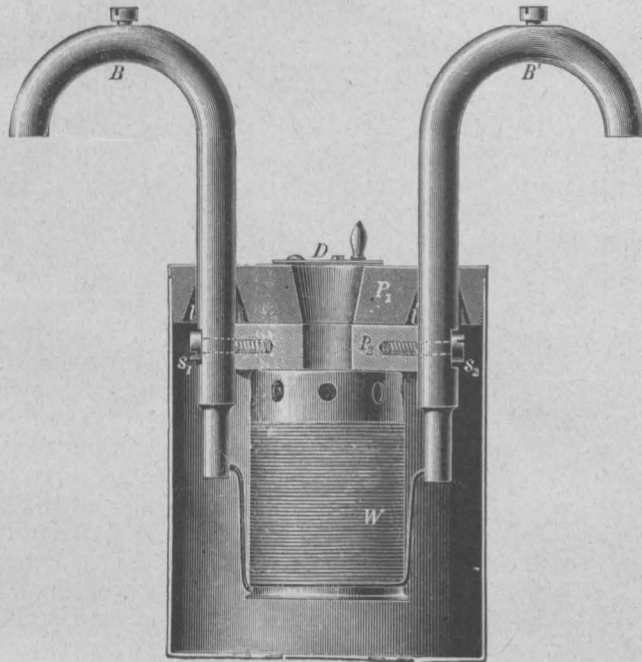
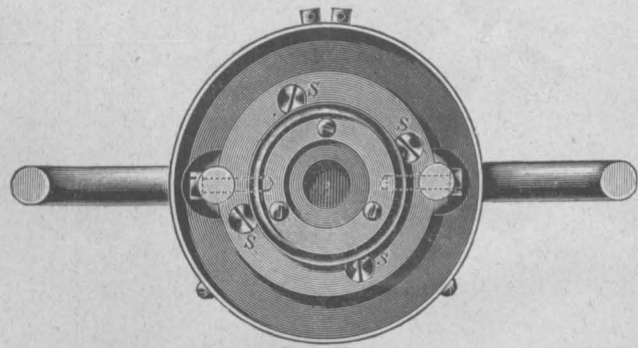


Fig. 1.

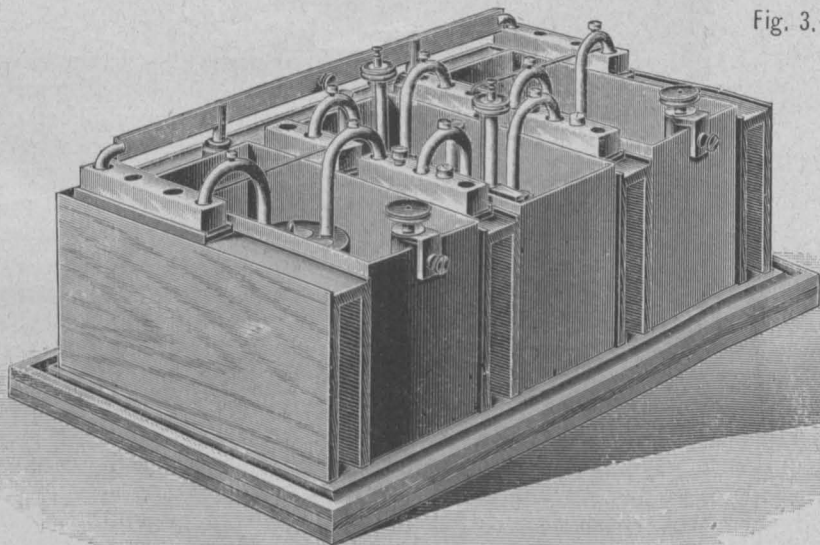


Fig. 2.

Auch noch aus einem anderen Grunde hat man das gethan. Wie Sie wissen, ändert sich die Leitungsfähigkeit von reinen Metallen mit der Temperatur, und es ist doch wenig angenehm, als Normale eine Größe zu haben, deren Wert von der Temperatur in hohem Maße beeinflusst wird. Man war deshalb eifrig bemüht, eine Legierung zu ermitteln, deren Widerstand neben einer großen Constanz auch eine geringe Abhängigkeit von der Temperatur besitzt.

Vorträge über Elektrotechnik. III.

Glücklicherweise hat man eine solche Legierung gefunden in dem Manganin. Dieses besteht hauptsächlich aus Kupfer, Mangan und Nickel. Widerstandsnormale aus Draht werden folgendermaßen gemacht. Wir haben eine Spule, auf welche wir die Widerstandsdrähte bifilar aufwickeln, und zwar in möglichst wenigen Lagen, damit sie ohne weiteres die Temperatur der sie umgebenden Flüssigkeit, des Petroleums, annehmen können. Das sind die Wicklungen, die auf dieser Büchse (siehe Fig. 1) sich befinden. Die ganze Anordnung ist durch eine äußere Büchse geschlossen. Man kann einen derartigen Widerstand in ein Petroleumbad, wie dies Fig. 2 zeigt, stellen und seine Temperatur alsdann genau bestimmen. Denn wenn auch die Widerstandsänderung mit der Temperatur sehr klein ist, so muss sie doch bei Normalmessungen berücksichtigt werden. Für praktische Messungen kommt diese Abhängigkeit natürlich nicht mehr in Betracht. Solche Widerstände werden hart verlöthet, also nicht mit Weichloth, sondern mit Silber, und das Ganze bildet eine sehr wenig veränderliche Widerstandsnormale. Ich bemerke, dass die letzte Abgleichung dieser Widerstandsnormale dadurch geschieht, dass man seitlichen Stäben, welche ebenfalls aus Manganin bestehen, mit der Feile oder mit einem Schaber einen kleinen Betrag abnimmt. Dadurch kann man die Justierung sehr weit treiben. Es ist nicht schwer, solche Widerstände bis auf den millionsten Theil ihres Wertes zu justieren. Man hat solche Widerstandsnormale in allen Größen ausgeführt. Hier (Fig. 3) haben wir eine derartige Normale von 10 Ohm,



Fig. 3.

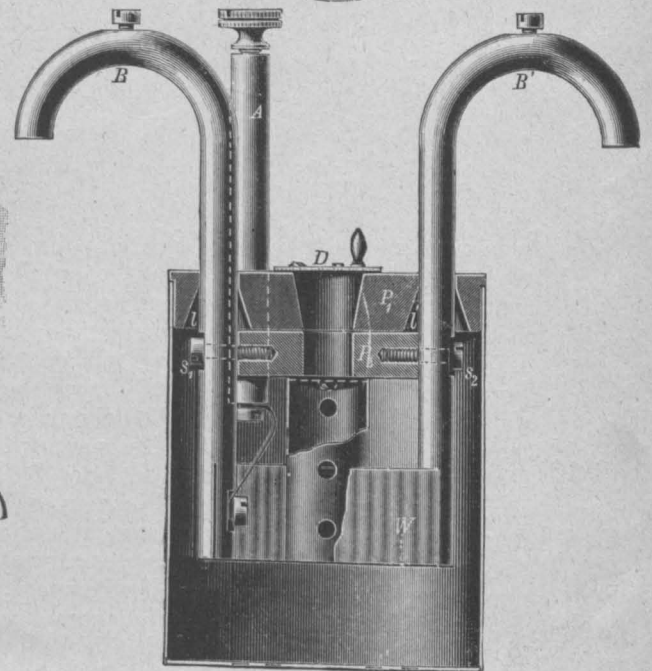
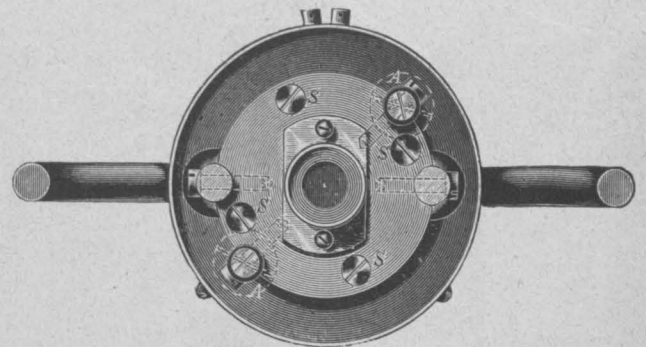


Fig. 4.



Fig. 5.

hier zwei andere, die nur 0,1, resp. 0,01 Ohm Widerstand aufweisen (siehe Fig. 4 und 5).

Sie sehen diese beiden Bügel B und die Potentialklemmen A. Wenn man heutzutage sehr genaue Strom-

messungen ausführen will, so macht man das in der Weise, dass man die Spannungsdifferenz an den Enden eines bekannten Widerstandes misst; nun ist selbstverständlich der Uebergangswiderstand von einem derartigen System sehr wichtig bei seinem Gebrauch. Man muss die Anordnung so treffen, dass der Uebergangswiderstand bei der Messung herausfällt; dazu dienen die Potentialklappen, deren Enden am Widerstande dessen Temperatur haben und selbst auch wegen der Verlöthung keine Veranlassung zu Uebergangswiderständen bilden. Sie werden mich fragen, warum macht man die Widerstände aus so breiten Blechen? Dies geschieht, damit man starke Ströme, 1000 Amp. und mehr, durchsenden kann. Wenn ich den Wert eines starken Stromes bestimmen will, werde ich den Strom durch einen dieser Widerstände schicken und die Spannung an seinen Potentialklappen messen. Mit Hilfe des Ohm'schen Gesetzes kann ich dann die gesuchte Stromstärke ohne weiteres finden. Bei längere Zeit in Anspruch nehmenden Messungen kühlt man durch Wasserschlangen das Petroleum und führt so die vom Strom erzeugte Wärme ab. Außerdem gestattet eine besondere Vorrichtung, den Widerstand für die Zeit, wo nicht gemessen wird und man doch den Stromkreis nicht auseinanderreißen will, kurz zu schließen (siehe Fig. 6). Die Petroleumkühlung ist für Normalmessungen ausge-

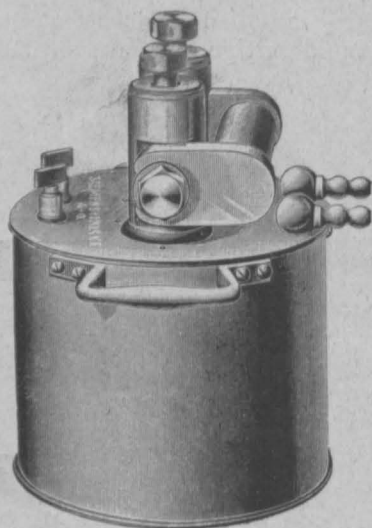


Fig. 6.

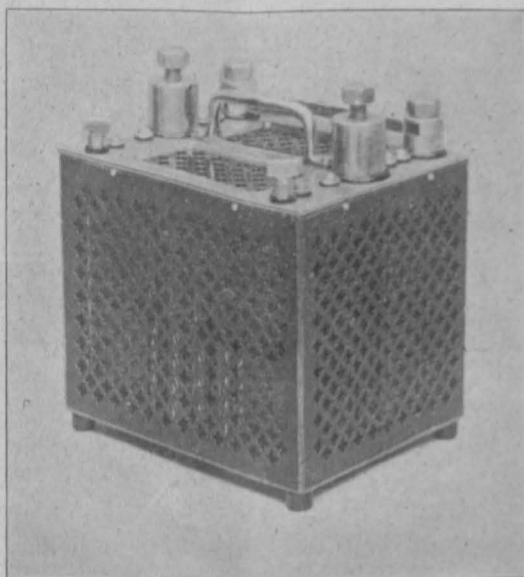


Fig. 7.

zeichnet und die einzig richtige; für Messungen, welche nicht den höchsten Grad der Genauigkeit beanspruchen, genügen Luftkühlungen (siehe Fig. 7), die so ähnlich konstruiert sind wie die Heizbatterien von Luftheizungen. Die Luft nimmt die Wärme auf, strömt mit ihr ab, und an ihre Stelle tritt frische, kalte Luft. Ich will bemerken, dass es durch die Combination eines Widerstandes mit einem Petroleumbade auch leicht ist, Temperatur-Coëfficienten von Widerständen zu messen, d. h. die Zahl zu bestimmen, welche angibt, wie sich der Wert eines Widerstandes mit der Temperatur ändert. Man braucht nur das Petroleumbad durch eine Glühlampe z. B. zu erwärmen und kann aus der Widerstandszunahme und der Temperaturänderung ohne weiteres den Temperatur-Coëfficienten berechnen.

Von den Methoden, welche die Widerstände zu messen gestatten, ist es vornehmlich die Methode der Wheatstone'schen Brücke, die uns interessiert. Sie besteht aus einer entsprechend Fig. 8 hergestellten Anordnung von vier Widerständen X, N, W_1, W_2 , welche noch verbunden sind einerseits durch ein Galvanometer G , andererseits durch eine Leitung, die eine elektromotorische Kraft enthält, z. B. ein oder einige Trockenelemente B (siehe Fig. 9). Sei X der zu

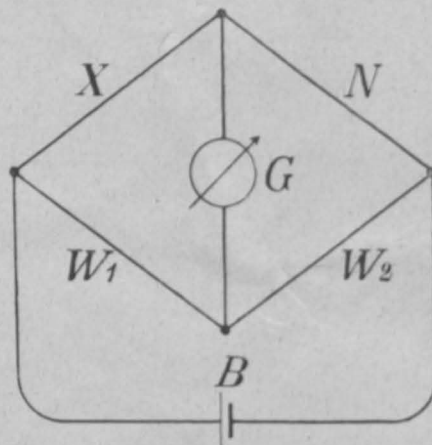


Fig. 8.



Fig. 9.

bestimmende Widerstand, so besteht, wenn das Galvanometer bei geschlossenen Diagonalzweigen keinen Strom anzeigt, die Relation $X : N = W_1 : W_2$.

Wollen wir nun eine derartige Normale X mit einer vorhandenen Normale N vergleichen, so brauchen wir bloß eine solche Combination zu schaffen, in das Petroleumbad einzusetzen und so lange zu warten, bis Temperaturgleichgewicht zwischen den einzelnen Widerständen besteht. Zeigt dann das Galvanometer beim Schließen des Stromkreises keinen Ausschlag an, so ist, Gleichheit der Widerstände W_1 und W_2 vorausgesetzt, der Widerstand X genau gleich der Normalen N . Nach dieser Methode hat man sich die Normalen verschafft, indem man mit jener Hilfe die aus Draht gefertigten Widerstände mit einer Quecksilber-einheit verglichen hat. Sie werden fragen, was macht man, wenn die Widerstände nicht ganz gleich sind? Dann kann man durch vorsichtiges Abschaben X gleich N erhalten, wenn $X < N$; will man aber den Unterschied nicht ausgleichen, sondern zahlenmäßig angeben, so braucht man nur den Strom in dem Galvanometerzweig zu messen. Eine einfache Ueberlegung zeigt, dass bei sehr kleinen Widerstandsungleichheiten diese Ungleichheiten einfach proportional den auftretenden Strömen sind, und ich kann mir daher mit einer der

bekanntesten Interpolationsmethoden die Größe meines Widerstandes genau bestimmen. Dazu ist auch folgender Apparat sehr praktisch, der unter dem Namen der Verzweigungsbüchse bekannt ist (siehe Fig. 10); er ist ähnlich konstruiert wie der frühere, besitzt aber die beiden Wicklungen W_1 und W_2 auf einer Rolle. Das ist deshalb gut, weil die beiden dicht nebeneinander angeordneten Widerstände leicht auf genau gleiche Temperatur zu bringen sind. Die Einrichtung der Verzweigungsbüchse ist folgende:



Fig. 10.

Je ein Ende der einander gleichen Widerstände W_1 und W_2 ist an einem der beiden Kupferbügel angeschlossen, während ihre anderen Enden an den Knöpfen A und B liegen. Zwischen Knopf A und C sowie auch zwischen B und C sind zwei kleine Widerstände geschaltet, die den zweitausendsten Theil so groß wie W_1 , resp. W_2 sind. Ist also beispielsweise $W_1 = W_2 = 100$ Ohm, so hat man zwischen A und C und zwischen B und C je 0.05 Ohm. Diese Verzweigungsbüchse lasse ich nun zwei Zweige der Wheatstone'schen Brücke bilden, in der ich meinen

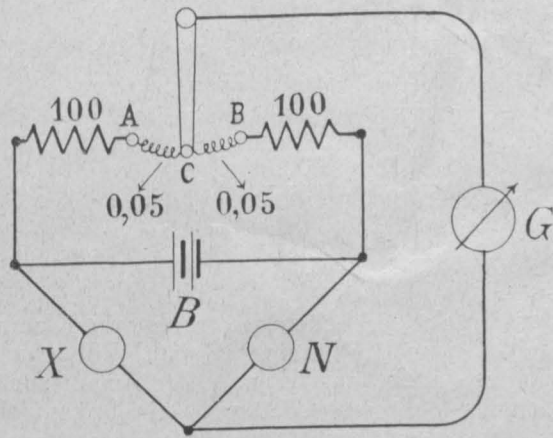


Fig. 11.

unbekannten Widerstand mit einem Normalwiderstand vergleiche, in der Weise, wie Fig. 11 zeigt. Stelle ich die um die mitten auf dem Deckel befindliche Säule, die durch einen Draht mit der einen Galvanometerklemme verbunden wird, drehbare Kurbel auf den mittelsten Knopf, auf C, so ist

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{100 + 0,05}{100 + 0,05} = 1;$$

bringe ich sie auf B, so habe ich

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{100 \cdot 1}{100} = 1,001,$$

und lege ich sie endlich auf A, so wird

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{100}{100 \cdot 1} = 0,999.$$

Schließe ich nun bei dieser mit Hilfe der Verzweigungsbüchse gebildeten Wheatstone'schen Brückencombination die Diagonalzweige, während die Kurbel auf C steht, so werde ich, wenn X und N ungleich sind, einen Ausschlag am Galvanometer als Folge dieser Ungleichheit erhalten. Gehe ich mit der Kurbel dann auf A und auf B, so werde ich zwei andere Galvanometerausschläge ablesen können. Aus diesen drei Ablenkungen und den ihnen entsprechenden Werten des Verhältnisses $\frac{W_1}{W_2}$ lässt sich dann durch Interpolation in bekannter Weise der wahre Wert von X ermitteln.

Sie sehen also, dass ich mir nach dieser Methode sehr genaue Normalwiderstände verschaffen kann, und, wie schon früher bemerkt, hält es nicht schwer, auf dem geschilderten Wege ihren wahren Wert bis auf ein Millionstel seines Betrages zu ermitteln.

Da dem praktisch arbeitenden Elektrotechniker meist nicht mit einzelnen Normalwiderständen gedient ist, er vielmehr bei seinen Arbeiten eine größere Zahl derartiger Rollen verschiedener Größe braucht, die er leicht und bequem

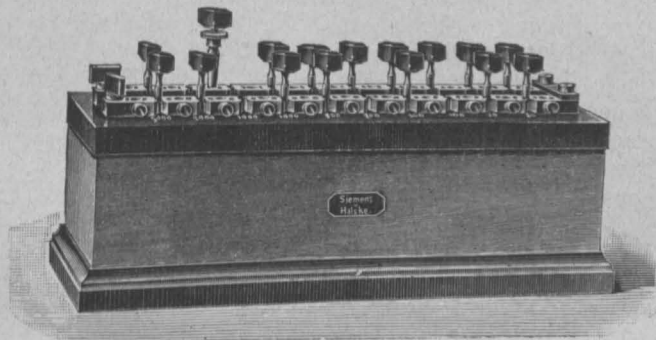


Fig. 12.

einzeln und in Gruppen in seinen Stromkreis einfügen kann, so hat man Widerstandskästen construiert, die eine größere Zahl solcher Rollen enthalten und den gestellten Bedingungen genügen. Diese Widerstände werden entweder als Stöpsel- oder als Kurbelwiderstände gebaut. Die Stöpselwiderstände (siehe Fig. 12) sind bekannt. Wir haben metallische Klötze (siehe Fig. 13) conisch eingepohrt, zwischen ihnen befinden sich Widerstandsrollen. Wenn einzelne Stöpsel herausgezogen werden, so muss der Strom sämtliche, zwischen den Metallklötzen ohne Stöpsel gelegene Widerstandsrollen durchlaufen. Durch die anderen Stöpsel entstehen Nebenschlüsse zu den betreffenden Widerstandsrollen, so dass nur ein verschwindend kleiner Theil des Stromes durch sie hindurchgeht. Diese Stöpselmethode kam bis vor kurzem ausschließlich zur Anwendung. Heutzutage

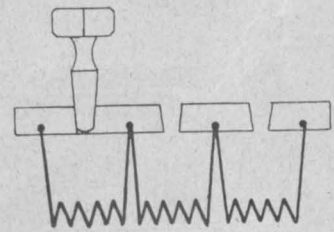


Fig. 13.

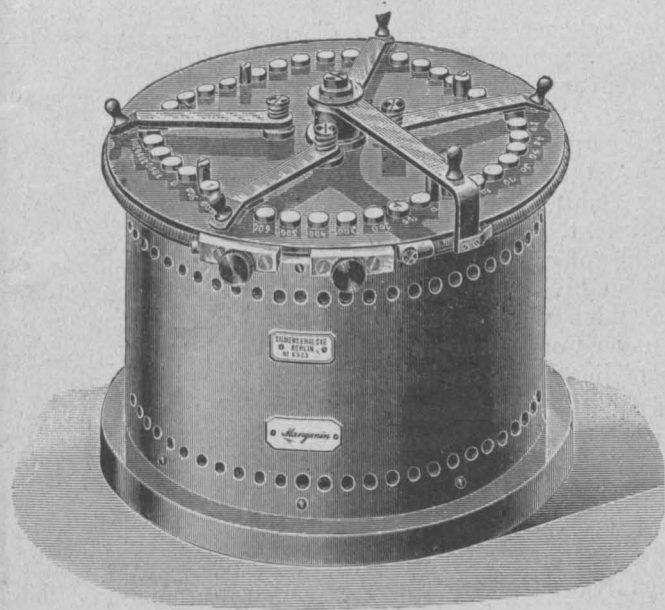


Fig. 14.

benutzt man an ihrer Stelle vielfach die „Kurbelwiderstände“ (siehe Fig. 14). Diese sind folgendermaßen construiert: Man nimmt Knöpfe (siehe Fig. 15), die man durch die Widerstände, die im Kasten Unterkunft finden sollen, miteinander verbindet. Diese Widerstände sind auf Rollen aufgewickelt, die gut mit Isolierlack versehen sind. Man hat ferner eine Kurbel, die man auf einen bestimmten Knopf stellt. Der Strom muss so viele Widerstände durchlaufen, wie die Zahl, auf der die Kurbel steht, anzeigt. Schwierigkeiten verursachen die Uebergänge sowohl an dem Drehungs- als auch an dem Aufliegpunkte und können zu Fehlern Anlass geben durch Auftreten variabler Widerstände an diesen Stellen. Diese hat man auf folgende Weise mit gutem Erfolge eliminiert (siehe Fig. 16): Eine Spiralfeder aus Kupferblech wird mit ihrem einen Ende mit der

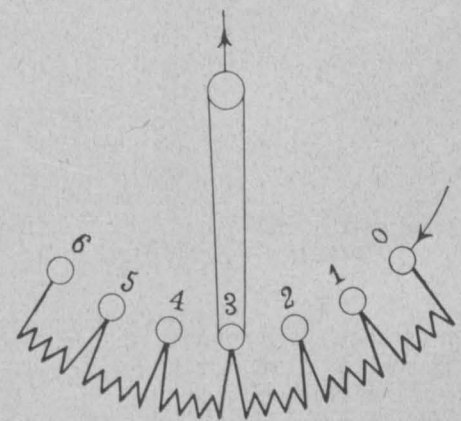


Fig. 15.

die Uebergänge sowohl an dem Drehungs- als auch an dem Aufliegpunkte und können zu Fehlern Anlass geben durch Auftreten variabler Widerstände an diesen Stellen. Diese hat man auf folgende Weise mit gutem Erfolge eliminiert (siehe Fig. 16): Eine Spiralfeder aus Kupferblech wird mit ihrem einen Ende mit der

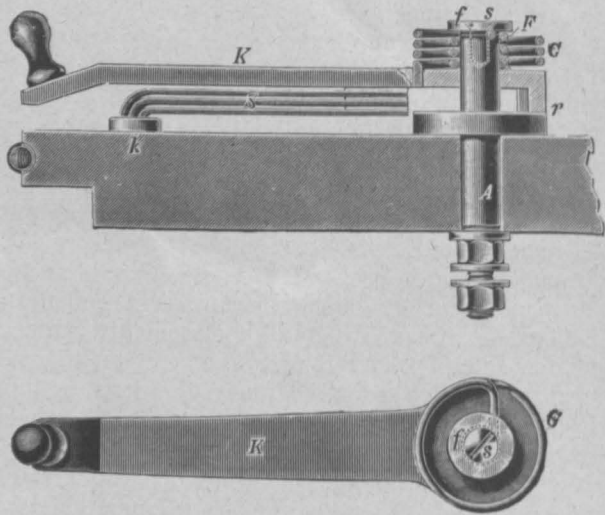


Fig. 16.

Kurbelachse verschraubt, während ihr anderes Ende mit dem beweglichen Theile der Kurbel verbunden ist. So hat man den variablen Widerstand am Kurbeldrehpunkte durch den festen der Feder, der höchstens 0.0005 Ohm betragen kann, ersetzt. Um der Kurbel auf den Contactknöpfen eine vom Uebergangswiderstand möglichst freie Auflage zu sichern, hat man das obere Ende ihrer Achse mit einer starken Stahlfeder versehen, die die Kurbel kräftig nach unten drückt. Diese besteht der Hauptsache nach aus einer Anzahl Kupferfedern, die zur eigentlichen Kurbel schief gestellt sind. Würden sie gerade stehen, also tangential zur Kurbel, dann würden sie sich mit der Zeit in die Oberflächen der Contactknöpfe einschleifen, und dadurch würde die gute Berührung zwischen beiden leiden.

Der Kurbelwiderstand hat vor dem mit Stöpseln versehenen den großen Vorzug, ein viel schnelleres und bequemes Arbeiten als dieser zu gestatten. Während bei einem Stöpselwiderstande zum Bethätigen einer Dekade mindestens vier Stöpsel zu handhaben sind, ist zu diesem Zwecke beim Kurbelwiderstande nur das Drehen einer einzigen Kurbel erforderlich, und dieses kann in einem Bruchtheile der Zeit geschehen, die zum Stecken eines Stöpsels vonnöthen. Für alle Messungen, welche nicht gerade größte Genauigkeit verlangen, sind daher diese Kurbelwiderstände sehr angenehm.

Man kann selbstverständlich ebenso wie die Widerstände auch die Wheatstone'sche Brücke mit Kurbeln in Verbindung bringen, und Sie sehen hier ein Exemplar einer derartigen Kurbelmessbrücke (Fig. 17), deren Einrichtung folgendermaßen getroffen ist:

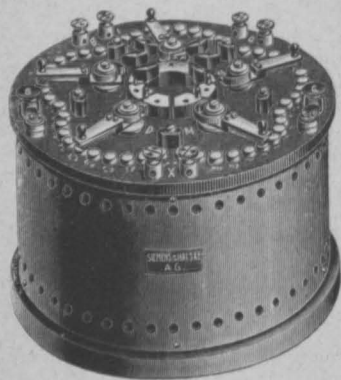


Fig. 17.

Der Normalwiderstand N (siehe Fig. 8) hat hier nicht, wie wir früher angenommen haben, einen festen, unveränderlichen Wert; wir können ihm vielmehr durch Bethätigen der Kurbeln jeden beliebigen Wert zwischen 0.1 und 10.000 Ohm geben. Auch die Vergleichswiderstände W_1 und W_2 können wir, je nachdem wir zwei der in der Mitte des Widerstandes angeordneten Stöpsel ziehen, ganz verschieden wählen. Jeder derselben kann gleich 10, gleich 100 oder gleich 1000 Ohm gemacht werden, so dass je nach Umständen das Verhältnis $W_1 : W_2$ wird:

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{10}{1000} = 0.01,$$

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{10}{100} = \frac{100}{1000} = 0.1,$$

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{10}{10} = \frac{100}{100} = \frac{1000}{1000} = 1,$$

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{100}{10} = \frac{1000}{100} = 10,$$

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{1000}{10} = 100.$$

An der Brücke erblicken Sie noch drei Klemmpaare, die mit B , G und X bezeichnet sind. Will man eine Messung mit der Brücke ausführen, so legt man zunächst an die Klemmen $B B$ eine Batterie, am besten einige Trockenelemente (siehe Fig. 9); $G G$ verbindet man mit den Klemmen eines geeigneten Galvanometers, z. B. eines Siemens'schen Deprez-d'Arsonval-Galvanometers (siehe Fig. 33), und schaltet an X den zu ermittelnden Widerstand. Dann trifft man durch Ziehen der Stöpsel Wahl bezüglich der Vergleichswiderstände W_1 und W_2 , drückt Batterietaster und darauf auch den Galvanometertaster nieder und dreht an den Kurbeln so lange, bis das Galvanometer keinen Ausschlag mehr aufweist. Den Wert des gesuchten Widerstandes erhält man jetzt durch Ablesen der Kurbelstellungen und durch Multiplication der so gewonnenen Zahl mit dem Verhältnis $W_1 : W_2$. Mittels dieses Apparates kann man so ziemlich alle in der Praxis vorkommenden Widerstände messen.

Ich gehe jetzt über zu den Strommessungen. Da wollen wir zunächst einem Hauptgesetze der Electricitätslehre unsere Aufmerksamkeit zuwenden, nämlich dem Ohm'schen Gesetze. Dasselbe lässt sich darstellen durch $J = \frac{E}{W}$ oder, in den Einheiten ausgedrückt, durch

$$\text{Amp.} = \frac{\text{Volt}}{\text{Ohm}}.$$

Dieses Gesetz führt uns auf eine bequeme und sehr genaue Methode, Stromstärken zu ermitteln. Man würde a priori das Silber- oder Kupfervoltmeter dazu nehmen und würde aus der Menge des niedergeschlagenen Metalles die Stärke des Stromes bestimmen können. Das ist aber bei so großen Stromstärken, wie sie in der Praxis vorkommen, sehr umständlich und schwierig. Deshalb hat man sich anders geholfen. Eine sehr leicht zu reproducierende Größe ist die Spannung, die elektromotorische Kraft, dank den Normalelementen. Es gibt zwei Arten von diesen Elementen, die für den gedachten Zweck in Frage kommen, das sind das Clark- und das Cadmiumelement.

Das Clarkelement besteht aus Quecksilber, Quecksilberoxydul, Zinksulfat und reinem Zink. Das Ganze wird in einem Glasgefäß von der in Fig. 18 wiedergegebenen Form untergebracht. Zwei in der Gefäßwand eingeschlossene und innen durch Glasröhren geschützte Platindrähte stellen die Verbindung zwischen den Elementenpolen und den außen angebrachten Polklemmen her.

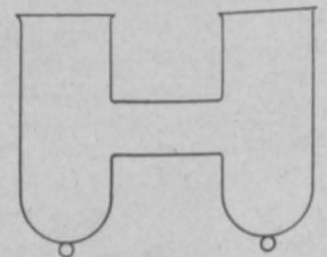


Fig. 18.

Dieses Element besitzt bei 15° C. eine elektromotorische Kraft von 1.434 Volt. Es ist sehr constant, auch sehr gut zu reproducieren, hat aber den Uebelstand, dass seine elektromotorische Kraft von der Temperatur in hohem Grade abhängig ist. Ebenso wie bei den Widerstandsnormalen die Veränderlichkeit mit der Temperatur sehr unangenehm war und man sehr bald Materialien fand, deren Widerstand von der Temperatur unabhängig war, ebenso gelang es auch hier, ein Normalelement zu

finden, dessen Angaben von der Temperatur so gut wie gar nicht beeinflusst werden. Man braucht zu diesem Zwecke nur an Stelle des Zinks Cadmium und für das Zinksulfat Cadmiumsulfat in das Glasgefäß zu bringen. Statt der 1.434 Volt haben wir jetzt bei 15° C. eine elektromotorische Kraft von 1.019 Volt, die sich mit der Temperatur in so geringem Maße ändert, dass wir sie für praktische Zwecke als von derselben unabhängig annehmen können.

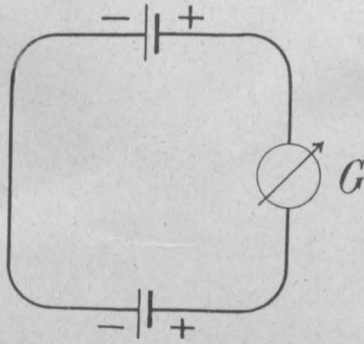


Fig. 19.

wir dieselben (s. Fig. 19) mit zweien ihrer gleichnamigen Pole direct verbinden und zwischen die beiden anderen ein Galvanometer schalten. Zeigt dessen Nadel keinen Ausschlag an, so wissen wir, dass beide Elemente genau dieselbe elektromotorische Kraft haben. Wird die Nadel abgelenkt, ist also Strom im Kreise vorhanden, so sind die Elemente ihrer elektromotorischen Kraft nach verschieden. Will man bei dieser Versuchsanordnung als Vergleichselement ein Normalelement wählen, so ist dies nur dann thunlich, wenn die zu untersuchende Spannung genau gleich derjenigen des Normalelements ist. Trifft dies nicht zu, so kann der Fall eintreten, dass das Normalelement Strom abgeben muss, und das ist nicht zulässig, da die Normalelemente nur so lange ihre guten Eigenschaften als Normalelemente bewahren, als ihre Stromabgabe unter einem ganz bestimmten minimalen Betrage bleibt. Um daher Spannungen verschiedener Größe mit derjenigen des Normalelementes vergleichen zu können, müssen wir das vorstehend beschriebene Compensationsverfahren abändern. Zu dieser Abänderung verhilft uns ein Satz über Potentialdifferenzen, der in Fig. 20 graphisch dargestellt ist. Bilden wir aus der elektro-

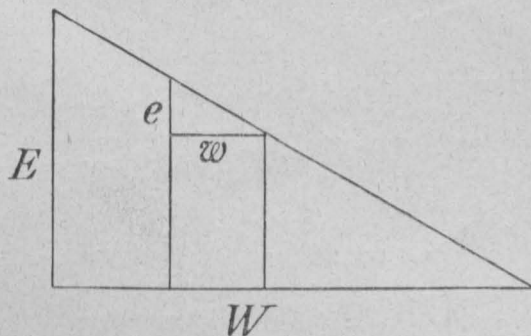


Fig. 20.

motorischen Kraft E und dem Widerstande W einen Stromkreis, in dem der Strom $J = \frac{E}{W}$ fließen möge, und betrachten wir zwei Punkte dieses Stromkreises, zwischen denen der Widerstand w liegt, so ist die an dessen Enden vorhandene Spannung e gegeben durch die Beziehung

$$J = \frac{e}{w},$$

da für jeden Theil eines Stromkreises das Ohm'sche Gesetz gilt.

Mit Rücksicht auf diesen Satz werden wir folgendermaßen bei der Vergleichung zweier elektrischer Spannungen

verfahren: wir werden die zu untersuchende Spannung, z. B. eine Accumulatoren-batterie, durch einen Widerstand, z. B. 100 Ohm, schließen. Einen Theil dieser hundert Ohm spannen wir als blanken Draht aus, auf dem zwei Schleifcontacte verstellbar sind, zwischen die wir ein Normalelement und ein Galvanometer so schalten, dass das Normalelement z. B. seinen positiven Pol dem positiven Pol der Accumulatoren-batterie zugekehrt (siehe Fig. 21). Wir ver-

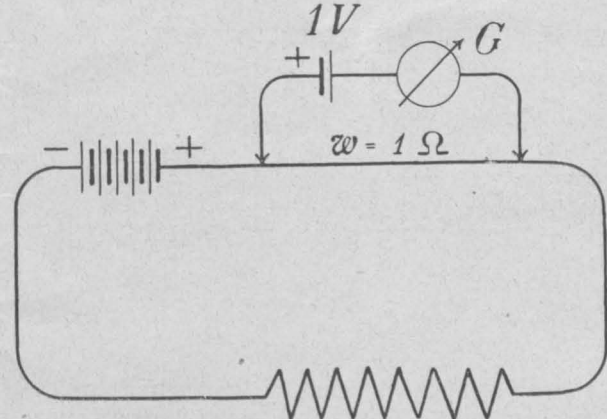


Fig. 21.

schieben nun die Contacte auf dem Schleifdrahte so lange, bis das Galvanometer keinen Ausschlag anzeigt, also stromlos ist. In diesem Falle herrscht zwischen den Auflagestellen der Schleifcontacte genau die Spannung, die das Normalelement besitzt. Nehmen wir an, dieses habe 1 Volt, und zwischen den Schleifcontacten befinde sich 1 Ohm, dann fließt in dem Kreise ein Strom von 1 Amp. Da jener insgesamt 100 Ohm Widerstand besitzt, so ergibt sich die gesuchte Accumulatorenspannung zu

$$1 = \frac{E}{100},$$

$$E = 100 \text{ Volt.}$$

Leider existiert aber kein Normalelement, das eine elektromotorische Kraft von genau 1 Volt hat. Ferner würden Apparate für einen Messtrom vom Betrage eines Ampère umfangreicher und demgemäß theurer sein als wünschenswert, und auch die zu untersuchenden Spannungen werden meist nicht gestatten, ihnen ein Ampère zu entnehmen. Wir müssen daher beim Bau und bei der Handhabung eines Compensationsapparates — so werden die Apparate benannt, die für das eben geschilderte Messungsverfahren dienen — andere Zahlenverhältnisse wählen wie die eben angeführten.

Da diese Compensationsapparate das Fundament für alle elektrischen Strom- und Spannungsmessungen bilden, so ist es gerechtfertigt, näher auf sie einzugehen. Wir wollen zunächst wieder die Aufgabe, die elektromotorische Kraft einer Batterie sei zu bestimmen, behandeln. Wir bilden uns wieder einen Stromkreis aus der zu untersuchenden Spannung und einem Kurbelwiderstandskasten KW und fügen weiterhin in den Stromkreis drei sorgfältig abjustierte Normalwiderstände von 101.9, 1019 und 10190 Ohm ein, von denen jeder nach Bedarf mit Hilfe eines Stöpsels kurzgeschlossen werden kann (siehe Fig. 22). Unser Normalelement B legen wir nebst Galvanometer G und einem Stromschlusstaster T parallel zu den drei Stöpselwiderständen. Durch Ziehen eines der drei Stöpsel, während die beiden anderen stecken gelassen werden, können wir das Normalelement zu jedem der drei Widerstände parallel schalten. Nehmen wir an, wir hätten den mittelsten Stöpsel gezogen, also den Compensationsstromkreis von 1019 Ohm abgezweigt. Wir drehen nun so lange an den Kurbeln unseres Regulierwiderstandes

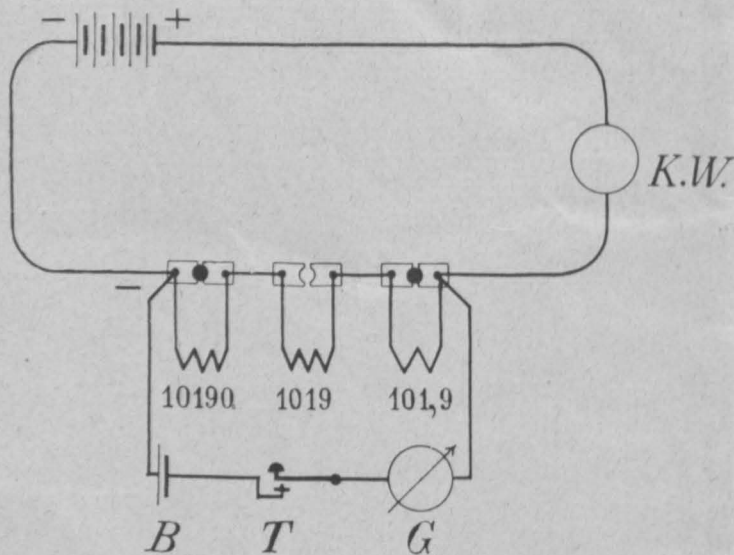


Fig. 22.

KW, bis das Galvanometer beim Niederdrücken des Tasters keinen Ausschlag gibt. Dann haben wir an den Enden der 1019 Ohm genau 1·019 Volt, folglich durchfließt 0·001 Amp. den Stromkreis. Die gesuchte Spannung ergibt sich in diesem Falle zu

$$X = E = 0·001 \cdot W.$$

Unter *W* ist der Widerstand des Regulierwiderstandes, wie er sich aus der Ablesung der Kurbelstellungen ergibt, plus dem des zur Compensation benutzten Normalwiderstandes, in unserem Falle also + 1019 Ohm, mit anderen Worten der Gesamtwiderstand des Hauptstromkreises zu verstehen.

Hätte ich den mittelsten Stöpsel stecken lassen und einen der beiden anderen gezogen und dann in der beschriebenen Weise compensiert, so hätte ich für die unbekannte Spannung erhalten:

$$X = E = 0·01 \cdot W_1,$$

respective

$$X = E = 0·0001 \cdot W_2.$$

In jedem der drei hier vorgesehenen Fälle finden wir die gesuchte Spannung, wenn wir den Gesamtwiderstand des Stromkreises je nach der Wahl des Compensationswiderstandes durch 100, 1000 oder 10.000 dividieren.

In dieser Weise kann ich schnell und mit einer Genauigkeit von 0·02% Spannungen, die größer als die des Normalelementes sind, ermitteln. Will ich den Betrag von Spannungen bestimmen, die unter der des Normalelementes liegen, so versagt das eben beschriebene Verfahren. Ich gelange aber zum Ziele, wenn ich dasselbe entsprechend der Fig. 23 abändere. Ich nehme wieder die eben benutzte Schaltung, ersetze in derselben die zumessende Spannung durch eine Hilfsbatterie *HB*, z. B. einige Accumulatoren, und füge außerdem in den Kreis noch einen Widerstandsdraht ein. Dann stelle ich mir in der eben be-

schriebenen Weise 0·01 oder 0·001 oder 0·0001 Amp. in dem Hilfsstromkreise her und lege, wenn ich diese habe, die zu messende Spannung nebst Taster und einem Galvanometer (dazu kann natürlich nach Anbringung einer entsprechenden Umschaltvorrichtung das bei der Compensation mit dem Normalelemente benutzte Instrument verwendet werden) mit Hilfe zweier Schleifcontacts an den Widerstandsdraht und

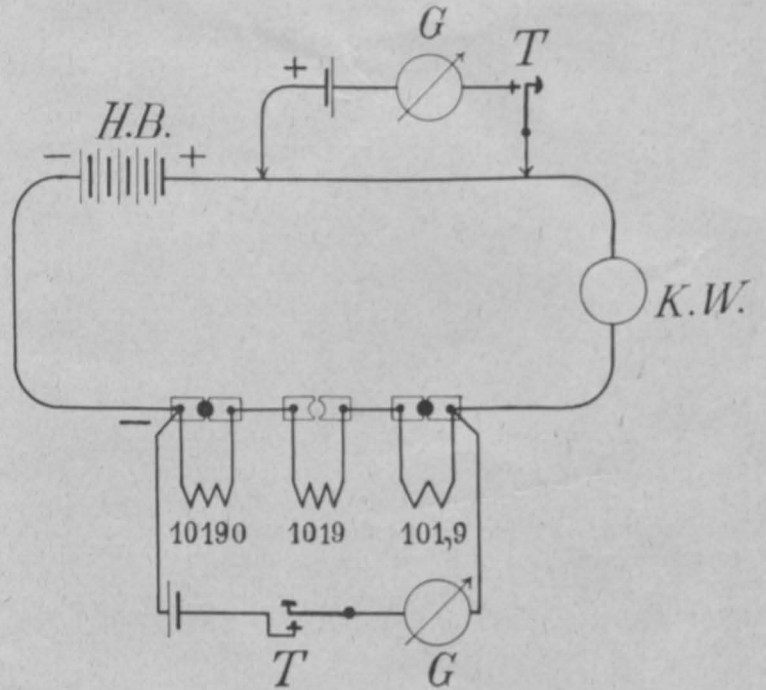


Fig. 23.

verschiebe jene so lange, bis das Galvanometer beim Niederdrücken des Tasters keinen Strom anzeigt. Dann habe ich für die gesuchte Spannung *e*, wenn *i* der im Hilfsstromkreise fließende Strom und *w* der Widerstand zwischen den beiden Schleifcontacts ist,

$$e = i \cdot w.$$

Die Methode des Abgreifens auf Drähten ist die älteste, aber auch die unvollkommenste. Bei Messungen, bei denen man möglichst große Genauigkeit verlangt, wird

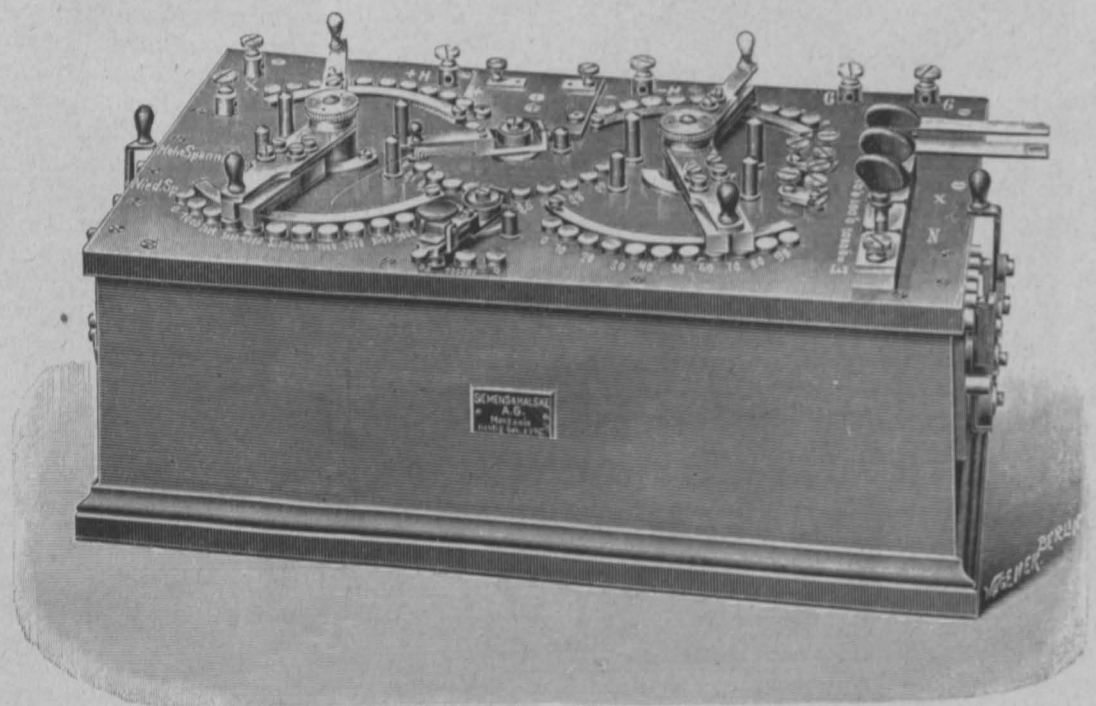


Fig. 24.

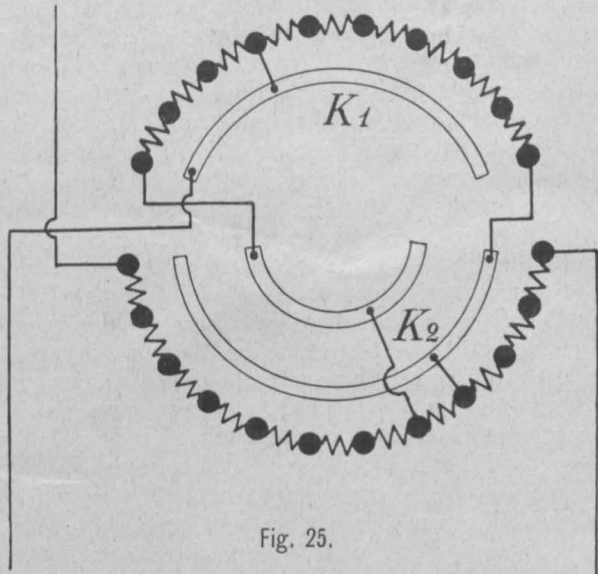


Fig. 25.

sie daher theilweise versagen. Da hat man eine andere, bei der eine Combination von Kurbeln an Stelle der Schleifcontacte treten, ihr substituiert.

Bei dem Compensationsapparate, den Sie hier vor sich sehen (Fig. 24), ist diese Kurbelcombination, wie folgt, getroffen: Zehn, bezw. neun Rollen von gleichem Widerstande sind zwischen elf, bezw. zehn Contactknöpfen, die centrisc angeordnet sind, angebracht. Der Strom der Hilfsbatterie muss stets die sämtlichen zehn Rollen durchfließen, denn der Widerstand des Hilfsstromkreises darf ja, nachdem in ihm die gewünschte Stromstärke mit Hilfe des Normal-elementes eingestellt ist, nicht mehr geändert werden. Die andere Reihe, die neun gleichen Rollen, liegt zwischen zwei von einander isolierten, zu einer Contactkurbel K_2 (siehe Fig. 25) ausgebildeten Schleiffedern, die über jene elf Knöpfe bewegt und zum Contact mit je zwei benachbarten derselben gebracht werden können. So lassen sich die neun hintereinander geschalteten Widerstände, die von der Kurbel K_1 bestrichen werden, zu irgend einer Abtheilung der ersten Reihe parallel legen. Die zu messende Potentialdifferenz zwischen den Kurbeln — denn der Apparat besitzt noch eine zweite Widerstands- und Kurbelanordnung genau wie die eben beschriebene — setzt sich zusammen aus den Potentialdifferenzen an den zwischenliegenden Widerständen, die vom ungetheilten Hilfsstrom durchflossen werden, und dem Potentialgefälle derjenigen Widerstandsabtheilungen, die zu dem einen jener Widerstände parallel liegen und wie dieser nur einen Theil des Hilfsstromes führen. Nehmen wir jede Abtheilung des von der Kurbel K_2 bestrichenen Kreises zu w Ohm an, jeden der neun Widerstände, die zu einem der w parallel geschaltet werden können, zu w_0 Ohm. Ferner sei die Spannungsdifferenz an den Enden eines den gesammten Hilfsstrom führenden w gleich e Volt, dann wird das gesammte Spannungsgefälle e_1 an dem innerhalb der Parallelschaltung liegenden Wider-

stande betragen
$$e_1 = e \cdot \frac{9 w_0}{w + 9 w_0},$$

und an einem dieser neun Widerstände w_0 wird dann eine Spannungsdifferenz herrschen

$$e_0 = e \cdot \frac{w_0}{w + 9 w_0}$$

und an n derartigen Widerständen

$$n \cdot e_0 = e_n = e \cdot \frac{n w_0}{w + 9 w_0}.$$

Bei dem hier vorgeführten Compensationsapparate ist nun $w_0 = w$ gemacht, so dass

$$e_n = n \cdot \frac{e}{10}.$$

Demnach haben wir an einer Abtheilung in der Reihe unter Kurbel K_1 den zehnten Theil des Potentialgefälles wie zwischen zwei Knöpfen der vom ungetheilten Hilfsstrom durchflossenen Reihe.

Bei dem einen Kurbelsystem unseres Compensationsapparates hat jede Abtheilung einen Widerstand von 1000 Ohm, bei dem anderen von 10 Ohm. Demnach haben wir, wenn wir die Abtheilungen der Kurbel K_2 mit 1000, resp. 10 bewerten, die Abtheilungen unter den Kurbeln K_1 zu 100, resp. 1 in Rechnung zu stellen.

Mit dieser Anordnung ist es möglich, unter Zuhilfenahme einer verhältnismäßig geringen Zahl von Kurbeln

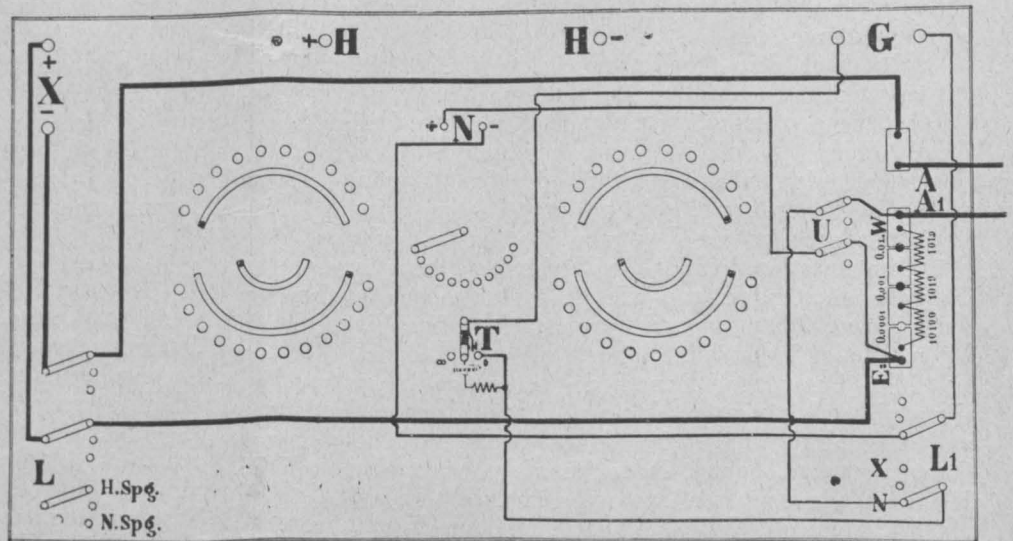


Fig. 26.

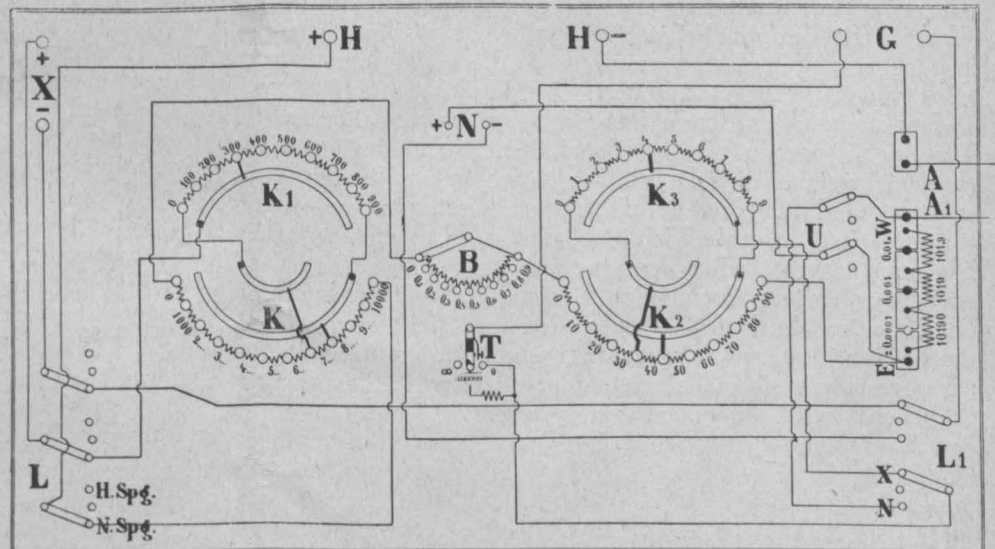


Fig. 26 a.

und Rollen Spannungen, die kleiner als 1 Volt sind, auf vier Stellen genau zu bestimmen. Um eine fünfte Stelle zu erhalten, ist in der Mitte zwischen beiden Kurbelsystemen noch eine Kurbel *B* angebracht, mit deren Hilfe von zehn Widerständen à 0.1 Ohm nach Bedarf einzelne derselben in den Hilfsstromkreis eingeschaltet werden können. Dadurch wird zwar dessen Gesamtwiderstand geändert, jedoch in so geringem Maße, dass die Genauigkeit der Messung, die 0.02% beträgt, nicht beeinflusst wird.

Ueber die sonstige Einrichtung des vor Ihnen befindlichen Compensationsapparates geben Fig. 26 und 26a Aufschluss. Erstere, mit den stark ausgezogenen Linien, veranschaulicht den Stromverlauf im Apparate und die Stellung der auf ihm befindlichen Schalter für den Fall, dass man Spannungen über 1 Volt messen will, letztere mit den feinen Linien tritt in Giltigkeit, wenn es sich um die Ermittlung von Spannungen, die kleiner als 1 Volt sind, handelt. Zwischen *X* ist in beiden Fällen die zu untersuchende Spannung zu schalten, zwischen *HH* im letzteren Falle die Hilfsbatterie. An *GG* legt man das Galvanometer, an *AA* den früher erwähnten Kurbelkasten als Zusatzwiderstand, *N* bedeutet das Normalelement und *T* den Galvanometertaster, *L*₁ einen doppelpoligen Umschalter, der nach vorne oder hinten gestellt wird, je nachdem man mit dem Normalelement oder mit der zu bestimmenden niedrigen Spannung compensieren will. Auf der rechten Seite des Apparates sind die drei Stöpsel zum Bethätigen der Compensationswiderstände sichtbar, mit deren Hilfe die Stromstärken 0.01, resp. 0.001, resp. 0.0001 Amp. eingestellt werden können.

Da nach dem Ohm'schen Gesetz die Messung einer Stromstärke auf die Ermittlung einer Spannung zurückgeführt werden kann, wenn man den betreffenden Strom durch einen Widerstand von bekanntem Werte, z. B. durch 0.1 oder 0.01 oder 0.001 oder 0.0001 Ohm, je nach seiner Größenordnung, schickt und die an seinen Enden herrschende Spannung bestimmt, so ist es offenbar, dass der Compensationsapparat in Verbindung mit geeigneten Normalwiderständen, wie wir sie weiter oben beschrieben haben, zur Messung von Stromstärken beliebiger Größe Verwendung finden kann.

Die Compensationsmethode, so genaue Resultate mit ihr auch erzielt werden können, ist doch für die Praxis zu umständlich und wird daher meist zur Aichung von Galvanometern benutzt, indem man sich entweder an deren Klemmen eine gewisse Spannung herstellt oder sie von einem Strome durchfließen lässt und dann Spannung, resp. Strom mit dem Compensationsapparate ermittelt. Unsere Galvanometer sind, entsprechend dem Zwecke, dem sie dienen sollen, von sehr verschiedener Empfindlichkeit und Bauart. Die empfindlichsten derselben zerfallen in zwei Kategorien: Wir haben nämlich 1. die Galvanometer mit beweglichem Magnet und feststehender Spule und 2. die Galvanometer mit fixem Magnet und beweglicher Spule. Die ersten kennen Sie ja. Es sind einfache Magnetnadel-systeme, welche an sehr dünnen beweglichen Fäden aufgehängt sind. Zu dieser Aufhängung benutzte man bis vor kurzem fast ausschließlich Coconfäden. In letzterer Zeit hat man es verstanden, den Quarz so fein auszuziehen, dass er dem schönsten Coconfäden Concurrenz, und zwar recht wirksame, macht. Wie der Quarzfaden hergestellt wird, wissen die Herren. Man schmilzt Quarzkrystalle im Knallgasgebläse zusammen, bis sie Stäbchen bilden; das Ende eines solchen Stäbchens wird an einem Pfeile befestigt oder kommt in den Lauf einer Pistole, und diese wird losgeschossen, dabei zieht sich der Krystall oft in die früher erwähnten, äußerst feinen Fäden aus.

Um recht empfindliche Galvanometer mit beweglicher Magnetnadel zu erhalten, versieht man sie mit astatischen Systemen, indem man unter der an einem

äußerst feinen Faden aufgehängten Nadel einen zweiten Magneten, der dem ersten möglichst gleich und entgegengesetzt magnetisiert ist, bringt und so die Richtkraft der Nadel vermindert. Würde man beide Magnete genau einander gleich machen, so erhielte man ein Magnetsystem ohne jede Richtkraft; in Wirklichkeit wird es aber nie gelingen, dieses zu erzielen. Einer der beiden Magnete wird stets stärker sein als der andere und überwiegen.

Um diesen Galvanometern eine möglichst hohe Empfindlichkeit zu ertheilen, wird man jeden der beiden zu einem astatischen System verbundenen Magnete mit einer Drahtspule umgeben und diese beiden von dem zu messenden Strome durchfließen lassen, derart, dass die Wirkungen beider Spulen auf das Magnetsystem sich addieren. Ferner ist noch zu berücksichtigen, dass ein Galvanometer umso empfindlicher ist, je kleiner die äußere Richtkraft; als solche haben wir in den meisten Fällen die Horizontalcomponente des erdmagnetischen Feldes. Man wird daher bestrebt sein, die Wirkung der letzteren auf das Magnetsystem des Galvanometers abzuschwächen. Dies geschieht am einfachsten in der Weise, dass man in die Nähe der Galvanometernadeln einen oder mehrere Magnetstäbe so bringt, dass ihre Wirkung auf die Galvanometermagnete derjenigen des Erdmagnetismus entgegengesetzt ist. So hat man es in der Hand, die Empfindlichkeit eines Galvanometers durch Nähern und Entfernen eines oder mehrerer Magnetstäbe, durch Aendern ihrer relativen Lage und ihrer Lage zum erdmagnetischen Feld, in weiten Grenzen zu justieren.

Ein wichtiger Punkt ist bei der Construction eines empfindlichen astatischen Galvanometers noch zu beachten: die Gestalt der Magnetnadeln. Diese soll so gewählt werden, dass der Quotient aus dem magnetischen Moment einer Nadel und ihrem Trägheitsmoment ein Maximum wird, und zwar aus folgendem Grunde. Die Schwingungsdauer *t* eines Magnetsystemes beträgt

$$t = 2\pi \sqrt{\frac{K}{MH}}$$

wenn wir mit *K* sein Trägheitsmoment, mit *M* sein magnetisches Moment und mit *H* das von außen auf das System wirkende magnetische Feld bezeichnen. Die Gebrauchsfähigkeit eines Galvanometers hängt nun wesentlich davon ab, dass seine Schwingungsdauer keinen lästig hohen Wert annimmt. Dies würde aber bei den astatischen Galvanometern eintreten, wenn wir das Trägheitsmoment ihrer Systeme nicht möglichst klein machten. Denn wir verringern, um die Empfindlichkeit zu steigern, *H* und *M*, das Gesamtmoment des Systems; also kann *t* nur einen annehmbaren Wert erhalten, wenn auch *K* innerhalb mäßiger Grenzen bleibt.

Auf zwei Wegen hat man vornehmlich versucht, diesem eben erwähnten Ziele nahe zu kommen:

Werner Siemens führte zu diesem Zwecke die Glockenmagnete ein. Wie aus Fig. 27 ersichtlich, kann man sich einen Glockenmagnet in der Weise entstanden denken, dass man die Enden eines Magnetstabes durch Zusammenbiegen einander nähert. Vermindert man auf diese Weise seinen Polabstand auf den *n*-ten Theil seines ursprünglichen

Wertes, so ist sein magnetisches Moment gleichfalls auf $\frac{1}{n}$ seines früheren Betrages zurückgegangen, während sein Trägheitsmoment nur noch $\frac{1}{n^2}$ von dem des Stabes repräsentiert. Der Glockenmagnet weist noch den weiteren Vortheil auf, dass ihm infolge seines guten „magnetischen Schlusses“, der durch die große Nähe seiner beiden Pole erzielt worden ist, eine kräftige und unveränderliche Magnetisierung verliehen ist.



Fig. 27.

Sir William Thomson, der jetzige Lord Kelvin, drückte das Trägheitsmoment des Magnetsystemes seiner astatischen Galvanometer dadurch herab, dass er die bis dahin gebräuchlichen Magnetnadeln durch sogenannte Magazinmagnete ersetzte. Diese stellt er in der Weise her, dass er auf einer Glimmer- oder Aluminiumscheibe übereinander eine Anzahl kurzer, magnetisierter Streifen Uhrfederstahl, deren gleiche Pole alle nach derselben Seite gerichtet sind, aufklebte (siehe Fig. 28). Ein mit solchen Magazinmagneten versehenes System wird trotz der größeren Zahl Einzelmagnete doch annähernd dieselbe Schwingungsdauer haben wie ein System, das nur aus zwei derartigen Einzelmagneten besteht.



Fig. 28.

Einzelmagneten besteht.

Fig. 29 gibt die Ansicht eines nach Sir Thomsons Vorschlägen gebauten astatischen Spiegelgalvanometers,

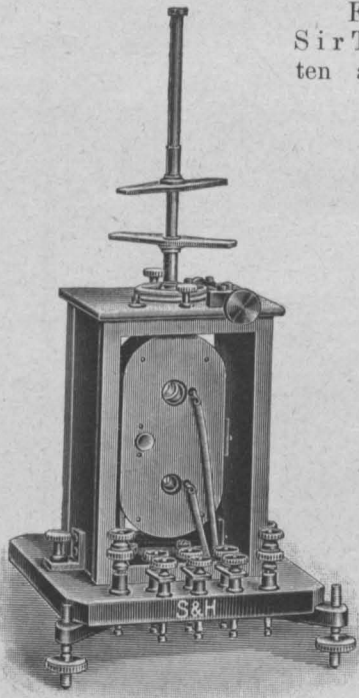


Fig. 29.

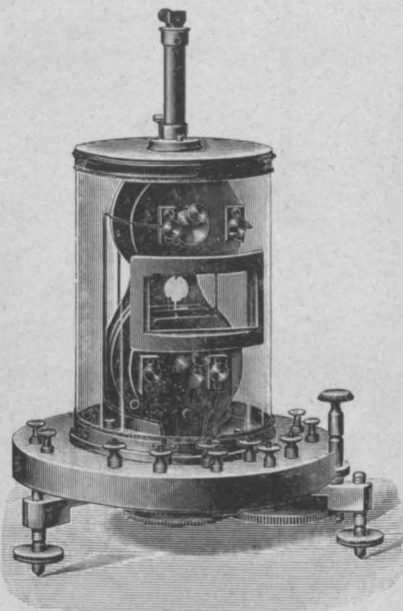


Fig. 30.

während Fig. 30 ein derartiges mit Siemens'schen Glockenmagneten versehenes Instrument darstellt. Bei dem Thomson-Galvanometer sind über dem Magnetsystem an einer Stange zwei Magnetstäbe angebracht, mit deren Hilfe man in der früher erwähnten Weise die Empfindlichkeit des Apparates verändern kann. Auch das Galvanometer mit Glockenmagneten besitzt zwei derartige Richtmagnete, die ihren Platz unter der Grundplatte des Apparates gefunden haben und mit einem Räderwerke in Verbindung stehen, das durch eine rechts am Sockel befindliche Kordenschraube bethätigt wird und gestattet, die relative Lage der Magnete und mithin ihr Gesamtmoment zu verändern oder sie beide um ihre Achse zu drehen und so die Empfindlichkeit des Galvanometers zu beeinflussen.

Diese Galvanometer mit feststehenden Spulen und beweglichen Nadeln befinden sich heutzutage, sowohl was ihre Construction als auch ihre Empfindlichkeit anbelangt, auf einer hohen Stufe der Vollkommenheit. Eine unangenehme Eigenschaft ist aber all diesen Galvanometern mit beweglichen Magnetnadeln gemeinsam. Nicht nur die Ströme, die ihre Windungen durchfließen, bringen Ablenkungen ihrer Nadel hervor, sondern auch in ihrer Nähe verlaufende Ströme thun dasselbe, wodurch der an einem derartigen Instrumente Beobachtende oft in seinen Arbeiten auf das Empfindlichste gestört wird. Da heutzutage elektrische Bahnen vielfach in nächster Nähe an physikalischen und elektrotechnischen Laboratorien vorbeifahren, so gehört das

Auftreten solcher unliebsamer Störungen keineswegs zu den Seltenheiten. Auf verschiedene Weise hat man versucht, die Nadelgalvanometer gegen derartige Beeinflussungen von außen zu schützen. Von allen zu diesem Zwecke erdachten Verfahren haben sich am besten die beiden folgenden bewährt. Du Bois und Rubens bilden ihre Galvanometer zu „Panzergalvanometern“ (siehe Fig. 31) aus. Sie umgeben nämlich ihr zweiseitiges Galvanometer, das mit durch Stahlguss gepanzerten Drahtspulen versehen werden kann, mit einer Kugelschale aus Stahlguss und einem Cylinder aus demselben Material, der oben und unten durch Stahlgusscheiben verschlossen ist. Die Wandstärken der Schutzcylinder und der Schutzkugeln sowie ihre Radien sind auf Grund sorgsamer theoretischer Erwägungen gewählt. Sie gewähren, wie durch Erfahrungen festgestellt ist, dem Instrumente gegen äußere Störungen einen mehr als hundertfachen Schutz.

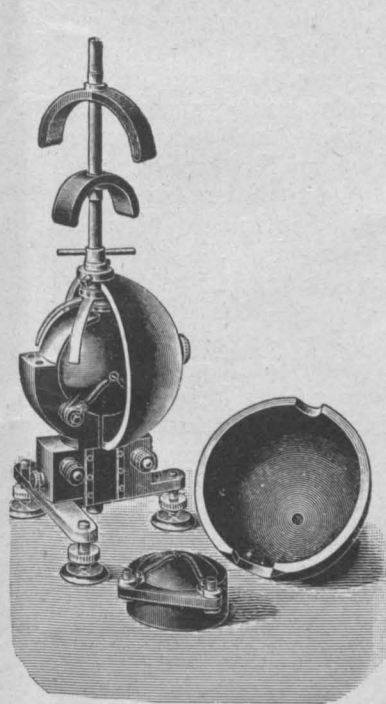


Fig. 31.

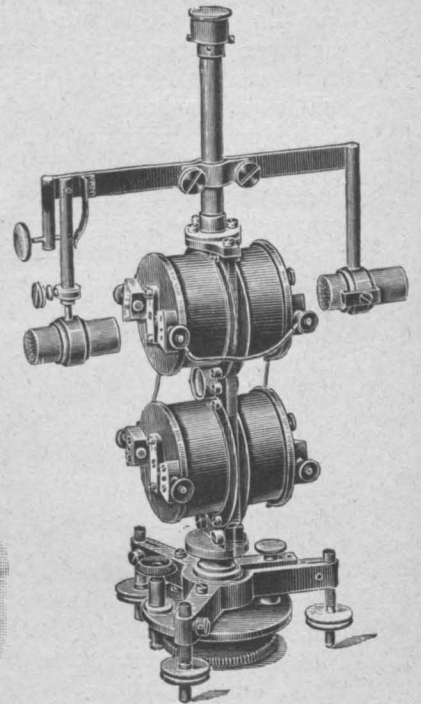


Fig. 32.

Ein anderes Verfahren, empfindliche astatische Galvanometer gegen störende Einflüsse zu schützen, das vielfach erfolgreiche Anwendung gefunden hat, beruht darauf, dass bei möglichst vollkommener Astatierung die Kräfte, die der Erdmagnetismus noch auf das System ausübt, verschwinden gegenüber der Torsion des Aufhängefadens, resp. der Kraft des Richtmagnetes. Um diese vollkommene Astatierung zu erzielen, wurden, wie dies aus Fig. 32 ersichtlich, ein oder zwei Bündel weichen, ausgeglühten Eisendrahtes horizontal außerhalb des Instrumentengehäuses in der Nähe des schwächeren der beiden Magnete des astatischen Systems angeordnet. Hiedurch wird die in der Achse des Bündels liegende Componente des magnetischen Feldes verstärkt und infolgedessen auch der betreffende Systemmagnet. Durch passende Wahl der Entfernung und der Lage der Bündel zu dem Magnet lässt sich das Galvanometer fast vollständig unabhängig von äußeren Störungen erhalten.

Die früher erwähnte zweite Sorte empfindlicher Spiegelgalvanometer, bei denen die Magnete feststehen und die Spule beweglich ist, beruhen auf dem Princip, das zum erstenmale von Sir William Thomson bei seinem genial durchgeführten Siphon-Recorder im Jahre 1867 angewendet worden, dem Instrument, von welchem man mit Recht behaupten kann, dass es seiner Zeit um Decennien vorausseilte. Thomson benutzte, um vermittlels der sehr schwachen, durch transatlantische Kabel hindurchgehenden Ströme noch nennbare Kräfte ausüben zu können, die

Wechselwirkung zwischen dem Felde eines sehr starken Magneten und demjenigen einer von sehr schwachen Strömen durchflossenen Spule. Die Anordnung ist in der Weise durchgeführt, dass sich die beiden Seiten der Spule in den engen Lufträumen drehen können, welche zwischen den Polen eines sehr kräftigen Magneten und einem Weicheisenstück gebildet sind. Interessant ist auch hierbei die Anwendung eines sehr vollkommen geschlossenen magnetischen Kreises bei dem das starke Feld erzeugenden permanenten oder Elektromagneten. Je nach der Richtung des Stromes und der Magnetisierungsrichtung schlägt nun die leicht bewegliche Rolle nach der einen oder anderen Seite aus und nimmt eine Ruhelage ein, welche von den elektrischen Kräften und der Richtkraft der Aufhängung abhängig ist. Die nach diesem Princip construierten Spiegelgalvanometer haben vor denen mit beweglichen Nadeln den wesentlichen Vortheil voraus, dass ihre Angaben durch benachbarte magnetische Felder jeglicher Art nicht beeinflusst werden. Wir wissen daher stets, wenn wir an einem derartigen Instrumente einen Ausschlag wahrnehmen, dass derselbe von einem seine bewegliche Spule durchfließenden Strome und nur von diesem herrührt, während wir bei einem Nadelgalvanometer uns immer erst fragen müssen, kann dieser Ausschlag nicht ganz oder wenigstens theilweise auf andere Ursachen zurückzuführen sein als auf den die Galvanometerrollen passierenden Strom? In einem Punkte allerdings stehen die Galvanometer mit festen Magneten — man bezeichnet sie gewöhnlich als Deprez-d'Arsonval-Galvanometer — denen mit beweglicher Magnetnadel nach: ihre Empfindlichkeit ist eine geringere wie diejenige, die diese besitzen, und kann nicht bis zu demselben Betrage gesteigert werden, weil dadurch die Schwingungsdauer des Deprez-d'Arsonval-Galvanometers gleichfalls vermehrt und leicht einen lästig hohen Betrag erreichen und dadurch seine Benutzung illusorisch würde.

Wir sprachen eben von der „Empfindlichkeit“ des Galvanometers. Unter derselben versteht man jetzt allgemein den Ausschlag in Scalentheilen, den bei 1000 Scalentheilen Scalenabstand 1 Mikroampère hervorruft, wenn die Dauer einer ganzen Schwingung 10 Sekunden beträgt und der Widerstand des Galvanometers auf 1 Ohm reducirt ist. Letzteres geschieht auf Grund der Annahme, dass die Empfindlichkeit der Quadratwurzel aus dem Widerstand umgekehrt proportional ist, während sie sich wie das Quadrat der Schwingungsdauer ändert. Mit Rücksicht hierauf ergibt sich die Empfindlichkeit des vierspuligen Galvanometers von Du Bois-Rubens — dasselbe ist ein astatiches Thomson'sches Galvanometer, das die genannten beiden Herren unter Berücksichtigung der neuesten Erfahrungen und den Anforderungen der Praxis der Jetztzeit entsprechend sehr schön umconstruiert haben — zu 500. Die Empfindlichkeit der Deprez-d'Arsonval-Galvanometer können wir nicht ohneweiteres vorstehender Definition entsprechend ausdrücken, denn das Deprez-d'Arsonval-Galvanometer besitzt eine ganz bestimmte Schwingungsdauer, die durch die jeweilige Construction gegeben ist und sich nicht in ähnlicher Weise abändern lässt, wie wir dies bei den Nadelgalvanometern mit Hilfe der Astasierungsmagnetstäbe bewerkstelligen können. Wir berechnen daher, um einen Vergleich zu gewinnen, die Empfindlichkeit des Deprez-d'Arsonval-Galvanometers für 1 Ohm und seine ihm eigenthümliche Schwingungsdauer und reducieren dann die Empfindlichkeit des Du Bois-Rubens'schen Galvanometers auf dieselbe Schwingungsdauer. Das empfindlichste Deprez-d'Arsonval-Galvanometer, das, so weit bekannt, von Siemens & Halske gebaut ist, besitzt eine Schwingungsdauer von 12 Sekunden. Für dasselbe ergibt sich eine relative Empfindlichkeit von 71,5 und für das vierspulige Du Bois-Rubens'sche Galvanometer für 12 Sekunden Schwingungsdauer eine solche von 720. Demnach ist das

letztere Instrument rund zehnmal so empfindlich wie ersteres. Trotz ihrer relativ geringeren Empfindlichkeit ist es den Deprez-d'Arsonval-Galvanometern gelungen, sich in verhältnismäßig kurzer Zeit den in der Praxis stehenden Elektrikern unentbehrlich zu machen und auch sich in den meisten rein wissenschaftlichen Zwecken dienenden physikalischen Laboratorien Eingang zu verschaffen. Denn für weitaus die meisten Messungen, nicht nur des praktischen Elektrikers, sondern auch des Physikers, ist ihre Empfindlichkeit eine ausreichende, und ihre Eigenschaft, durch äußere magnetische Störungen nicht beeinflusst zu werden, ist für beide, Elektriker und Physiker, äußerst wertvoll, so dass sie oft gerne im Hinblick auf diese Eigenschaft auf die größere Empfindlichkeit der astatischen Nadelgalvanometer verzichten.

Ueber den Aufbau eines Deprez-d'Arsonval-Galvanometers geben die Figuren 33 und 34 Aufschluss. Wie aus ihnen ersichtlich, besteht der Apparat aus zwei Haupttheilen: der Grundplatte mit dem aus sechs Einzelmagneten, deren

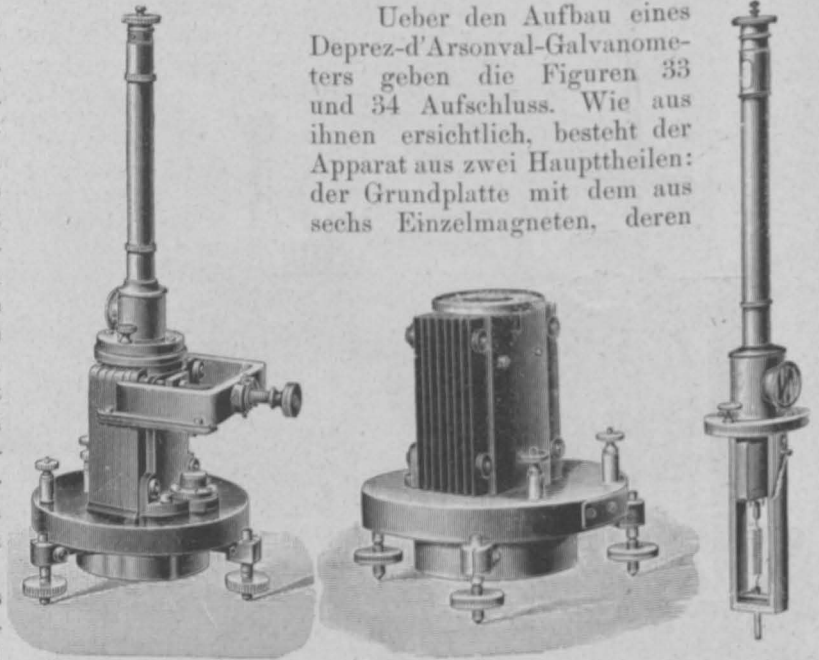


Fig. 33.

Fig. 34.

Pole in je einem Weicheisenpolschuh vereinigt sind, zusammengesetzten Hufeisenmagneten und einem Messingrohr, das einen als dickwandigen Hohlcylinder construierten Weicheisenkern trägt, den die bewegliche Spule umgibt. Diese ist entweder frei oder auf einem Rahmen aus elektrolytischem Kupfer gewickelt und besteht aus elektrolytischem Kupferdraht. Ihre einzelnen Windungen stellen Rechtecke dar. Die bewegliche Spule wird von einem aus feinem Phosphorbronzdraht gewalzten Bande, das am obersten Theile des Messingrohres befestigt ist und gleichzeitig als Stromzuführung für die Spulenwindungen dient, getragen. Seine Torsion bildet ferner die Kraft, welche der beweglichen Spule beim Stromdurchgange ertheilten Ablenkung entgegenwirkt. Die zweite Stromzuführung stellt eine ebenfalls aus feinem Phosphorbronzdraht gefertigte Spirale dar, die am unteren Theile der Spule angreift. Wie aus Fig. 33 ersichtlich, umfasst ein hufeisenförmiges weiches Eisenstück, das mit Hilfe einer Schraube auf einem Messingschlitten entweder theilweise über die Pole des Magnetsystemes geschoben oder von diesem entfernt werden kann, dessen Schenkel. Dieses Weicheisenstück ist ein „magnetischer Nebenschluss“ für das System der Stahlmagnete. Es hat den Zweck, dem Einstellen der Empfindlichkeit des Galvanometers zu dienen, und gestattet, dieser innerhalb weiter Grenzen jeden beliebigen Wert zu geben. Hat der magnetische Nebenschluss die Stellung zum Magnetsystem wie in Fig. 33, so ist die Empfindlichkeit des Galvanometers um etwa 40% geringer als wenn er ganz zurückgeschraubt ist. Seine Wirkungsweise beruht darauf, dass ein Theil der magnetischen Kraftlinien,

die bisher von Magnetpol zu Magnetpol durch den hohl-cylindrischen Eisenkern verliefen, jetzt ihren Weg durch den magnetischen Nebenschluss nimmt. Dies thun umso mehr Kraftlinien, je weiter der Weicheisenbügel über die Magnetpole geschoben ist. Auf diese Weise wird die Stärke des magnetischen Feldes, in dem die bewegliche Spule sich befindet, geschwächt, und dieselbe Stromstärke erzeugt jetzt einen geringeren Ausschlag als vorher. Denn für das Deprez-d'Arsonval-Galvanometer gilt die Gleichung:

$$i = \frac{C}{H \cdot F} \cdot \alpha.$$

Der die bewegliche Spule des Instrumentes durchfließende Strom i ist gleich dem abgelesenen Ausschlage α , multipliziert mit einer durch die Beschaffenheit des Aufhängebandes gegebenen Constanten C und dividiert durch das aus der Feldstärke H und der Windungsfläche F der beweglichen Spule gebildete Product. Die angeführte Gleichung gibt uns auch Aufschluss darüber, wie man die Empfindlichkeit des Deprez-d'Arsonval-Galvanometers vergrößern kann. Zu diesem Zwecke ist dem Quotienten $\frac{C}{H \cdot F}$ ein möglichst kleiner Wert zu geben, entweder dadurch, dass man C verkleinert, d. h. ein möglichst dünnes und langes Aufhängeband für die bewegliche Spule wählt, oder indem man H oder F oder alle beide vergrößert, also das Instrument mit einem recht starken Magnetsystem versieht oder, resp. und seiner beweglichen Spule möglichst viele Windungen gibt. Die Länge des Aufhängebandes muss mit Rücksicht auf die Handlichkeit des Apparates gewählt werden, und für seine Stärke ist das Gewicht der von ihm zu tragenden beweglichen Spule und die Größe des ihr zuzuführenden Stromes, der ja das Aufhängeband durchfließen muss, maßgebend. Durch beide darf es weder vorübergehend noch dauernd in seinen mechanischen Eigenschaften geändert werden. Bei der Wahl der Stärke der Magnete und der Zahl der Windungen der beweglichen Spule ist außer der Empfindlichkeit auch noch die Schwingungsdauer und die Dämpfung des Galvanometers zu berücksichtigen, da von ihnen seine praktische Brauchbarkeit abhängt. Die Schwingungsdauer ist uns bei offenem beweglichen Spulenkreise gegeben durch die Beziehung

$$t = 2\pi \sqrt{\frac{K}{C}},$$

worin K das Trägheitsmoment des beweglichen Systems bedeutet. Demnach ist darauf zu achten, dass der Wert von K so klein gewählt wird, wie es nur angängig ist mit Rücksicht auf die Empfindlichkeit des Galvanometers. Außer auf das Trägheitsmoment haben wir bei Wahl der Magnetstärke und der Art der Wickelung der beweglichen Spule noch unser Augenmerk darauf zu richten, dass das Galvanometer keine übermäßig große Dämpfung erhält, dass seine Schwingungsdauer bei geschlossenem beweglichem Spulenkreis nicht unzulässig groß wird. Denn bewegt sich die Spule in einem Magnetfelde, so wird in ihren Windungen eine elektromotorische Kraft induciert, und sind jene durch einen Widerstand geschlossen, so wird in ihnen ein Strom entstehen, und als Folge davon eine elektrodynamische Wirkung zwischen Feld und Spule, die deren Bewegung zu hemmen und mithin ihre Schwingungsdauer zu vergrößern sucht. Diese infolge der Induction in den Spulenwindungen auftretende dämpfende Kraft ist proportional dem Quadrate der Feldstärke, dem Quadrate der Windungsfläche und umgekehrt proportional dem gesamteten Widerstande des Stromkreises. Um sie zu verringern, kann man auf verschiedene Weise vorgehen. An der Windungsfläche wird man nicht gern etwas ändern, da hiedurch nicht nur Dämpfung und Empfindlichkeit, sondern auch das Trägheitsmoment und mithin die Schwingungsdauer bei offenem

beweglichem Spulenkreise beeinflusst wird. Demnach bleibt nur übrig, das Feld nicht zu stark zu machen und dafür Sorge zu tragen, dass das Galvanometer nur durch Widerstände geschlossen werden kann, die nicht unter einem bestimmten Betrage liegen. Man wird daher, nachdem man Aufhängeband, Feldstärke und Windungsfläche passend gewählt hat, fest vor die Wickelung der beweglichen Spule einen Widerstand schalten, der so bemessen ist, dass die Dämpfung selbst dann nicht sich lästig bemerkbar macht, wenn die Spulenwickelung nur durch diesen Widerstand geschlossen ist.

Ueber die Abhängigkeit der Dämpfung und Schwingungsdauer vom Widerstande des äußeren Spulenkreises gibt das in Fig. 35 dargestellte Diagramm ein anschauliches Bild.

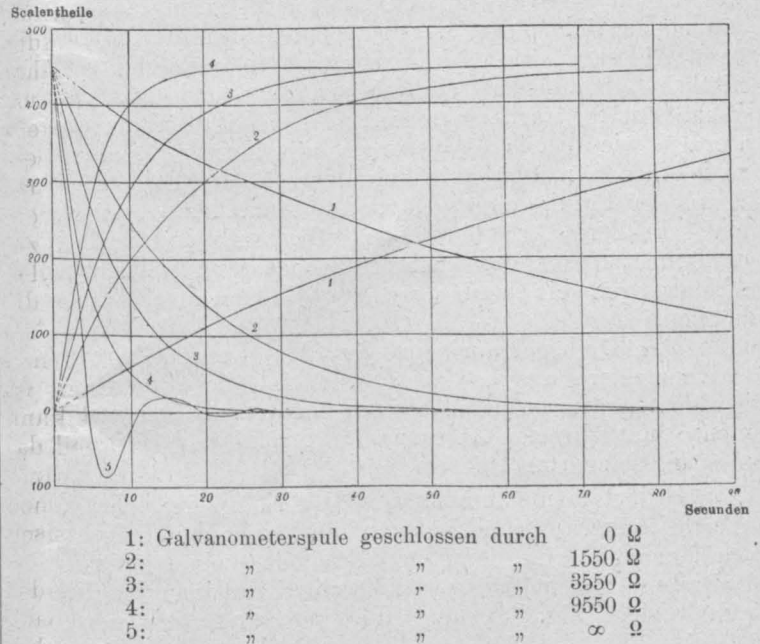


Fig. 35.

Endlich wollen wir noch erwähnen, dass auch dem Deprez-d'Arsonval-Galvanometer, wie es bei den meisten Galvanometern mit beweglichen Nadeln der Fall ist, vollständige Proportionalität zwischen Scalenausschlag und dem ihn hervorrufenden Strome ertheilt werden kann, wie Fig. 36 beweist, der Beobachtungen zugrunde liegen, die an einem derartigen von Siemens & Halske gebauten Instrumente gewonnen sind.

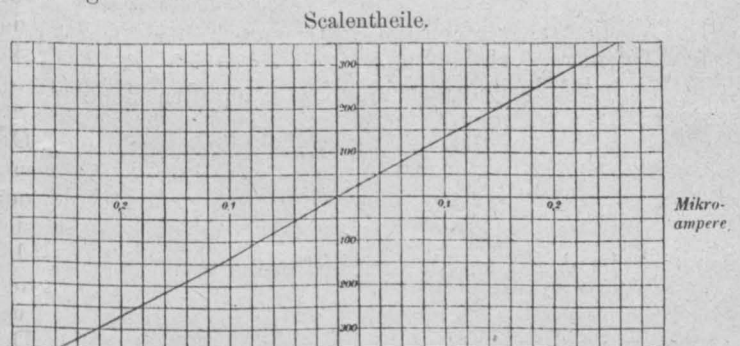


Fig. 36.

Zur Beobachtung der Ablenkungen, die empfindlichen Galvanometern wie den eben beschriebenen ertheilt werden, sind hauptsächlich zwei Verfahren in Benutzung: das bekannte von Gauss angegebene mit Fernrohr und Scala (siehe Fig. 37) und ein anderes, bei dem man sich einer Laterne bedient, die eine elektrische Glühlampe enthält (siehe Fig. 38). Diese erleuchtet einen Spalt, von

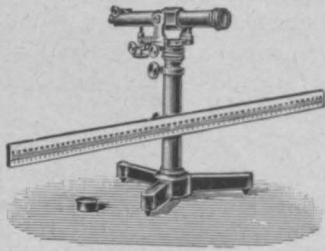


Fig. 37.

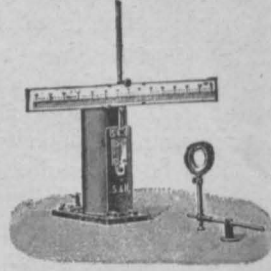


Fig. 38.

dem mit Hilfe einer Linse ein Bild auf den Spiegel des Galvanometers geworfen und von diesem dann auf eine Scala reflectiert wird. Die Linse kann entbehrt werden, wenn man das Galvanometer statt mit einem Planspiegel mit einem Hohlspiegel versieht. Diese Methode der objectiven Ablesung hat sich namentlich in den elektrotechnischen Laboratorien sehr eingebürgert und mit Recht. Wenn mit ihr auch nicht ganz so genaue Resultate erzielt werden wie bei den Ablesungen mit Fernrohr und Scala, so ist ihre Genauigkeit in der Mehrzahl der Fälle für den Mann der Praxis eine genügende. Außerdem gestattet sie ein schnelleres Arbeiten als mit Fernrohr und Scala und ermöglicht ferner, dass mehrere Beobachter gleichzeitig die Ablenkungen ein und desselben Galvanometers ablesen können.

Das Drehspulenprincip, das den Deprez-d'Arsonval-Galvanometern zugrunde liegt und sich bei diesen so gut bewährt hat, hat man auch dazu benutzt, um Zeigerinstrumente mit directer Ablesung für Strom- und Spannungsmessungen zu construieren.

Ordnet man nämlich, wie Deprez gezeigt hat, den Weicheisenkern cylindrisch an und gibt den Polschuhen des Magneten eine derartige Form, dass ein ringförmiger Luftraum entsteht, so verlaufen die Kraftlinien in diesem radial (siehe Fig. 39), und die Feldstärke ist an allen

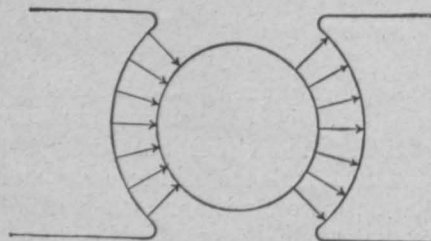


Fig. 39.

Punkten des Luftraumes mit Ausnahme der äußersten Ecken gleich. Wendet man nun eine Kraft an, welche den Rahmen in seine Nullage zurückzuführen strebt und dem Ablenkungswinkel proportional ist, so besteht Gleichgewicht, wenn

$$F i - C \alpha = 0,$$

wobei F die Feldstärke, i die Stromstärke in der Spule, α der Ablenkungswinkel und C die elastische Gegenkraft beim Winkel 1 bedeuten, beide Kräfte auf den Hebelarm 1 bezogen. Also hat man

$$a = \frac{F}{C} \cdot i,$$

$$a = C' \cdot i.$$

Demnach ist der Ausschlagswinkel proportional der Stromstärke.

Eine sehr schöne Durcharbeitung sowohl in elektrischer wie in mechanischer Hinsicht haben diese Instrumente durch den Amerikaner Weston erfahren. In neuerer Zeit haben zahlreiche Firmen ihren Bau aufgenommen, und da es uns Ihre Zeit nicht gestattet, auf deren zum Theil recht interessante Einzelausführungen einzugehen, so wollen wir in Nachfolgendem zeigen, wie die Firma Siemens & Halske diese Apparate durchgebildet hat.

Fig. 40 lässt die Anordnung der beweglichen Spule, des Weicheisenkerns und des Magnets sowie die ihm er-

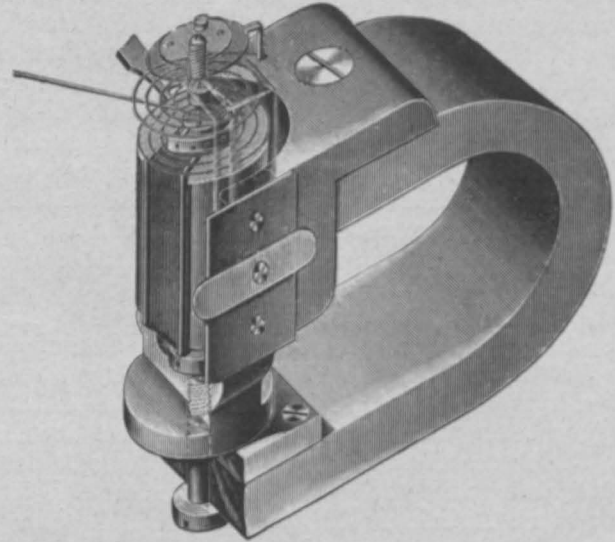


Fig. 40.

theilte Gestalt erkennen. Diese Theile sind bei sämtlichen Apparaten dieser Type, so verschieden letztere auch sonst in ihrer Ausführung sein mögen, dieselben. Je nach dem Zwecke, dem sie dienen sollen, wird die Wahl der Windungen ihrer beweglichen Spule und der Stärke der Spiralfedern, die nicht allein als Gegenkraft für die ablenkende Wirkung des Stromes dienen, sondern gleichzeitig der beweglichen Spule den Strom zuführen, getroffen. Alle Theile des Instrumentes sind nach Lehren gearbeitet, so dass sie leicht ausgewechselt werden können. Eine besonders sorgsame Centrierung des Weicheisenkerns und der beweglichen Spule sowie die Gestalt des Magnetes und seine Behandlung vor dem Einbau verleihen dem Apparate eine fast absolute Proportionalität zwischen Ausschlag und dem ihn hervorriefenden Strom, so dass die Instrumente mit gedruckten Scalen, die durchweg eine gleichmäßige Theilung besitzen, geliefert werden können.

Diese Drehspulenzinstrumente mit Zeigerablesung zerfallen zunächst in zwei große Kategorien: in Präcisionsinstrumente und in Schalttafelinstrumente. Erstere werden, wenn sie nur als Voltmeter dienen sollen, mit 100- oder 150-theiliger Scala und ein bis drei Messbereichen, z. B. für 0 bis 3, für 0 bis 15 und für 0 bis 150 Volt geliefert. Ueber das zu benutzende Messbereich wird durch Stecken eines Stöpsels (siehe Fig. 41) Wahl getroffen. Da das Voltmeter für max. 150 Volt 12.000 bis 15.000 Ohm Widerstand hat — der Betrag desselben ist für die verschiedenen

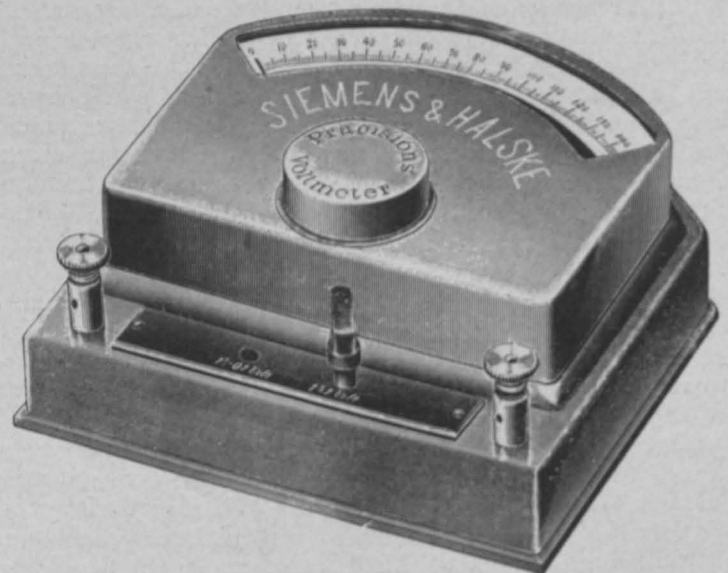


Fig. 41.

Instrumente verschieden — und der weitaus größte Theil dieses Widerstandes aus Manganindraht gefertigt ist, so sind die Angaben dieser Apparate vollständig von der Temperatur ihrer Umgebung und der Dauer ihrer Einschaltung unabhängig. Um auch Instrumente zu haben, die einen ganz bestimmten Widerstand besitzen, wie es bei den früher vielgebrauchten Torsionsgalvanometern der Fall war, sind zwei Milli-Volt- und Milli-Ampèremeter nach dem Drehspulenprincip geschaffen worden, von denen das eine genau 1 Ohm, das andere genau 100 Ohm Widerstand aufweist. Beide haben 150-theilige Scala. Bei dem ersteren hat jeder Theilstrich den Wert eines tausendstel Ampère, resp. eines tausendstel Volt. Bei letzterem gilt ein Scalenthail $\frac{1}{10.000}$ Amp.,

resp. $\frac{1}{100}$ Volt. Beide können zusammen mit geeigneten Vor- und Nebenschlusswiderständen zum Ermitteln beliebig großer Spannungen und Stromstärken verwendet werden. So kann man z. B. mit Hilfe des einohmigen Instrumentes messen: bei Verwendung eines Vorschaltwiderstandes

von	9 Ohm bis	1.5 Volt,
"	99 " "	15 "
"	999 " "	150 "
und mit einem Nebenschlusse		
von	$\frac{1}{9}$ Ohm bis	1.5 Amp.,
"	$\frac{1}{99}$ " "	15 "
"	$\frac{1}{999}$ " "	150 "
"	$\frac{1}{9999}$ " "	1500 "

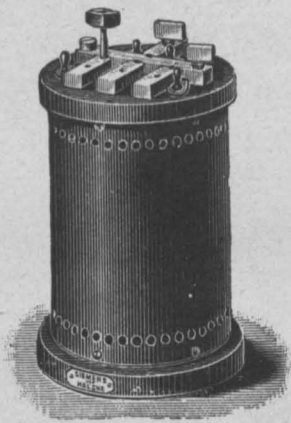


Fig. 42.

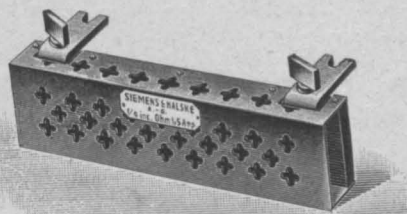


Fig. 43.

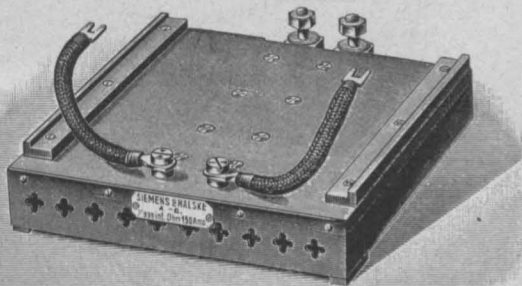


Fig. 44.

Fig. 42 gibt die Ansicht eines derartigen Vorschaltwiderstandes für das Milliampèremeter, während Fig. 43 und Fig. 44 Nebenschlüsse für dasselbe von $\frac{1}{99}$ Ohm und $\frac{1}{999}$ Ohm darstellen. Der Vorschaltwiderstandskasten ist aus Manganindraht, die Nebenschlusswiderstände sind aus Manganblech gefertigt. Letztere besitzen Luftkühlung. Zum Messen von Stromstärken, die größer als 150 Amp., benutzt man Nebenschlüsse aus Manganblech, die in Paraffin gebettet sind und in der Weise gekühlt werden, dass die in ihnen entwickelte Stromwärme das Paraffin schmilzt, das nach Aufhören des Stromdurchganges wieder fest wird. Diese Widerstände gleichen äußerlich den in Fig. 6 dargestellten.

Die Präcisions-Milliampèremeter haben genau dasselbe Aeußere wie das Präcisionsvoltmeter der Fig. 41, wenn man sich den Stöpsel und die Stöpsellöcher wegdenkt. Sie zeichnen sich durch einen kleinen Temperatur-Coëfficienten aus: derselbe beträgt pro 10 C. 0.0006, kann also bei weitaus den meisten praktischen Messungen unberücksichtigt bleiben. Um aber noch weitergehenden Wünschen in Bezug auf den Temperatur-Coëfficienten gerecht zu werden, hat man ein Milliampèremeter construirt, das drei Ohm Widerstand hat und einen Temperatur-Coëfficienten von 0.00016 besitzt, und dasselbe quasi als Universal-Strom- und -Spannungs-Messinstrument eingerichtet. Es hat sechs Empfindlichkeiten, drei für Strom- und drei für Spannungsmessungen, die wieder durch einen Stöpsel bethätigt werden. Man kann mit diesem Apparate messen: entweder bis 3, resp. bis 15, resp. bis 150 Volt oder bis 0.15, resp. 1.5, resp. 15 Amp. Durch Anwendung entsprechender Vor-

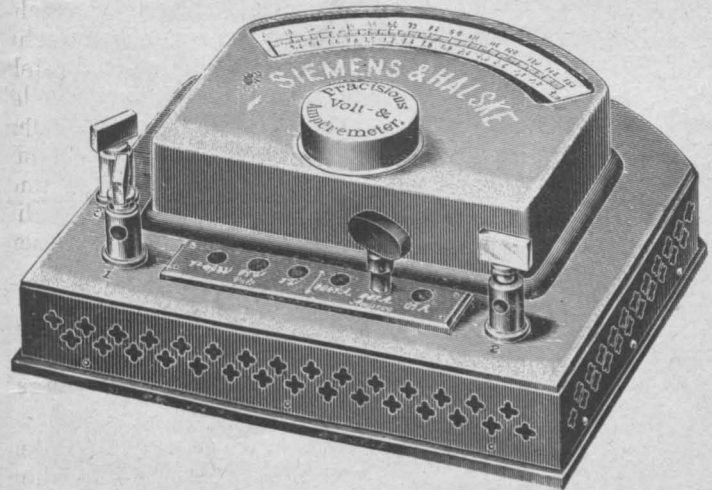


Fig. 45.

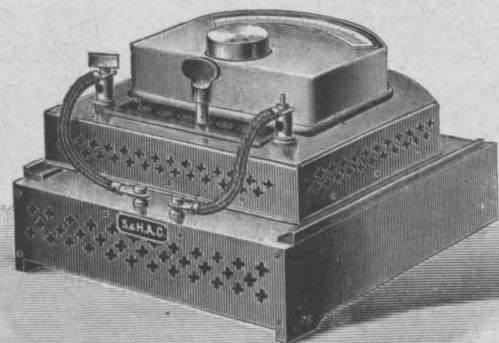


Fig. 46.

und Nebenschlüsse können diese Messbereiche noch erweitert werden. Fig. 45 zeigt ein derartiges Universal-Instrument; in Fig. 46 ist dasselbe mit einem Nebenschlusse zusammengeschaltet, um zu Stromstärkemessungen bis 150 Amp. benutzt zu werden.

Als Hauptvorzüge dieser Drehspulen-Präcisions-Instrumente sind vornehmlich zu nennen: die Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Unveränderlichkeit ihrer Angaben und deren Unabhängigkeit von benachbarten magnetischen Feldern, directe Zeigerablesung und aperiodische Zeigereinstellung; ferner der Umstand, dass sie keiner besonderen Aufstellung und Ausrichtung bedürfen, weder nach dem magnetischen Meridian noch nach der Horizontalen mit Hilfe einer Wasserwaage, denn sie zeigen in jeder Lage richtig. Endlich ist noch ihre Unempfindlichkeit gegen mechanische Einflüsse, wie Erschütterungen und dergl., zu rühmen.



Fig. 47.

Amp. dienen sollen, erhalten besondere Nebenschlüsse, was für die Montage der Schaltbretter insofern ein specieller Vortheil ist, als man jetzt nicht wie sonst die dicken, den zu messenden Strom leitenden Kupferschienen nur des Stromzeigers wegen nach dem Schaltbrette zu führen braucht, vielmehr in dieselben an irgend einer bequem gelegenen Stelle den Nebenschluss einbaut und von dessen Potentialklemmen dünne Drähte nach dem auf dem Schaltbrette befindlichen Stromzeiger führt.

Wie schon früher erwähnt, werden auch nach diesem Principe Schalttafel-Instrumente gebaut, die in ihrer Einrichtung keine wesentlichen Unterschiede gegen die eben beschriebenen Apparate aufweisen. Bei den Stromzeigern (siehe Fig. 47) für Ströme bis 100 Amp. werden die Nebenschlüsse in die Instrumente eingebaut, wie das auch bei dem Universalinstrumente geschieht; diejenigen, die zur Messung von mehr als 100

d. h. Apparate zur Messung von Temperaturen, die außerhalb des Bereiches des Quecksilber-Thermometers liegen. Wie Ihnen bekannt ist, entsteht ein mit dem Temperaturgefälle gleichsinniger elektrischer Strom in zwei verschiedenen Metallen, die mit einander verlöthet sind, wenn man die Lötstelle erwärmt. Die hierdurch hervorgerufene elektromotorische Kraft hängt von der Beschaffenheit der Metalle und von der Temperatur der Lötstelle ab. Bringen wir daher zwei derartig verbundene Metalle in einen Ofen, und ist uns bekannt, welchen Betrag die bei Erwärmung ihrer Vereinigungsstelle entstehende elektromotorische Kraft erreichen kann, und nach welchem Gesetze sie sich ändert, so sind wir, wenn wir die Größe der auftretenden elektromotorischen Kraft bestimmen, dank den Arbeiten der physikalisch-technischen Reichsanstalt, die in erster Linie von den Herren Professoren Kurlbaum und Holborn ausgeführt worden sind, im Stande, auf Grund dieser Messung die Temperatur des Ofens anzugeben. Es hat sich nun gezeigt, dass vornehmlich zwei Thermolemente derartige zuverlässige Temperaturmessungen gestatten: für hohe Temperaturen bis etwa 1600° C. verwendet man am besten das Le Chatelier'sche Element, das aus einem Platindrahte und einem aus einer Legierung von 90% Platin



Fig. 48.

Da diese Instrumente gestatten, ihren Nullpunkt hinzulegen, wohin man will, so kann man für die Spannungszeiger Scalen schaffen, die eine Theilung nur für das Messbereich darstellen, innerhalb dessen sie gebraucht werden sollen. Man gewinnt so sehr weitgedehnte, aus der Entfernung gut ablesbare Scalen (siehe Fig. 48). Für große Schaltbretter werden derartige Voltmeter mit transparenten Scalen, die von hinten mittels einer Glühlampe beleuchtet werden können, gebaut (siehe Fig. 48).

Da der Schwerpunkt des beweglichen Systems dieser Instrumente in ihrer Achse liegt, so ist die Aufhängung der Apparate ganz gleichgültig und daher können dieselben auch auf Schiffen und in Eisenbahnzügen ohne weiteres Verwendung finden.

Die guten Eigenschaften und die bequeme Handhabung der nach dem Drehspulenprincip gebauten Präzisions-Instrumente haben es ermöglicht, verschiedene im Gebrauch sehr bequeme und zuverlässige Messvorrichtungen für die Praxis zu schaffen und bereits existierende wesentlich zu vervollkommen und zu verbessern, wie wir an einigen Beispielen zeigen wollen. So gelang es, mit ihrer Zuhilfenahme sehr brauchbare thermoelektrische Pyrometer zu construieren,

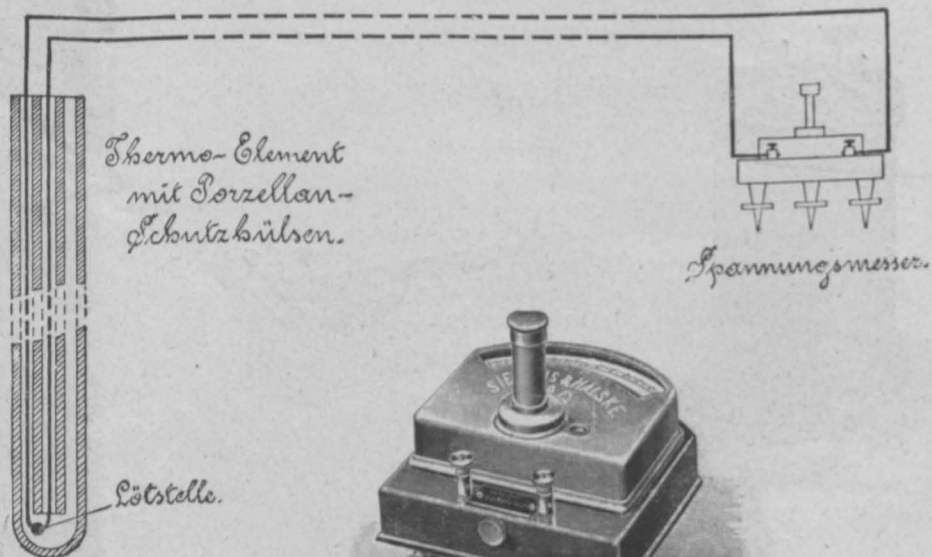


Fig. 49.

und 10% Rhodium hergestellten Drahte besteht. Für Temperaturen, die zwischen -190°C. und $+400^{\circ}\text{C.}$ liegen, wird man sich mit Vortheil eines Kupfer-Constantan-Thermolementes bedienen, da dieses eine höhere elektromotorische Kraft als das erstgenannte besitzt. Da die bei derartigen Messungen auftretenden elektromotorischen Kräfte oft nur den Betrag weniger Millivolt erreichen, so genügt die Empfindlichkeit der gewöhnlichen Millivoltmeter nicht mehr, und wurden diese daher dahin abgeändert, dass man die von einer Spitzenachse bisher getragene bewegliche Spule an einem feinen Metallbande aufhängte, dessen Torsion jetzt die Gegenkraft für die ablenkende Wirkung des Stromes bildet. Auf diesem Wege hat man ein Millivoltmeter erhalten (siehe Fig. 49), das mit genügender Genauigkeit die in Rede stehenden thermoelektrischen Kräfte zu messen gestattet und natürlich auch anderweitig zu Messungen kleiner Spannungen verwendet werden kann. Von seiner 180 theiligen Scala hat jeder Theilstrich den Wert von 0,0001 Volt. Dieses Millivoltmeter besitzt zwei Scalen, deren eine nach Millivolt getheilt ist, während die andere direct die gesuchte Temperatur abzulesen gestattet.

Ein wohlbekannter Apparat, der schon seit vielen

Jahren der Elektrotechnik, speciell der Telegraphentechnik, wertvolle Dienste geleistet hat, ist das von Werner Siemens construierte Universal-Galvanometer. Neben den vielen Vorzügen, die ihm eigen sind, haften ihm verschiedene Mängel an, die hauptsächlich auf den Umstand zurückzuführen sind, dass es ein astatisches Galvanoskop besitzt, dessen Nadeln an einem Coconfaden aufgehängt sind. Infolge dessen erfordert das Instrument vor seiner jedesmaligen Ingebrauchnahme eine zeitraubende Ausjustierung nach der Verticalen und nach dem magnetischen Meridian. Da das astatische Nadelpaar leicht von außen beeinflusst wird, so musste peinlich darauf geachtet werden, dass Messungen mit dem Apparat nur an Orten ausgeführt wurden, wo äußere magnetische Störungen nicht zu befürchten waren. Auch erforderte das Universal-Galvanometer,

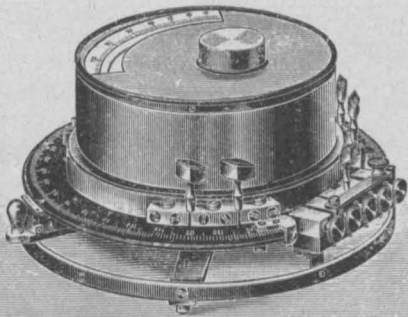


Fig. 50.

da der Coconfaden leicht riss, eine besonders zarte Behandlung in mechanischer Hinsicht. Ferner besaß das Instrument so gut wie gar keine Dämpfung, weshalb die Vornahme der Messungen mit ihm nur langsam von statten gehen konnte. Endlich sei noch erwähnt, dass das Instrument keine directen Ablesungen gestattete, das Messergebnis erst durch Rechnung ermittelt werden musste.

Zur Beseitigung dieser Mängel wurde zunächst das astatische Galvanoskop durch ein einohmiges Präcisions-Milli-Volt- und -Ampèremeter ersetzt und dem um die Peripherie der Schieferplatte ausgespannten Messdrahte eine Theilung gegeben, die gestattet, bei Widerstandsmessungen an ihr die gesuchte Größe direct abzulesen. Passende, durch Stöpsel zu bethätigende Vorschaltwiderstände wurden in den Apparat eingebaut, und ferner wurde Vorsorge getroffen, dass bequem Nebenschlusswiderstände parallel zu dem Milli-Volt- und -Ampèremeter geschaltet werden können. So gestattet das Universalgalvanometer in seiner jetzigen Gestalt die rasche, bequeme und zuverlässige Vornahme der Messung von Widerständen, also auch von Isolationen, und die Bestimmung von Leitungsfehlern, von Spannungen und Stromstärken innerhalb sehr weiter Grenzen. Fig. 50 gibt eine Ansicht dieses verbesserten Universal-Galvanometers.

Neuerdings hat dieses Universal-Galvanometer einige Umänderungen erfahren, durch die es zu einem Universal-Instrument für Telegraphen- und Telephonleitungen geworden ist und als solches im Dienste bei vielen Telegraphenbehörden sich bereits sehr gut bewährt hat. Bei den bisher in den Telegraphen- und Telephonämtern gebräuchlichen Messeinrichtungen machten sich gleichfalls die Mehrzahl der Mängel, die dem alten Universalgalvanometer anhafteten, sehr lästig bemerkbar, und diese sind alle durch Einführung der neuen Messeinrichtung, von der Fig. 51 eine Gesamtansicht gibt, verschwunden. Mit ihr können sämtliche elektrische Messungen, die in den erwähnten Aemtern ausgeführt werden müssen, als Widerstandsmessungen, Isolationsmessungen bis zwei Megohm, Außen-

strommessungen, Strom- und Spannungsmessungen, in kürzester Zeit erledigt werden, und sind die verschiedenen Umschalter so gewählt und so bezeichnet, dass bei einiger Ueberlegung Irrthümer nicht gut möglich sind, selbst wenn man mit der inneren Einrichtung der Schaltung nicht genau vertraut ist.

Unter Zuhilfenahme des Drehspulenprincipes ist es auch gelungen, einen empfindlichen und für die meisten Fälle der Praxis ausreichenden und bequem zu handhabenden

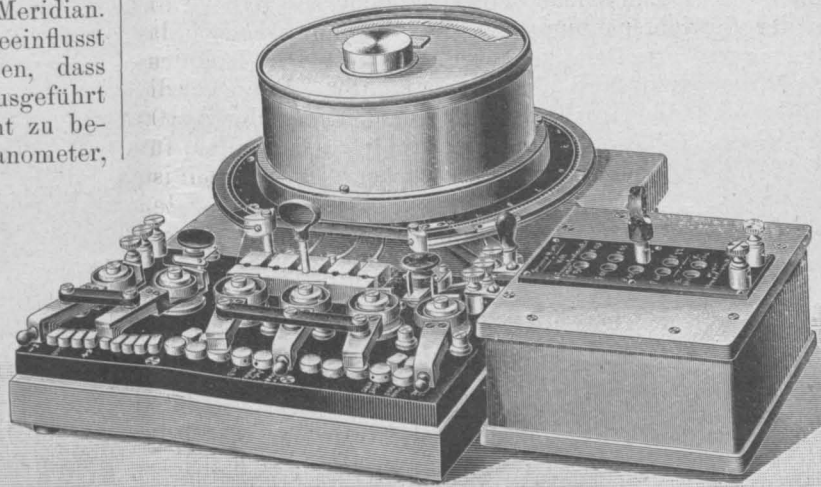


Fig. 51.

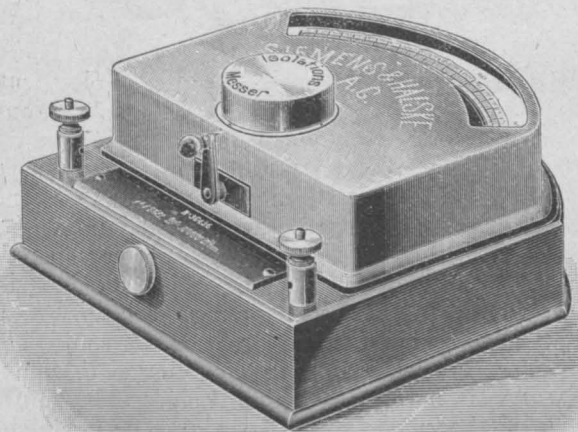


Fig. 52.

Isolationsmesser zu construiern, mit dem ohneweiteres der vom Verbands deutscher Elektrotechniker aufgestellten Bedingung, dass die Isolation elektrischer Anlagen bei der Abnahme mit einer ihrer späteren Betriebsspannung gleichen Spannung ermittelt werden soll, genügt werden kann. Dieser Isolationsmesser ist ein sehr empfindliches Präcisions-Voltmeter, das gewöhnlich 30.000 Ohm Widerstand besitzt. Für höhere Spannungen als 150 Volt werden auch Apparate mit 60.000 oder 120.000 Ohm Widerstand geliefert, auch können drei Messbereiche für verschiedene Betriebsspannungen, z. B. für 110, 220 und 440 Volt, in einem einzigen mit geeignetem Stöpselumschalter versehenen Instrumente vereinigt werden. Von sonstigen Einrichtungen dieser Isolationsmesser ist noch zu erwähnen, dass jeder derselben einen Stromwender besitzt. Schlägt bei Stromdurchgang der Zeiger des Isolationsmessers nach der verkehrten Seite aus, so dreht man an einem an der Vorderseite des Apparates befindlichen Hartgummiknopfe, und sofort bewegt sich der Zeiger in die Scala hinein. Durch den

Stromwender ist also eine Vertauschung der Zuleitungsdrähte an den Klemmen des Instrumentes überflüssig gemacht. Ferner ist dieses noch mit einem magnetischen Nebenschlusse versehen, der gestattet, die Empfindlichkeit des Apparates um $\pm 5\%$ durch Drehen an der an der Vorderseite angebrachten Kurbel (siehe Fig. 52) zu verändern.

Will man mit diesem Apparate die Isolation einer Anlage oder eines Theiles derselben messen, die nicht unter Strom steht, so muss man einer besonderen Batterie, die eine der Betriebsspannung gleiche Spannung besitzt, sich bedienen und ermittelt zunächst diese mit dem Isolationsmesser, der direct Volt abzulesen gestattet. Dann schaltet man ihn und die Hilfsbatterie mit dem Theile der Anlage, über dessen Isolation man unterrichtet sein will, nach Fig. 53 hintereinander und liest wieder die Spannung ab.

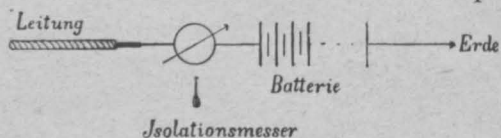


Fig. 53.

Diese möge P Volt betragen, während die Batteriespannung p Volt gewesen ist. Hat nun der Isolationsprüfer, wie früher mitgetheilt, 30.000 Ohm Widerstand, so ergibt sich der gesuchte Isolationswiderstand aus diesen Daten zu

$$W = 30.000 \left(\frac{p}{P} - 1 \right)$$

oder, wenn W im Verhältnis zu 30.000 groß ist, zu

$$W = 30.000 \cdot \frac{p}{P}$$

Da der Isolationsmesser noch $P = 0.2$ Volt deutlich erkennen lässt, so können bei einer Betriebsspannung von 110 Volt mit ihm Isolationswiderstände bis zum Betrage von 16.5 Millionen Ohm ermittelt werden. Ist die Spannung gleich 110 Volt, so kann der gesuchte Widerstand direct am Isolationsprüfer abgelesen werden, da dieser für diesen speciellen Fall noch mit einer Ohmscala versehen ist. Eine directe Ablesung des gesuchten Widerstandes ist auch möglich, wenn die Betriebsspannung sich bis $\pm 5\%$ von 110 Volt unterscheidet. Man dreht in diesem Falle beim Messen der Betriebsspannung den magnetischen Nebenschluss so weit herum, bis der Zeiger sich auf 110 Volt einstellt und kann alsdann wieder die Ohmscala benutzen.

Statt einer besonderen Hilfsbatterie kann man sich natürlich auch unter entsprechender Abänderung der Schaltung der Netzspannung bedienen, wie dies in Fig. 54 für ein Zweileiter- und in Fig. 55 für ein Dreileitersystem angegeben ist. Im ersten Falle messen wir die Spannung

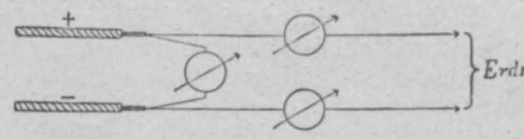


Fig. 54.

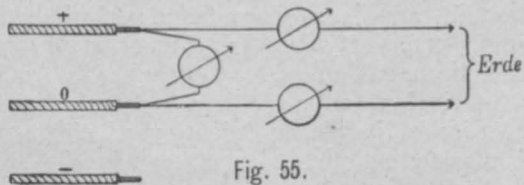


Fig. 55.

zwischen Plus- und Minus-Schiene (Netzspannung), sie sei Δ ; dann zwischen Plus-Schiene und Erde, sie sei $P(+)$; dann zwischen Minus-Schiene und Erde, sie sei $P(-)$; der Isolationswiderstand der ganzen Anlage ist dann

$$W = 30.000 \left(\frac{\Delta}{P(+)-P(-)} - 1 \right),$$

der Isolationswiderstand der Plusleitung für sich

$$W(+)=30.000 \left(\frac{\Delta}{P(-)} - 1 - \frac{P(+)}{P(-)} \right),$$

der Isolationswiderstand der Minusleitung für sich

$$W(-)=30.000 \left(\frac{\Delta}{P(+)} - 1 - \frac{P(-)}{P(+)} \right).$$

In diesen Gleichungen, wie auch in den früher angegebenen, ist 60.000, bezw. 120.000 zu setzen an Stelle von 30.000 bei Benutzung der höheren Messbereiche. Ist die Netzspannung 110, bezw. 220, bezw. 440 Volt, so erlaubt die Ohmscala, nach der ersten dieser Gleichungen die Isolation direct zu erkennen, wenn eine der Spannungen $P(+)$ oder $P(-)$ gegen die andere zu vernachlässigen ist.

Haben wir die Isolation eines Dreileiternetzes zu untersuchen, so werden wir folgendermaßen verfahren: Wir machen zwischen zwei benachbarten Schienen und zwischen diesen und Erde dieselben Messungen wie beim Zweileitersystem (zwei benachbarte Schienen sind Plus- und Null-Schiene und Null- und Minus-Schiene). Ist Δ die Spannung zwischen Plus- und Null-Schiene, $P(+)$ die Spannung zwischen Plus-Schiene und Erde, $P(0)$ die Spannung zwischen Null-Schiene und Erde, so ist der Isolationswiderstand der ganzen Anlage

$$W = 30.000 \left(\frac{\Delta}{P(+)-P(0)} - 1 \right).$$

Bezüglich der höheren Messbereiche gilt dasselbe wie oben.

In ähnlicher Weise kann man auch die Isolation einer Fünfleiteranlage messen.

Elektrische Stromerzeuger und Motoren.

Vortrag, gehalten am 16. December 1901 von Ober-Ingenieur **Karl Pichelmayer**.

Wenn ich heute die Ehre habe, Ihnen einiges über Dynamomaschinen und Motoren zu erzählen, so muss ich zuerst um Nachsicht dafür bitten, dass ich gezwungen bin, den großen Stoff in einen kurzen Vortrag zusammenzufassen, wodurch ich genöthigt sein werde, mitunter etwas populärer zu werden, als es den anwesenden Fachleuten erwünscht sein wird, und wodurch ich andererseits infolge der gebotenen Kürze jenen Herren, welche auf diesem Gebiete noch nicht so eingearbeitet sind, doch auch infolge manchen Gedankensprunges schwerer verständlich sein werde.

Wenn wir, meine Herren, kurz auf den Stand der physikalischen Wissenschaft zurückblicken, welcher zur Zeit des Beginnes der Entwicklung der Dynamomaschine geherrscht hat, so müssen wir als einen besonders wichtigen Zeitpunkt das Jahr 1819 herausgreifen, in welchem der Däne **Oerstedt** die Entdeckung machte, dass eine Magnetnadel durch einen elektrischen Strom in ihrer Nähe abgelenkt wird. Bis zu dieser Zeit hatte man keine Ahnung, dass zwischen dem Magnetismus und dem elektrischen Strom eine so nahe Verwandtschaft bestehe. Diese Verwandtschaft wurde durch zahlreiche Versuche weiter aufgeklärt, und diese Versuche waren der Anstoß zu einer Kette von Entdeckungen und zu einer Reihe von Anwendungen auf praktische Apparate, aus denen schließlich die Anfänge unserer heutigen Dynamomaschine hervorgingen.

Im Jahre 1830 entdeckte **Faraday**, der geistreiche Experimentator, die Hauptgesetze der elektromagnetischen Induction, insbesondere die Entstehung des elektrischen Stromes durch Vorbeibewegung von Leitern an Magneten. Schon zwei Jahre darauf bauten **Pixii** und **Clarke** die erste magneto-elektrische Maschine. Es war dies ein einfacher Stahlmagnet von Hufeisenform, vor welchem ein Spulenpaar rotierte, dessen Eisenkerne durch ein gemeinsames Joch auf der Rotationsachse befestigt waren. Eine ähnliche Maschine wurde von **Ettingshausen** in Wien construirt, nach welcher als eine Art Vervielfältigung dieser Maschine die **Alliance-Maschine** gebaut wurde, welche schon in den Dreißigerjahren zur Beleuchtung auf Leuchthürmen praktische Verwendung fand.

Einen bedeutenden Schritt nach vorwärts machte **Werner Siemens** durch die Erfindung seines **Cylinderinductors**. Der **Cylinderinductor** ist ein Stück Eisencylinder, dessen geometrische Achse mit der Rotationsachse zusammenfällt, aus welchem zwei Nuthen ausgehobelt sind, welche mit Spulen vollgewickelt wurden, deren Ebene ebenfalls parallel zur Achse war. Dieser **Cylinderinductor** rotiert zwischen den Polen eines starken Magneten und stellt eine der Urformen der elektro-magnetischen Maschine vor, welche sich heute noch in der Praxis erhalten hat, und

zwar hauptsächlich zu Signalzwecken bei telephonischen und anderen Schwachstromapparaten.

Kurze Zeit nach der Erfindung des **Cylinderinductors** machte **Wilde** in England den Versuch, eine solche **Cylinderinductor-Dynamo** statt mit einem Stahlmagnete mit einem Elektromagneten zu bauen und die Windungen dieses Elektromagneten durch eine besondere magnetoelektrische, d. i. mit permanenten Stahlmagneten versehene kleinere Maschine ebenfalls mit einem **Cylinderinductor** zu erregen. Der Versuch gelang vollständig, und **Wilde** war im Stande, mit dieser Maschine für die damalige Zeit außerordentlich starke Ströme zu erzeugen. Das war ein gewaltiger Schritt nach vorwärts.

Im Jahre 1863 erfanden fast gleichzeitig **Pacinotti** in Turin und **Gramme** den Ringanker in Verbindung mit dem vieltheiligen **Collector**. Die ersten Maschinen dieser Art waren noch mit permanenten Stahlmagneten versehen, hatten daher noch keine besondere technische Bedeutung. Dies änderte sich mit einem Schlage, als im Jahre 1866 **Werner Siemens** und kurze Zeit darauf **Wheatstone** das sogenannte dynamo-elektrische Princip entdeckten. Es ist dies bekanntlich die Eigenschaft, dass eine elektrische Maschine im Stande ist, durch ihren eigenen Strom, von dem ein Theil in der Maschine selbst verbraucht wird, sich die nöthige Magneterregung selbst zu liefern, so dass man eine Maschine erhält, welche im Stande ist, nur mechanische Energie aufzunehmen und elektrische abzugeben. Diese Entdeckung und die Anwendung derselben auf Maschinen von der Bauart **Grammes** und **Pacinottis** waren grundlegend für die gesammte Entwicklung der Elektrotechnik. In Verbindung mit dem industriellen Aufschwung der Sechziger- und Siebzigerjahre und dem dadurch geweckten Bedürfnisse nach starken Strömen entwickelte sich die Dynamomaschine mit außerordentlicher Raschheit.

Der nächste Fortschritt war die Erfindung des **Trommelankers** von **Hefner-Alteneck**. Dieser verfolgte den Zweck, die innerhalb des Ringes liegenden, nicht direct der Induction unter den Magneten ausgesetzten Windungen zu vermeiden und eine größere Länge des Ankerdrahtes auszunützen. Wir müssen heute constatieren, dass dieser Zweck durch den **Trommelanker** eigentlich gar nicht erreicht wurde, doch stellte sich in der Folge die Ueberlegenheit des **Trommelankers** aus anderen, besonders aus constructiven Gründen derart heraus, dass der **Trommelanker** heute den **Ringanker** fast überall verdrängt hat.

Mit Zuhilfenahme des dynamo-elektrischen Principes bauten nun alle Erfinder Dynamomaschinen entweder mit Benützung des **Ringankers** oder des **Trommelankers**, deren constructive Durchbildung immer mehr vervollkommenet wurde.

Eine der classischen Formen der ersten Dynamomaschinen war Grammes „Type normale“. Sie hatte oben und unten einen Folgepol, erregt durch je zwei Magnetspulen, welche alle parallel mit der Ankerachse waren. Die Eisenkerne schlossen sich an die seitlichen, vertical stehenden Joche, welche die Maschinenständer bildeten, und in denen auch die Ankerachse gelagert war. Schuckert in Nürnberg verwendete einen ähnlichen Aufbau, verbesserte jedoch den Ring in der Weise, dass er statt eines cylindrischen Ringes einen scheibenförmigen, flachen Ring baute, dessen radial laufende Seitenflächen von den magnetischen Feldern beaufschlagt waren. Fein in Stuttgart umgab auch die innere Ringseite mit Verlängerungen der Polschuhe, um eine bessere Ausnützung des Ankerdrahtes zu erreichen, was damals die hauptsächlich leitende Idee aller Maschinenbauer war. Eine besonders charakteristische Maschine war die zuerst in England gebaute sogenannte Manchester-Type mit verticalen Magnetspulen zu beiden Seiten des Ankers, welche oben und unten durch große Polschuhe vereinigt waren. C. E. L. Brown hat dieser Maschine eine besonders schöne Form gegeben. Siemens & Halske bauten die zweipoligen Maschinen mit Trommelanker und stehendem Magnetsystem, welches aus Schmiedeeisen-Lamellen bestand, welche aber nachher durch Gusseisen ersetzt wurden. Eine sehr interessante Maschine war Edisons Trommelanker-Dynamo mit ungeheueren kofferförmigen Polklötzen und äußerst langgestreckten, aus mehrfachen parallelen Säulen bestehenden Elektromagnetschenkeln.

Die Elektrotechnik stellte immer höhere Anforderungen an die Größe und Leistungsfähigkeit der Maschinen, so dass bald das „Problem der großen Maschinen“ auftrat, zu dessen Lösung die zweipolige Type nicht mehr hinreichte. Zum erstenmale ist dieses Problem durch die Innenpolmaschine von Siemens & Halske gelöst worden. Eine lange Zeit hindurch war diese Type ausschließlich geeignet, als Stromerzeuger für Leistungen bis 1000 PS und darüber zu dienen. Erst in der allerletzten Zeit ist die Innenpolmaschine, welche im wesentlichen auf der Anwendung des Ringankers beruhte, durch die immer allgemeiner werdende Außenpolmaschine verdrängt worden, welche gleichzeitig sich zu einer allgemeinen Grundform der Dynamomaschine entwickelt hat und in zweipoliger sowie mehrpoliger Ausführung in dem ganzen Bereiche der Leistungsgrenzen zwischen etwa 0.1 PS und 5000 PS heute allgemein gebaut wird.

Als Ursprungstyp der normalen Außenpolmaschine dürfte wohl Lahmeyers zweipolige, eisenumkleidete Trommelanker-Maschine anzusehen sein. Von vierpoligen Maschinen neuerer Bauart ist wegen ihrer schönen Durchbildung als besonders hervorragend Browns Außenpolmaschine für die Kraftübertragungs-Anlage von Gaetano Rossi in Piovene („Centralblatt für Elektrotechnik“, Jahrgang 1888, Nr. 24) zu erwähnen.

Die Leistungsfähigkeit war durch eine weitere Erfindung, die Construction des sogenannten Nuthenankers von Weston, weiter gesteigert worden. Während die ersten Erfinder, Gramme und Hefner-Alteneck, die Windungen auf die Oberfläche des glatten Ankers aufgelegt hatten, baute Weston zum erstenmale einen Trommelanker mit Zähnen und Nuthen, in welche letztere die Windungen eingelegt wurden. Dadurch dass die Zähne des Ankereisens zwischen den Windungen hervor, näher an die Magnetpole reichten, gelang es, das magnetische Feld außerordentlich zu verstärken, ohne gleichzeitig zur Erregung desselben mehr Kupfer aufwenden zu müssen. Die Nuthenanker wurden bald ganz allgemein verwendet, so dass die allgemeine Grundform der Dynamomaschine, auf welche heute bereits die Constructeure der ganzen Welt gelangt sind, oder welcher sie zumindestens zustreben, die mehrpolige Außenpolmaschine mit Nuthen-Trommelanker ist.

Wir haben nun die Entwicklung der Dynamomaschine ganz flüchtig skizziert und gehen nun zu den Grunderscheinungen über, auf welchen die Berechnung und Wirkungsweise der Dynamomaschine beruht.

Das Grundgesetz der Dynamomaschine besagt, dass in einem Leiter, der in einem magnetischen Felde quer zur Kraftlinienrichtung desselben bewegt wird, eine elektromotorische Kraft entsteht, welche der Länge des Leiters, der Geschwindigkeit, mit welcher derselbe senkrecht zu seiner eigenen Richtung und senkrecht zu den Kraftlinien des Feldes bewegt wird, und schließlich der Stärke des Feldes, in welchem er sich befindet, proportional ist, oder in mathematischer Form:

$$E = H \cdot V \cdot L \cdot 10^{-8} \dots \dots \dots 1).$$

Wird die Feldstärke H , die Geschwindigkeit V und die Leiterlänge E in absolutem Maße gemessen, so erhalten wir E in Volt.

Die Richtung der elektromotorischen Kraft wird durch folgende Regel bestimmt. Denkt man sich die Kraftlinien des magnetischen Feldes vertical nach aufwärts gerichtet, und zieht man einen horizontalen Leiter in horizontaler Ebene zu sich heran, so ist die elektromotorische Kraft im Leiter nach links gerichtet. Ist dieser Leiter durch einen äußeren Kreis geschlossen, so entsteht in demselben auch ein nach links gerichteter Strom, und wir empfinden beim Heranziehen dieses Leiters einen mechanischen Widerstand, welchen zu überwinden, Arbeit erforderlich ist, welche eben in elektrische Energie umgesetzt wird. Der Widerstand P , welcher in dieser einfachen Vorrichtung auftritt, ist proportional der Stärke des Feldes, der Länge des im Felde befindlichen Leiters und der Stärke des Stromes, welcher im Leiter fließt. Wir erhalten P in absoluten Einheiten, d. h. in Dynen (1 Dyne = ung. 1 mg), wenn wir H , L und J in absolutem Maße ausdrücken. In mathematischer Form können wir daher dieses zweite Grundgesetz der Dynamomaschine schreiben:

$$P = H \cdot L \cdot J \dots \dots \dots 2).$$

Nehmen wir an, die Stärke des Feldes sei $H = 10.000$, d. i. ein magnetisches Feld, welches 50.000mal so stark ist als das magnetische Horizontalfeld der Erde in unserer Breite; nehmen wir weiters an, der Leiter hätte die Länge $L = 100$ cm, und nehmen wir seine Geschwindigkeit mit 1000 cm in der Secunde an, so ist die entwickelte elektromotorische Kraft in diesem Elemente einer Maschine 10 Volt. Nehmen wir weiters an, der äußere Widerstand, welchen der Stab schließt, sei so bemessen, dass in demselben 73.6 Amp. Strom entstehen, dann ist die elektrische Arbeit in Volt-Ampères oder Watt, welche unser Dynamo-Element erzeugt, 736 Watt.

Untersuchen wir jetzt die mechanische Arbeit, welche aufgewendet werden muss, um diese elektrische Arbeit zu erzeugen. Der mechanische Effect ist offenbar $P \cdot V$. Nun ergibt sich nach dem zweiten Grundgesetze:

$$\begin{aligned} P &= H \cdot L \cdot J = 10.000 \times 100 \times 7.36 \text{ Dynen} = \\ &= \frac{10.000 \times 100 \times 7.36}{980.000} \text{ kg} = 7.5 \text{ kg}. \end{aligned}$$

Da $V = 10$ m ist, beträgt der mechanische Effect 75 m.kg, d. i. 1 PS. Wir sehen also, dass ohne Rücksicht auf Verluste der mechanische Effect von 1 PS, in elektrische Energie umgesetzt, 736 Watt liefert. Dies ist die außerordentlich wichtige Beziehung, mittels deren das Aequivalent der mechanischen Arbeit berechnet werden kann, welche in einer Dynamomaschine ohne Rücksicht auf Verluste in elektrische Energie umgesetzt wird oder umgekehrt.

Mit Rücksicht auf Verluste erzeugt man jedoch mit einer Dynamomaschine im Mittel nur 660 Watt pro zugeführter Pferdekraft, oder man muss in einen Elektromotor

ungefähr 820 Watt hineinschicken, um an der Welle desselben 1 PS mechanische Leistung zu erhalten.

Wir wollen nun sehen, wie wir das erste Grundgesetz anwenden können, um die Hauptdimensionen des Ankers einer Dynamomaschine zu berechnen. Wir denken uns diesen Anker als Trommelanker, dessen Hauptdimensionen der Außendurchmesser D des cylindrischen Eisenkernes und die achsiale Länge L desselben sind. Der Theil einer Dynamomaschine, in welchem die mechanische Energie in elektrische umgewandelt wird oder umgekehrt, ist bei allen Maschinen eine Schichte an der Oberfläche des Cylindermantels, deren Dicke bei allen Maschinen nicht viel variiert. Bei sogenannten Nuthenankern, bei welchen die Wicklungen in Nuthen oder Schlitz parallel zur Achse eingelegt werden, ist die Tiefe dieser Schichte durch die Nuthentiefe selbst gegeben. Um nun einen gemeinsamen Maßstab für die Leistungsfähigkeit von verschiedenen Maschinen zu haben, ist es naheliegend, die Leistungen derselben pro Flächeneinheit ihrer Anker-Oberfläche zu vergleichen. Denken wir uns daher aus der oben erwähnten activen Schichte an der Anker-Oberfläche eine Art Pyramidenstutz herausgeschnitten, dessen große Basis mit der Mantelfläche des Cylinders zusammenfällt und 1 cm² Fläche besitzt. Wenn wir ermitteln, welche Leistung in diesem Elemente der activen Schichte entwickelt wird, und diesen Wert mit der Oberfläche des Ankers multiplicieren, so werden wir die Gesamtleistung der Maschine erhalten.

Der Gesamtstrom, welcher den Pyramidenstutz in der Richtung parallel zur Maschinenachse durchfließt, sei A . Wir nennen diese Zahl die Zahl der Ampèredrähte der Maschine pro cm Ankerumfang. Die Leiterlänge des Maschinenelementes ist unter den angegebenen Voraussetzungen offenbar 1 cm. Wenn sich daher das Maschinenelement im Felde H mit der Geschwindigkeit V cm in der Secunde bewegt, so ist die in dem Maschinenelemente entwickelte Leistung in Watt oder Volt-Ampères $\Delta E = H \cdot V \cdot A \cdot 10^{-8}$. Wir können die Geschwindigkeit V anders ausdrücken, u. zw. $V = \frac{D \pi n}{60}$, also Umfang mal Tourenzahl in der Secunde.

Wird dies eingesetzt und mit der ganzen Oberfläche des Ankers, d. i. $D \pi L$, sowie mit einem Coëfficienten α multipliciert, welcher ausdrückt, dass die Magnete nicht die ganze Anker-Oberfläche beaufschlagen, so erhält man die Gesamtleistung der Maschine als $E = \alpha D \pi L H \cdot \frac{D \pi n}{60} \cdot A \cdot 10^{-8}$ oder

zusammengezogen
$$E = C D^2 L n 10^{-8} \dots \dots \dots 3).$$

Dies ist die Esson'sche Formel, welche gestattet, aus der Umdrehungszahl, der Leistung und der specifischen Leistungsconstante C die Hauptdimensionen D und L der Maschine zu berechnen. Die Esson'sche Formel ergibt nun D und L nicht getrennt, sondern sie gestattet nur, das Product $D^2 L$ zu ermitteln.

Aus einer großen Reihe anderer Erwägungen, auf welche wir hier jedoch nicht näher eingehen können, kann man das zweckmäßigste Verhältnis von D und L , welches im wesentlichen auch durch die zu wählende Polzahl bestimmt wird, annehmen, wodurch die Maschine in den Hauptdimensionen des Ankers festgelegt ist. Es mag noch betont werden, dass die Constante C nicht nur aus jeder ausgeführten Maschine herausgerechnet werden kann, dass man daher in der Lage ist, sich eine große Reihe von solchen C -Werten nach ausgeführten Maschinen zu ermitteln, sondern dass man auch im Stande ist, den Wert der Constanten C von Grund aus zu berechnen, wobei es allerdings wiederum reichlicher Erfahrung bedarf, um die Werte der Feldstärke H , der Ampèredrähzahl A , welche hauptsächlich bestimmend auf C einwirken, richtig zu wählen.

Wir haben bis jetzt unsere Maschine sozusagen aus dem Rohen heraus mit Hilfe der Esson'schen Formel berechnet und dabei keinerlei Voraussetzung über die Höhe der Spannung, bzw. die Stärke des Stromes bedurft, welchen die Maschine zu liefern hat.

Die specielle Berechnung der Maschine für eine bestimmte Spannung ist in hohem Maße von den Erscheinungen abhängig, welche bei der Stromwendung oder Commutation auftreten. Wir müssen daher diese Erscheinungen etwas näher verfolgen. Denken wir uns einen gewöhnlichen Gramme'schen Ring, dessen einzelne Spulen an den Hintereinanderschaltungs-Stellen mit den Lamellen eines Commutators verbunden sind, auf welchem eine Bürste schleift, deren Breite wir uns der Einfachheit halber gleich der Segmentbreite denken (Fig. 1); wenn Strom durch den

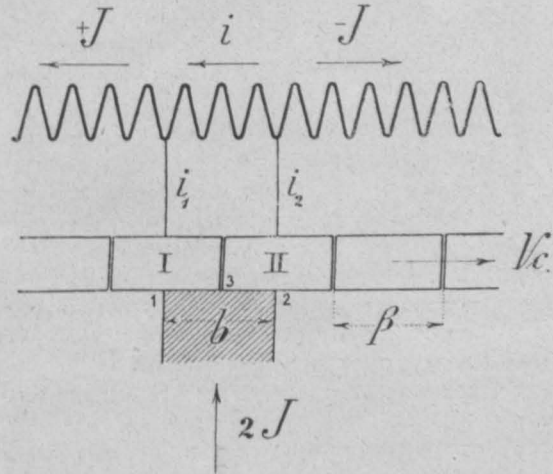


Fig. 1.

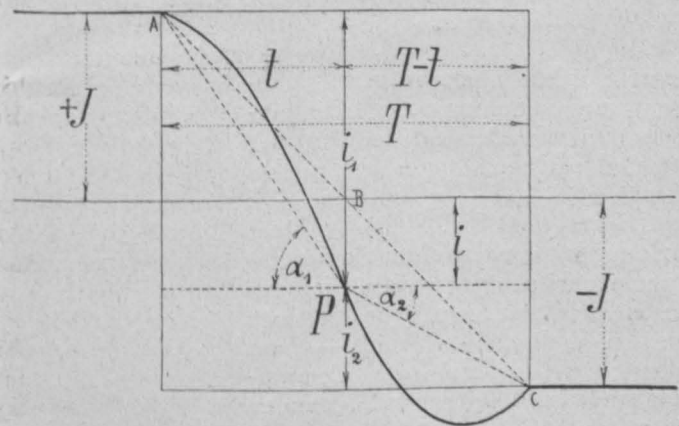


Fig. 2.

Anker fließt, den wir uns bei der gezeichneten Bürste eintretend denken, so fließt dieser Strom von der Stärke $2J$ nach links und rechts je in der Stärke J durch die beiden Ankerhälften ab, während in der Spule, welche soeben kurzgeschlossen ist, ein Strom i fließt, von dem wir vorläufig nur sagen können, dass er vom Werte $+J$ am Beginne der Commutation, d. h. am Beginne des Kurzschlusses der Spule $a b$, durch 0 hindurch auf den Wert $-J$ sich ändern muss, welcher am Ende der Commutationsperiode herrscht. Aus dem Kirchhoff'schen Gesetze ergibt sich dann, dass für die Knotenpunkte a und b die ebenfalls variablen Ströme i_1 und i_2 in den Collector-Verbindungen sich aus der algebraischen Summe der Werte $\pm J$ und i ergeben. Am Beginne der Commutation, d. i. also in einem Momente, in welchem die Isolation 3 zwischen den Commutatorsegmenten I und II gerade die Bürstenkante 1 erreicht, ist offenbar $i_1 = 0$, und es fließt durch die Collectorverbindung bei b der volle Strom $i_2 = 2J$. Schreitet die Isolation 3 unter der Bürste weiter und weiter fort, so

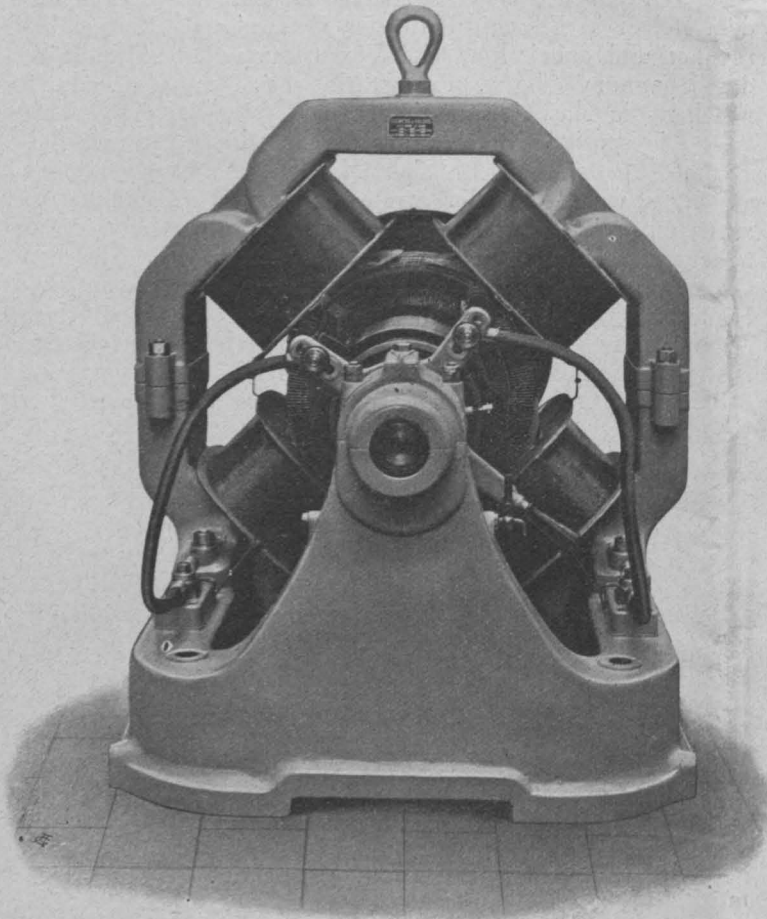


Fig. 3. Gleichstrommaschine für Riementrieb.

wächst offenbar i_1 an, während i_2 abnimmt und am Schlusse der Commutation 0 wird. Der Strom i in der kurzgeschlossenen Spule ist nichts anderes als $+J - i_1$ oder $i_2 - J$. Das Diagramm (Fig. 2) stellt diese Stromverhältnisse dar unter Zugrundelegung einer vorläufig willkürlich gewählten Uebergangscurve des Stromes i , dessen Endwerte $+J$ und $-J$ am Anfange und am Ende der Commutation sind, deren Zeitdauer T Sekunden beträgt.

Wenn wir den allereinfachsten Fall der Commutation herausgreifen, welcher jedoch in praktischen Fällen angenähert vorkommen kann, so ist dies jener Fall, in welchem die Widerstände der Collector-Verbindungen und der Widerstand der kurzgeschlossenen Spule sehr klein sind gegenüber dem Uebergangswiderstande, welchen der Strom auf dem Uebergange von der Bürste zur Commutatoroberfläche vorfindet. Denken wir uns ferner die Geschwindigkeit des rotierenden Ankers so gering, dass in der kurzgeschlossenen Spule infolge der Stromänderung in derselben weder eine nennenswerte Selbstinduction noch eine durch das äußere Feld, in welchem sich die kurzgeschlossene Spule bewegt, inducierte elektromotorische Kraft entstehen kann, so ist während des Kurzschlusses die Stromvertheilung von der Bürste in die beiden Collectorverbindungen der Segmente I und II offenbar direct proportional den Flächen, mit welchen die Bürste jeweilig die Segmente I und II berührt. Es sind

also dies die Flächen, deren Maße die veränderlichen Distanzen 1—3 und 3—2 sind. Es lässt sich leicht mathematisch nachweisen, dass in diesem einfachen Falle i_1 genau proportional der Zeit des jeweiligen Kurzschlussmomentes zunehmen und i_2 ebenso genau proportional abnehmen wird, mit einem Worte, die Uebergangscurve des Kurzschlussstromes i in der kurzgeschlossenen Spule (Fig. 2) wird eine gerade Linie ABC . Die Commutation erfolgt also in der kurzgeschlossenen Spule durch Vergrößern und Verringern der Contactflächen, mit denen die Commutatorsegmente I und II die Bürste berühren, also durch eine Art Abschieben des Stromes in vollständig gleichmäßiger Weise von der kurzgeschlossenen Spule vom positiven Werte des Stromes durch 0 auf dessen negativen Wert, entsprechend dem Uebergange der kurzgeschlossenen Spule aus der einen Ankerhälfte durch den Kurzschluss hindurch in die andere Ankerhälfte. Dies ist die Grunderscheinung der Commutation, welche unter den angegebenen Voraussetzungen immer eintritt. In praktischen Verhältnissen, unter Voraussetzung von Kohlenbürsten mit hohem Uebergangswiderstand, trifft dieselbe für sehr langsam gehende Anker fast genau zu.

Es ist sehr wichtig zu constatieren, dass bei dieser geradlinigen Commutation das Verhältnis der Stromstärken i_1 und i_2 zu den dazugehörigen Flächen 1, 3 und 3, 2 immer constant ist, d. h., dass unter allen Punkten der Bürste constante Stromdichte herrscht. Jede Störung der gerad-

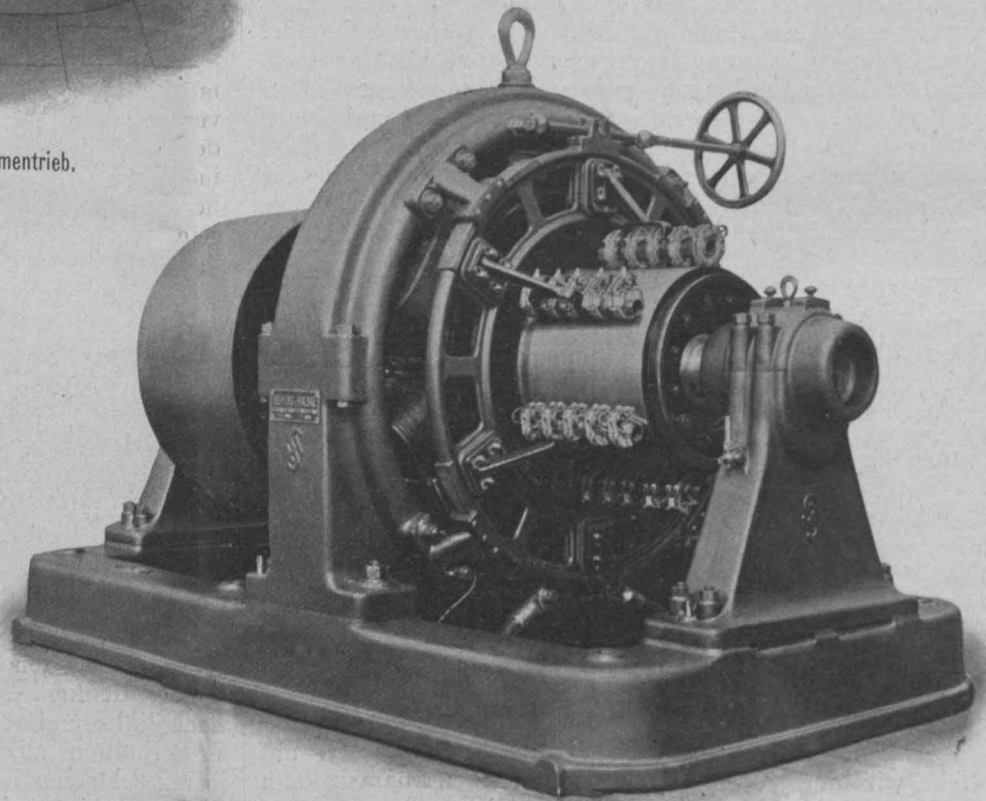


Fig. 4. Gleichstrommaschine neuerer Bauart für Riementrieb.

linigen Uebergangscurve wird daher eine ungleichmäßige Vertheilung der örtlichen Stromdichten mit sich bringen. Wird dabei, was speciell an der Ablaufkante eines Segmentes, d. h. am Ende eines Kurzschlusses, am leichtesten eintreten kann, die Stromdichte unzulässig groß, d. h., drängen sich am Ende der Commutation viele Ampères auf dem engen Querschnitte weniger Quadratmillimeter, so entsteht an dieser Stelle Erhitzung und eventuelle Schmelzung der Contacte, d. h., es tritt Feuer auf, welches den Commutator mehr oder weniger rasch zerstören kann. Es ist daher jede

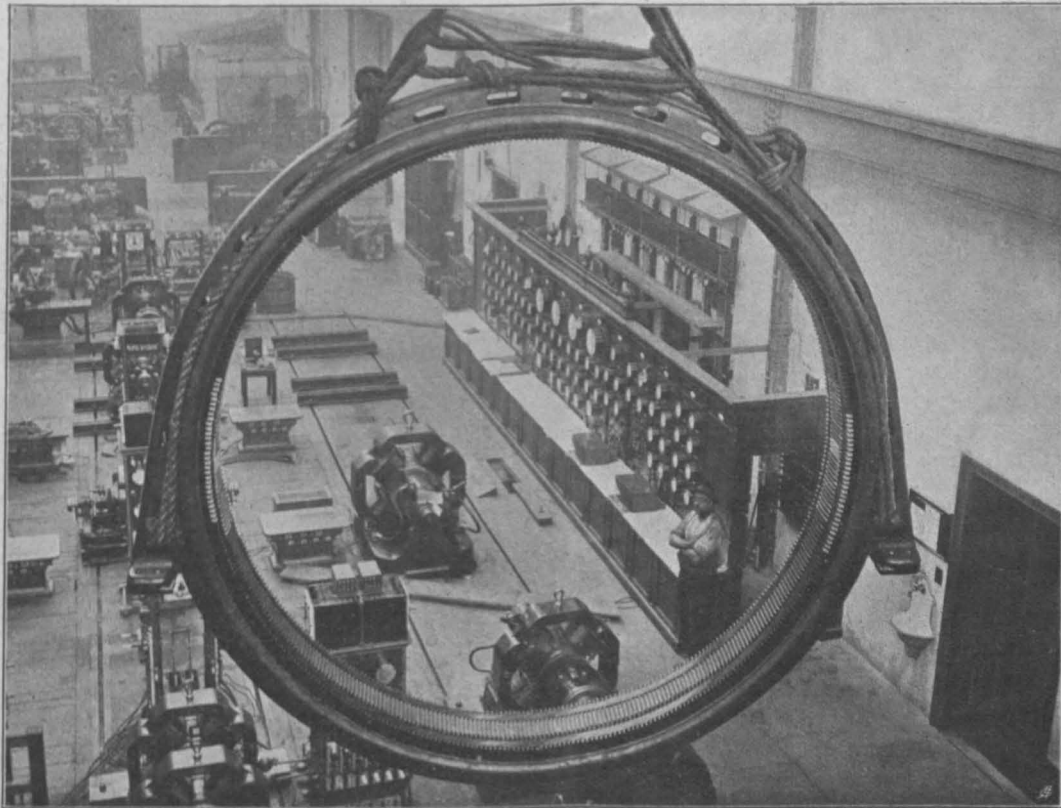


Fig. 5. Stator eines Drehstromgenerators.

allzugroße Abweichung von der geradlinigen Commutation eine Gefahr dafür, dass Feuer am Commutator eintritt.

Lassen wir nun den Anker schneller und schneller laufen, so weckt die in der Kurzschluss-Spule vor sich gehende Stromänderung eine elektromotorische Kraft der Selbstinduction, welche das Bestreben hat, den Abfall des Stromes von $+J$ auf $-J$ zu verzögern. (Öffnungsstrom gleichgerichtet dem ursprünglichen Strome.) Die Selbstinduction hat also das Bestreben, die geradlinige Commutationscurve zu stören und damit eine ungleichförmige Stromdichte unter der Bürste mit sich zu bringen. Das Verschieben der Bürsten, welches bei Belastung vorgenommen wird, hat nun den Zweck, den Kurzschluss in einem magnetischen Felde erfolgen zu lassen, so dass eine elektromotorische Kraft induciert wird, welche diese elektro-

motorische Kraft der Selbstinduction zum Theile oder ganz vernichtet. Je höher die Geschwindigkeit der Maschine ist, desto höher wird die elektromotorische Kraft dieser Selbstinduction sein, und desto höher muss auch die künstlich hervorgerufene „stromwendende elektromotorische Kraft“ sein, welche die erstere vernichten soll. Es ist daher klar, dass bei sehr hohen Geschwindigkeiten sehr leicht ein

Ueberwiegen der einen oder der anderen der einander feindlichen elektromotorischen Kräfte eintreten kann, und dass diese Differenzen umso größer werden können, je größer die absoluten Werte dieser beiden feindlichen

elektromotorischen Kräfte sind. Je rascher eine Maschine daher läuft, desto empfindlicher ist sie in Bezug auf unrichtige Bürstenstellung, destomehr wird sie geneigt sein, am Commutator zu feuern. Die specielle Berechnung des Ankers hat daher in erster Linie darauf auszugehen, die

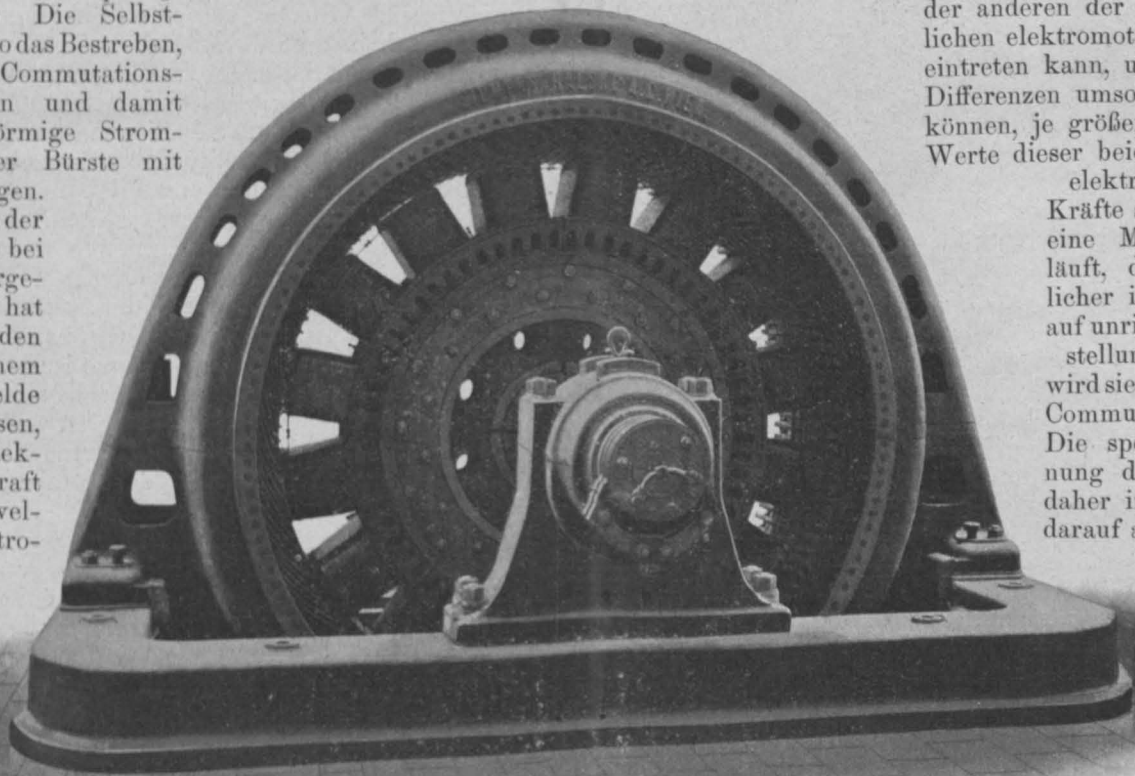


Fig. 6. Hochspannungs-Drehstromgenerator für 2000PS, 12.000V, 300 Touren für directe Kupplung mit Turbine.

elektromotorische Kraft der Selbstinduction bei einer vorgeschriebenen Tourenzahl möglichst zu vermindern, damit auch die nothwendige Gegenkraft derart zu verringern, dass auch bei theilweise unrichtiger Bürstenstellung niemals so große Differenzen der beiden elektromotorischen Kräfte übrig bleiben können, welche erheblich größer sind als die im Kurzschlusskreise auftretenden Widerstandsspannungen, welche also nicht mächtig genug sind, die ideale geradlinige Commutierungslinie zu stören.

Es würde uns zu weit führen, genau zu zeigen, wie die Selbstinductionsspannung in der kurzgeschlossenen Spule berechnet wird. Dieselbe ist offenbar umso größer, je geringer die Zeitdauer des Kurzschlusses und je größer die Selbstinduction einer Ankerwindung ist, welche ihrerseits wieder umso größer ist, je größer die Länge einer Windung und je besser der magnetische Schluss um diese Windung herum beschaffen ist. Hat die kurzgeschlossene Spule mehr Windungen, so ist auch die Selbstinduction der Spule größer,

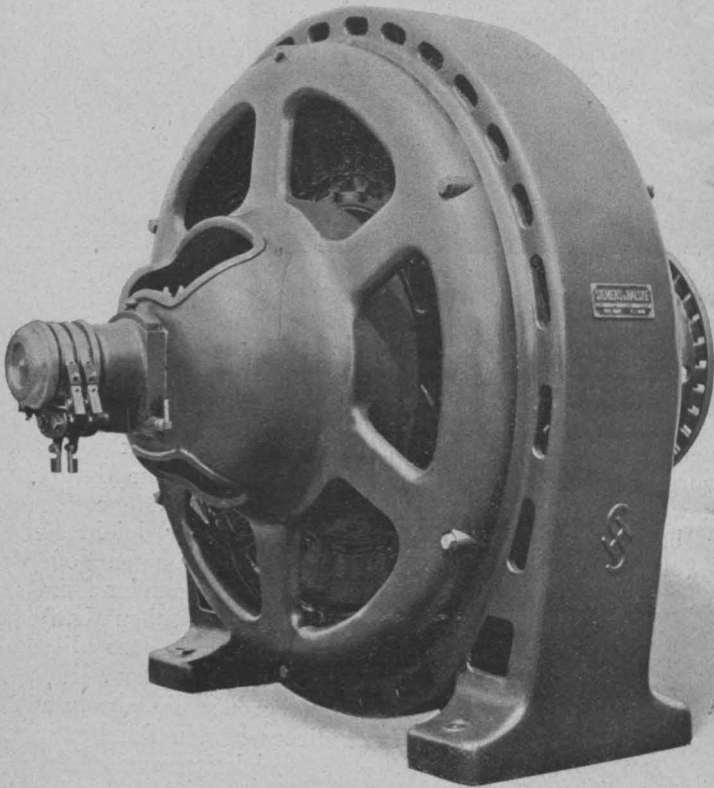


Fig. 7. Drehstromgenerator mit eingebauter Erregermaschine.

kurz, die genauere Vertheilung und Ausmittlung der Wicklung, speciell die Untertheilung des von der Maschine zu liefernden Gesamtstromes, ist ausschließlich mit Rücksicht darauf zu bestimmen, diese elektromotorische Kraft der Selbstinduction möglichst gering zu halten.

Es stimmt mit der Erfahrung überein, dass schmale Maschinen mit langsamem Gange und glatten Ankern leichter funkenfrei zu bekommen sind, als sehr lange Maschinen, die schnell laufen und etwa tiefe Nuthen haben.

Die Berechnung der Größe der Selbstinduction einer Windung führt schließlich auch zu den Grenzen der Ausführbarkeit commutierender Maschinen überhaupt, welche durchaus nicht so weit liegen und insbesondere das Problem, sehr rasch laufende, commutierende Maschinen für sehr hohe Leistungen zu bauen, zu einem außerordentlich schwierigen machen.

Wir haben nun die Hauptgesichtspunkte kennen gelernt, nach welchen bei einer Gleichstrommaschine die Anker zu berechnen sind und gehen nun dazu über, einiges über die Berechnung der Magnetsysteme zu sagen. Zur Berechnung der Magnetsysteme gehört vor allem die Er-

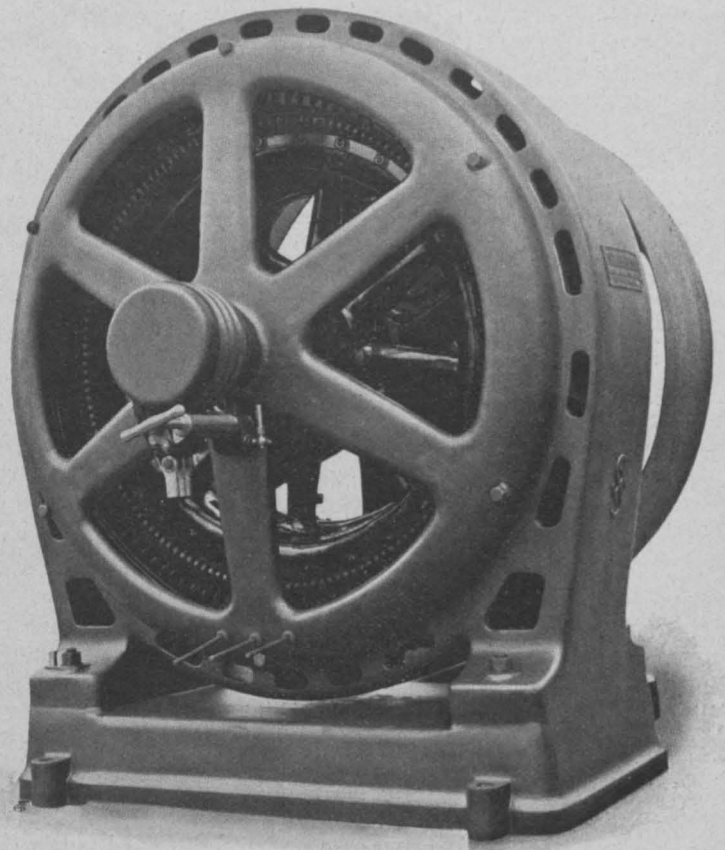


Fig. 8. Asynchroner Drehstrommotor mit Bürstenabheber und Kurzschluss-Vorrichtung.

mittlung der Polzahl. Die Polzahl einer Maschine ist jedoch schon durch die specielle Berechnung der Ankerwicklung gegeben. Die Erfahrung und die Berechnung der Selbstinductionsspannung einer Spule zeigen, dass man je nach der Umfangsgeschwindigkeit der Maschine einen Strom von etwa 100—200 Amp. in jenen Fällen, in denen die zu commutierende Spule nur eine Windung hat, als Grenze bezeichnen kann, bis zu welcher die Commutierung noch funkenfrei erfolgt. Ist daher z. B. eine Maschine für 800 Amp. zu bauen, so ist dieselbe, je nachdem sie schnell oder langsam geht, 8-, bzw. 4polig zu bauen, d. h. mit acht, bzw. vier parallelen Stromkreisen zu versehen, wenn man sogenannte Parallelwicklung anwendet. Im allgemeinen müssen auch Maschinen für höhere Spannungen mit weniger Polen gebaut werden als Maschinen für niedrigere Spannungen. Es ist daher nach reichlicher Erfahrung die Wahl der Polzahl mit Rücksicht auf die Ankerberechnung schon festgelegt. Wir haben uns daher zunächst nur mit der Berechnung eines einzelnen magnetischen Kreises zu beschäftigen und zu untersuchen, nach welchen Grundsätzen dieselbe zu erfolgen hat. Die ersten Dynamomaschinen wurden nicht berechnet, da die Entwicklung der Theorie der praktischen Ausbildung der Dynamomaschine nachfolgte. Obwohl man lange vor der Vollendung der ersten Dynamomaschine die wichtigsten Gesetze des Magnetismus aufgefunden hatte, war man doch noch nicht zu dem wichtigen Begriffe des magnetischen Kreises gelangt, dessen Aufstellung die erste That in der Entwicklung der Dynamo-Theorie genannt werden kann, und der sich im Laufe dieser Entwicklung als außerordentlich fruchtbar erwiesen hat. John Hopkinson und nach ihm Gisbert Kapp waren die ersten, welche den Begriff des sogenannten magnetischen Kreises klar aufstellten und die Bedingungen zur Berechnung desselben den Praktikern in die Hand gaben.

Es liegt in der Natur des Magnetismus, dass das magnetische Feld, welches man in einer Dynamo anzu-

wenden gezwungen ist, nur in der Form einer, beziehungsweise zweier Unterbrechungsstellen eines zum größten Theile eisengeschlossenen Weges angewendet werden kann. Längs dieses eisengeschlossenen Weges kann die magnetische Kraft fließend gedacht werden, und es kann eine Analogie zwischen dem elektrischen Strome in einem geschlossenen Leiter und einem magnetischen Strome in einem Eisenkreise aufgestellt werden, in welcher an Stelle der elektromotorischen oder stromtreibenden Kraft eine magnetomotorische und an Stelle der Quantität des fließenden Stromes die Quantität oder Gesamtstärke des magnetischen Flusses, die Gesamtzahl der Kraftlinien, gesetzt werden kann. In weiterer Verfolgung dieser Analogie gelangt man auch zu einem ähnlichen Begriffe, wie es der Begriff des elektrischen Widerstandes ist, zu dem Begriffe des magnetischen Widerstandes.

Der wesentliche Unterschied zwischen beiden Strömungen ist jedoch der, dass das Aufrechterhalten des elektrischen Stromes in einem bestimmten Leiter stets eine bestimmte Energie erfordert, während das Aufrechterhalten des magnetischen Flusses in einem Eisenkreis an sich keinen Energie-Bedarf mit sich bringt, abgesehen von dem Verluste, welcher zur Aufrechterhaltung des Stromes in den magnetisierenden Windungen fortwährend ersetzt werden muss. Der magnetische Fluss ist daher nicht als dynamischer, sondern als statischer Zustand zu denken und ist etwa vergleichbar mit dem Spannungszustande, welcher an allen Punkten eines gestreckten Stabes gleichmäßig herrscht, während zur Aufrechterhaltung dieser Spannung doch keine Arbeit erforderlich ist. Im Gegensatze zum elektrischen Strome kann der magnetische Strom durch alle bekannten Körper hindurchgetrieben werden.

Denken wir uns eine unendlich lange Spule mit n Windungen auf 1 cm Länge, welche vom Strome i durchflossen wird. Die in der Achse dieser Spule erzeugte Stärke des magnetischen Feldes ist in absolutem Maße $H = 4\pi ni$. Drücken wir i in Ampère aus, welche Einheit zehnmal kleiner ist als die absolute, so bekommen wir die Beziehung $n \cdot i = \frac{10}{4\pi} \cdot H, = 0.8 H$,

welche besagt dass man auf jedes Centimeter Länge eines nur in Luft verlaufenden magnetischen Kreises 0.8 Amp.-Windungen, in welcher Form wir stets das praktische Maß der magnetisierenden Kraft ausdrücken, aufwenden muss, um die Einheit des Feldes in einem Querschnitte dieses magnetischen Kreises zu erzeugen. Wir brauchen daher pro 1 cm in Luft verlaufender Länge eines magnetischen Kreises für eine Feldstärke $H = 1000$ eine magnetisierende Kraft von 800, für eine Feldstärke von $H = 10.000$ eine magnetisierende Kraft von 8000 Amp.-Windungen. Der magnetische Widerstand des Eisens ist 1000 bis 2000mal geringer als der der Luft. Es wird daher, trotzdem in der Dynamomaschine der Weg des magnetischen Kreislaufes im Eisen bedeutend länger ist als in der Luft, der Haupttheil der zur Magnetisierung des magnetischen Kreises aufzuwendenden Ampère-Windungen zur Magnetisierung der Luftstrecke erforderlich sein. Es fragt sich nun, wie ist diese Luftstrecke zu bestimmen? Es ist zu berücksichtigen, dass die auf den Magneten unterzubringende magnetomotorische Kraft nicht allein ausreichen muss, um bei leer gehender Maschine das magnetische Feld von der vorgeschriebenen Größe zu erzeugen. Fließt Strom im Anker, so wird derselbe selbst zu einem Magneten, welcher zum Theile der magnetisierenden Wirkung der Hauptspulen entgegenarbeitet, zum Theile das magnetische Feld ver-

zerzt. Es ist daher nothwendig, dass die magnetisierende Kraft der Hauptspulen eine solche Stärke besitze, dass bei Vollbelastung der Maschine das Feld dieser Spulen nicht durch die magnetisierende Wirkung des Ankers überwältigt werde. Da aus der berechneten Stäbezahl des Ankers und der in denselben fließenden Stromstärke die magnetisierende Kraft des Ankers leicht gerechnet werden kann, ist die magnetisierende Kraft, welche auf die Magnete aufzubringen ist, schon dadurch gegeben, dass dieselbe zu jener des Ankers in einem gewissen Verhältnisse stehen muss. Die sogenannte Amp.-Windungszahl der Magnetspulen ist also dadurch gegeben, und man hat nur noch die Aufgabe, den magnetischen Kreis so zu dimensionieren, dass diese magnetomotorische Kraft thatsächlich aufgebracht wird. Aus diesen Erwägungen ergibt sich also die Länge

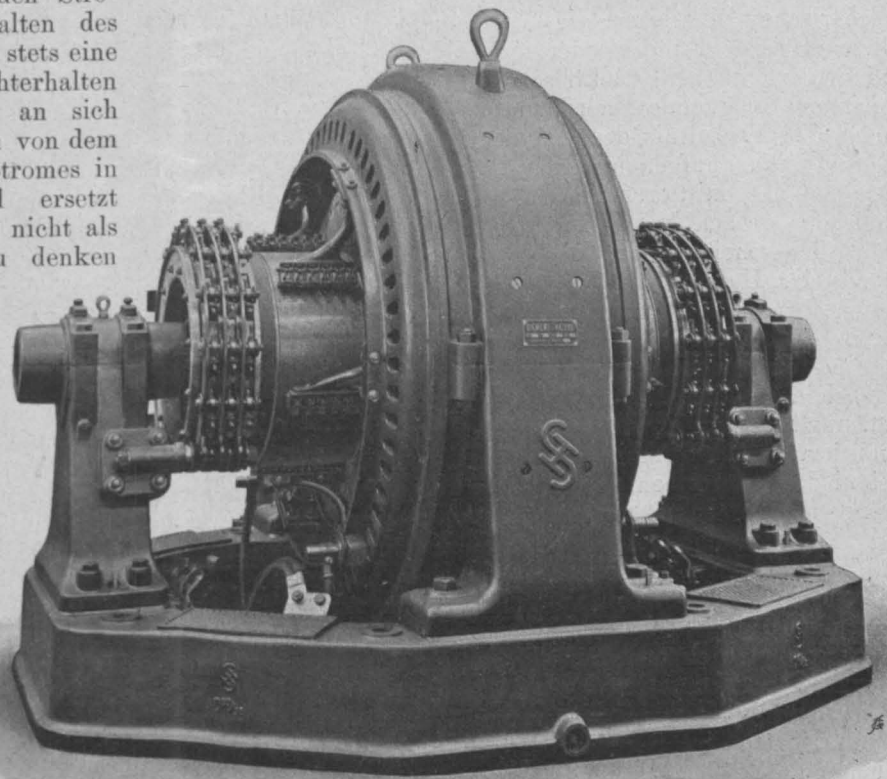


Fig. 9. Drehstrom-Gleichstrom-Umformer für 500 KW bei 500 V und 500 Touren.

des anzuwendenden Luftspaltes, d. i. die Entfernung von Ankereisen zu Magneteisen.

Die Belastungsfähigkeit des Kupferdrahtes der Magnetspulen in Bezug auf den Strom, den derselbe mit Rücksicht auf Erwärmung führen kann, bestimmt dann die Menge des Kupfermaterials auf den Magneten.

Ein wichtiger Theil der Berechnung einer Dynamo ist die Ermittlung der Temperaturen, welche die einzelnen Maschinentheile infolge der in ihnen entwickelten Effectverluste, welche sich alle in Wärme umsetzen, bei den verschiedenen Belastungen der Maschine annehmen. Da der Erwärmung einer Maschine mit Rücksicht auf die Haltbarkeit der Isolations-Materialien eine Grenze gesetzt ist, und man andererseits bestrebt ist, die Leistungsfähigkeit einer Maschine möglichst genau vorzuberechnen, so ist die Berechnung der Effectverluste von außerordentlicher Wichtigkeit. Diese Effectverluste setzen sich im wesentlichen aus den mechanischen und den elektrischen zusammen. Die mechanischen Verluste bestehen aus der Lagerreibung, der Reibung der Bürsten und dem Luftwiderstande. Sie machen zusammen bei jeder halbwegs

gut gebauten Maschine nur den geringeren Theil aller Verluste aus. Den Hauptantheil an den Verlusten haben die elektrischen, welche getrennt werden können in Verluste in den Kupferwindungen des Ankers und der Magnete und in die Verluste in den der steten Ummagnetisierung unterworfenen Eisentheilen der Maschine. Die Kupferverluste lassen sich nach dem Ohm'schen Gesetze sehr leicht ermitteln. Die Verluste im Eisen, welche zweierlei Natur sind, können einer genauen Berechnung nicht unterworfen werden. Der Eisenverlust durch Hysteresis, d. i. der reine Arbeitsaufwand, welcher bei der Ummagnetisierung der Eisenkörper auftritt, kann mit genügender Genauigkeit berechnet werden, während die Verluste durch die sogenannten Wirbel- oder Foucault-Ströme einer genauen Berechnung nicht zugänglich sind, so dass zu deren Ermittlung eine große Erfahrung nöthig ist. Im großen und ganzen ist die Gesammtheit aller Verluste, von welchen in elektrischen Maschinen die Umformung der mechanischen in elektrische Energie oder umgekehrt begleitet ist, sehr niedrig zu nennen. Elektrische Maschinen sind daher sehr sparsam arbeitende Energieumformer. Der Wirkungsgrad oder das Verhältnis der von der Maschine abgegebenen zu der von ihr aufgenommenen Leistung beträgt schon bei kleinen und mittleren Maschinen gegen 90% und erreicht bei sehr großen Maschinen 95% und darüber.

Die meisten der bisher gemachten Ueberlegungen sind der Hauptsache nach sowohl für Gleichstrom- als auch für Wechselstrommaschinen richtig. So sind daher z. B. die beiden Grundgesetze für Drehstrom- oder Wechselstrom- ebenso gültig wie für Gleichstrommaschinen, so ist desgleichen die *Esson'sche* Formel auch auf Wechselstrommaschinen anwendbar. Da bei letzteren eine Commutierung des Stromes entfällt, ist man bei der Dimensionierung derselben naturgemäß weit freier und hat auf eine Menge beschränkender Momente, welche bei dem Baue von Gleichstrommaschinen beachtet werden müssen, keine Rücksicht zu nehmen. Es bietet daher der Bau von Drehstrom- oder Wechselstrommaschinen und insbesondere der Bau sehr großer Maschinen für diese Stromarten weit aus weniger Schwierigkeiten als der Bau großer Gleichstromgeneratoren. Die Berechnung der magnetischen Kreise bei Maschinen für Wechselstrom ist im wesentlichen genau dieselbe wie bei Gleichstrom. Auch hier ergibt sich für den einmal berechneten Anker mit Nothwendigkeit ein gewisses Verhältnis zwischen der magnetisierenden Kraft des Ankers und jener der Magnete mit Rücksicht darauf, dass das von den Ankerströmen erzeugte Feld nicht das von den Magneten erzeugte zu sehr schwächt oder gar überwältigt.

Es würde uns zu weit führen, auf die specielle Berechnung insbesondere der Drehstrommaschinen, welche das meiste Interesse bieten, näher einzugehen, doch möchte noch besonders betont werden, dass die Aehnlichkeit der Wirkungsweise einer Drehstrommaschine und jener einer Gleichstrommaschine eine außerordentlich weitgehende ist. Die in den einzelnen Ankerphasen entstehenden Ströme, welche nach je $\frac{1}{3}$ gesammter Phasenzeit nacheinander ihre Maxima erreichen, bilden in ihrer resultierenden magnetischen Wirkung mit der Geschwindigkeit des Magnetrades fortschreitende Wellen positiver und negativer Stromvolumina, die infolge ihrer Synchronität mit dem Magnetrad laufend in immer gleicher relativer Lage zu den Polen liegen und eine ganz ähnliche Feld-

verdrängung des Hauptfeldes erzeugen, wie sie bei Gleichstrom hervorgebracht wird.

Denken wir uns einer gewöhnlichen Gleichstrommaschine von drei mit entsprechenden Punkten der Wicklung verbundenen Schleifringen Drehstrom entnommen, so ist die Felddeformation, welche bei Gleichstromentnahme einerseits und bei Drehstromentnahme andererseits entsteht, im wesentlichen wenig verschieden. Das resultierende Feld ist in beiden Fällen im Raume als feststehend zu betrachten, d. h. seine Stärke ist in einem bestimmten Punkte als nahezu constant anzusehen.

Bei dem Betriebe von Drehstrommaschinen kommen indessen Fälle vor, in welchen die relative Lage von Ankerfeld und Hauptfeld etwas anders ist, als sie bei Gleichstrom im allgemeinen vorzukommen pflegt. Es sind dies die Fälle der sogenannten inductiven Belastung, bei welcher die einzelnen Phasen der Ströme eine Phasennacheilung bis zu 90° gegenüber den Phasen der Spannung besitzen. In diesen Fällen können die magnetisierenden Windungen des Ankers gegenüber denen der Magnete in einer derartigen Lage sein, dass sie mit ihrer vollen Stärke entmagnetisierend auf das Hauptfeld wirken. Es ist deshalb ein grundsätzlicher Unterschied zwischen Gleichstrom- und Mehrphasenmaschinen, dass bei den ersteren mit Rücksicht auf eben diese inductive Belastung die magnetisierende Kraft der Hauptwindungen im Vergleiche zu jener des Ankers bedeutend größer gewählt werden muss als bei den letzteren.

Wir haben bei Besprechung der Gleichstrommaschinen in der Regel nur den Fall des Generators im Auge gehabt und nie von Motoren gesprochen. Es ist eben infolge der Umkehrbarkeit der Gleichstrommaschine sowie des Drehstromgenerators kein wesentlicher Unterschied in den Constructionsbedingungen für einen Generator und für einen Motor, abgesehen davon, dass die mechanische Durchbildung der Motoren schon mit Rücksicht auf ihre Verwendung, z. B. auf Fahrzeugen, immerhin eine wesentlich andere wird sein müssen als die der Generatoren. Bei Drehstrom kommt jedoch zu der Classe der sogenannten Synchronmotoren, welche nichts anderes als umgekehrt wirkende Generatoren sind, noch eine Classe von Maschinen hinzu, die sogenannten Asynchronmaschinen, welche im wesentlichen dadurch charakterisiert sind, dass bei denselben sowohl der feste als auch der bewegliche Theil gleichmäßig auf dem ganzen Umfange vertheiltes Eisen besitzt, und dass der magnetische Widerstand dieser Maschinen so klein ist, dass zur Erregung des Feldes die Differenz der magnetisierenden Wirkungen des feststehenden und rotierenden Theiles hinreicht, welche im wesentlichen der Größe nach einander gleichen und nur um soviel in ihrer gegenseitigen Phase verschoben sind, dass ihre Vector-Differenz eben die Magnetisierungs-Ampère-Windungen des resultierenden Feldes vorstellt. Diese Asynchronen Maschinen, welche bisher vorwiegend als Motoren Verwendung fanden, in neuerer Zeit jedoch durch die Erfindungen *Heylands* auch als Generatoren Aufnahme fanden, sind Specialfälle des sogenannten allgemeinen Wechselstrom-Transformators, dessen Gesetze immer mehr und mehr als die grundlegenden für sämtliche Wechselstrommaschinen und -Apparate erkannt werden, welche jedoch bei dieser Gelegenheit auch nicht einmal in ihren allgemeinsten Umrissen skizziert werden können.

Ueber Kabelfabrication.

Vortrag, gehalten am 2. Dezember 1901 von Director **Gustav Bergholtz**.

Ich habe die Aufgabe, Ihnen heute einen Abriss zu geben über die Kabelfabrication und, im erweiterten Sinne, über Kabeltechnik. Das Thema ist ein so umfangreiches, dass es sich erschöpfend wohl nur in einer Serie von Vorträgen erörtern ließe. Ich muss mich daher bei der Durchführung der mir gestellten Aufgabe darauf beschränken, einen allgemeinen Ueberblick zu geben und dabei die wichtigsten Details zu behandeln.

Da der Zweck der jetzt hier gehaltenen Vorträge der ist, weniger den Mitgliedern der Fachgruppe als der Allgemeinheit des Ingenieur-Vereines einen Ueberblick über das Gebiet der Elektrotechnik zu geben, so wird es sich nicht vermeiden lassen, dass ich vielfach Gegenstände erörtere, welche den hier anwesenden Elektrotechnikern schon längst bekannt sind, und bitte ich diese daher diesbezüglich um Nachsicht.

Gestatten Sie mir zunächst einen kurzen historischen Ueberblick über die Entwicklung der Kabeltechnik. Die Kabeltechnik ist ein Kind der Telegraphentechnik. Nachdem von **Weber** und **Gauss** im Jahre 1833 der erste brauchbare elektrische Telegraph construirt war, arbeitete man überall fleißig an dem weiteren Ausbaue dieser Erfindung. Man machte hiebei die Erfahrung, dass die Herstellung einer isolierten Leitung auf größere Entfernungen große Schwierigkeiten verursachte. Schon in diesem Anfangsstadium des Leitungsbaues suchte man die Lösung sowohl in der unterirdischen wie in der oberirdischen Leitung, denn auch die Herstellung der letzteren war zur Zeit, als der Glockenisolator noch ein unbekannter Begriff war, nicht so einfach. Der bekannte Elektriker **Wheatstone** beschäftigte sich als Erfinder eines Nadeltelegraphen auch mit dem Leitungsbaue und soll die erste Untergrundleitung, welche aus umspunnenen, mit Leinölfirnis getränkten und in Eisenrohre eingezogenen Leitungen bestand, gebaut haben, natürlich mit schlechtem Erfolge. Inzwischen wurde das Bedürfnis nach brauchbaren, gut isolierten Leitungen immer dringender, da die elektrische Telegraphie sich sowohl für den Nachrichtendienst als auch für den sich damals immer mehr ausdehnenden Eisenbahnbetrieb schnell verbreitete. Da kam zur richtigen Zeit, wie so häufig in der Technik, eine unerwartete Hilfe durch das Bekanntwerden der Guttapercha.

Ein in Singapore lebender Arzt, **Dr. Montgomerie**, hatte bei den Malayen dieses neue Material gesehen. **Montgomerie** sendete im Jahre 1843 diverse Proben derselben mit einer sehr ausführlichen Beschreibung der Eigenschaften und der Gewinnungsweise an das Bengalische Medicinal- und der Gewinnungsweise an das Bengalische Medicinal-Collegium, von wo die Sendung an die Society of Arts nach London weitergegeben wurde. Hier wurde die Wichtigkeit des neuen Materials für die verschiedensten Verwendungsarten sofort erkannt. In einer Sitzung der genannten

Gesellschaft lernte **William Siemens** das Material kennen und schickte dasselbe an seinen Bruder **Werner Siemens**, welcher als preußischer Artillerie-Officier zur Telegraphen-Versuchscommission commandirt war und sich damals gerade mit dem Problem des Leitungsbaues beschäftigte. Dieser hat nun die Eignung der Guttapercha für Isolierzwecke zuerst erkannt. Nach einigen im Jahre 1846 im Kriegsministerium durchgeführten primitiven Versuchen construierte er gemeinschaftlich mit dem Mechaniker **Halske**, der damals die Ideen **Werner Siemens'** vielfach in die Praxis übersetzte, eine Schraubenpresse zur nahtlosen Umhüllung von Drähten mit Guttapercha. Der Erfolg mit dieser Presse war ein überraschend guter. Von der Berliner Gummiwarenfabrik **Fon Robert & Pruckner** wurden mit dieser von **Siemens** beigestellten Presse Guttaperchadrähte fabricirt und auf einer circa drei Meilen langen Versuchs-Telegraphenlinie von Berlin nach Großbeeren im Jahre 1847, entlang dem Bahndamme, circa 1½ Fuß tief, ohne weiteren Schutz verlegt. Der Erfolg war anfänglich ein guter, so dass man sich entschloss, eine ganze Anzahl von Linien, u. a. Berlin—Eisenach, nach diesem Systeme auszuführen. Auch in anderen Ländern, Oesterreich und Russland, folgte man diesem Beispiele. Auf den anfänglichen Erfolg kam aber eine arge Enttäuschung, da sich schon bald schwere Mängel zeigten, sowohl in der Art der Ausführung wie auch in der Verlegung der Leitungen. Man hatte eine mindere Sorte Guttapercha verwendet und dieselbe nach einem englischen Verfahren durch Beimischung von Schwefel vulcanisirt und gehärtet. Das war ein großer Fehler, durch den Schwefel wurde der Kupferleiter angegriffen und durch das Schwefelkupfer die Isolation vermindert. Außerdem wurde die gegen den Willen von **Werner Siemens**, aus Sparsamkeitsrücksichten, ohne jeden Schutz verlegte Ader vielfach von Mäusen zerstört oder von Bahnarbeitern beschädigt. Die Reparaturen waren mangels jeder Methode einer Fehlerbestimmung sehr schwierig und machten meistens die Leitungen noch schlechter. Das Fiasco mit diesen Leitungen war ein allgemeines, so dass man hiemit das System der Untergrundleitungen wieder verließ und sich den Luftleitungen zuwendete, umso mehr als man inzwischen durch die Einführung von brauchbaren Isolatoren und Blitzschutzvorrichtungen die Mittel an der Hand hatte, betriebssichere und verhältnismäßig billige Telegraphenleitungen zu bauen.

Die weitere Entwicklung der Kabeltechnik lag jetzt bei den **Seekabeln** und gieng von England aus. Hier war schon sehr bald nach dem Bekanntwerden der Guttapercha eine eigene Guttapercha-Industrie entstanden, und diese griff sofort die **Siemens'sche** Methode energisch auf, da dieselbe nicht durch Patent geschützt war. Ich muss übrigens bemerken, dass nach einer in **Obachs**

Werk über Guttapercha enthaltenen Notiz der bekannte Kabelingenieur Willoughby Smith den Einspruch erhebt, dass die Guttapercha-Compagnie in England nahezu gleichzeitig mit Siemens die Verwendung der Guttapercha für Kabelisolierung praktisch ausgeführt habe. Im Jahre 1850 legte die genannte Compagnie für den Concessionär Mr. Brett das erste Kabel durch den Canal. Dasselbe bestand aus einem einfachen Guttaperchadrahte von 1.8 mm Kupferleiter und 12 mm Durchmesser außen. Die Verlegung machte bei der geringen Meerestiefe von max. 75 m keine Schwierigkeiten, aber das Kabel functionierte kaum einige Tage. Im folgenden Jahre wurde von der Firma Newal & Co. ein verbessertes Kabel durch den Canal gelegt, welches sich als vollkommen brauchbar erwies und lange Jahre im Betriebe blieb. Dieser Erfolg bildete den Ausgangspunkt für die nun folgende großartige Entwicklung der submarinen Kabellinien. Bald folgten andere Seekabellinien im Mittelmeer und durch das Rothe Meer nach Indien. Bemerkenswert ist eine 600 km lange Seekabellinie, die von Siemens während des Krimkrieges von Varna nach Balaklawa als nicht armiertes einfaches Guttaperchakabel in seichtem Wasser verlegt wurde und merkwürdigerweise während der ganzen Kriegszeit betriebsfähig blieb. Die zu dieser Zeit von den Engländern verlegten Kabellinien brachten noch häufig Misserfolge bei der Verlegung und unliebsame Störungen im Betriebe, die darauf zurückzuführen sind, dass die englischen Kabeltechniker damals noch eine auf wissenschaftlicher Basis beruhende, methodische Kabelprüfung während der Fabrication und Verlegung für überflüssig hielten. Wie Werner Siemens in seinen Lebenserinnerungen mittheilt, wurden die damals verlegten Kabel in den englischen Fabriken nur darauf geprüft, ob sie Strom durchließen.

Das erste transatlantische Kabel wurde 1857 von Newal & Co. verlegt und glatt gelandet. Es functionierte aber nur einige Tage. Dieser Misserfolg mit seinem bedeutenden Capitalsverluste schreckte ab, und erst 1865 wurde der Versuch mit einer verbesserten Kabelconstruction wiederholt. Dieses Kabel riss auf hoher See bei großer Meerestiefe, und da man damals noch nicht die Praxis hatte, Kabel aus großer Meerestiefe zu heben, so war ein großes Capital anscheinend wiederum verloren. Trotzdem gieng man schon im nächsten Jahre an den dritten Versuch, und am 12. Juni 1866 wurde das dritte Kabel in Amerika glücklich gelandet und war und blieb betriebsfähig. Schon im September desselben Jahres wurde das vorjährige Kabel gesucht und aufgefunden, repariert und blieb ebenfalls betriebsfähig.

Zu dieser Zeit hatte nur England eine Kabelindustrie. Erst Mitte der Siebzigerjahre folgte Deutschland, als man sich aus strategischen Rücksichten entschloss, einen Theil des Milliardensegens, und zwar mehr wie 30 Millionen Mark, aufzuwenden für den Bau von unterirdischen Kabellinien zur Verbindung der wichtigsten Städte des Reiches. Hiedurch wurde eine Kabel-Großindustrie in Deutschland geschaffen, und zwar gerade zur richtigen Zeit. Denn als kurz darauf die Entwicklung des Telephonwesens und der Starkstrom-Industrie ganz neue Aufgaben an die Kabeltechnik stellte, waren leistungsfähige Fabrications-einrichtungen und erfahrene Praktiker vorhanden, um diese Aufgaben zu lösen. In Oesterreich war die Entwicklung eine andere. Der Bedarf an eigentlichen Kabeln war zu der Zeit noch nicht so entwickelt, um einer Kabelfabrik die Rentabilität zu sichern. Die Telegraphenleitungs- und Telephonmaterialien wurden damals als Nebenproduct von einer alten Wiener Industrie angefertigt, und zwar von den Börtel- und Litzenfabrikanten. Aus diesen Anfängen haben sich dann einige noch heute bestehende Kabelfabriken entwickelt, zu denen sich dann andere, aus dem Auslande als Tochterfabriken übersiedelte gesellten.

Nach diesem historischen Ueberblicke, für welchen ich mir die ausführlichen und interessanten Veröffentlichungen des Herrn Ingenieur Wietz zunutze gemacht habe, wenden wir uns zu den Kabeln selbst. Nach unserem Sprachgebrauche nennen wir eine elektrische isolierte Leitung dann Kabel, wenn dieselbe aus mehreren Leitungen besteht oder armiert ist; die einfachen Leitungen, welche nur eine Isolierhülle ohne Schutz haben, nennen wir Leitungsdrähte.

Jedes Kabel besteht aus drei Hauptbestandtheilen, dem Leiter, der Isolation und der Armatur, letztere zum Schutze gegen mechanische und chemische Einwirkungen. Wir theilen die Kabel ein: nach der Verwendung in Telegraphen-, Telephon- und Starkstromkabel, ferner nach der Art der Isolation in Guttaperchakabel, Gummikabel und Faserkabel. Letztere werden fast immer mit einem Bleimantel versehen und heißen dann Faserbleikabel. Der Leiter besteht fast immer aus Kupfer, nur bei gewissen Spezialkabeln, die bei geringem Durchmesser große Festigkeit haben sollen, wird der Leiter auch aus Stahldrähten oder aus Stahl- und Kupferdrähten gemischt hergestellt. Unter den Metallen hat das chemisch reine Kupfer bekanntlich neben dem Silber den geringsten specifischen Leitungswiderstand oder die größte Leitungsfähigkeit. Nehmen wir die Leitungsfähigkeit des chemisch reinen Kupfers mit 100% an, so ist dieselbe 60 mal größer wie die des chemisch reinen Quecksilbers bei 0° Celsius.

Das für die Praxis zulässige Minimum von Leitungsfähigkeit von Leitungskupfer ist 57, bezogen auf Quecksilber, und entspricht dieses Mindestmaß für einen Kupferquerschnitt von 1 mm² und 1 km Länge einem Widerstande von 17.45 Ohm bei 15° C. Das in der Elektrotechnik verwendete Leitkupfer ist meistens sogenanntes Elektrolytkupfer, das heißt auf elektrolytischem Wege niedergeschlagen, und wird hauptsächlich aus Nordamerika importiert. Dasselbe kommt in Stangen von circa 1 1/2 m Länge, sogenannten „Wirebars“ in den Handel. Da wir in den letzten drei Jahren auf dem Kupferweltmarkte sehr interessante Veränderungen erlebt haben, die die Entwicklung des elektrotechnischen Geschäftes wesentlich beeinflussen, so will ich diese Verhältnisse hier kurz besprechen. Der europäische Continent ist im Verhältnis zu seinem enormen Bedarfe kupferarm. Reiche Erzlager finden sich in Spanien (Rio Tinto), ferner in Chile und in Japan. Die ergiebigsten Minen hat aber Nordamerika in der Nähe der großen Seen mit sehr reichen Erzen. Die Kupferproduction ist durch die rapide Entwicklung der Elektrotechnik im letzten Jahrzehnt enorm gestiegen, wie untenstehendes Graphikon zeigt, und zwar von 283.000 t im Jahre 1891 auf 500.000 t im ungefähren Werte von M 700.000.000 im Jahre 1900.

Nun ist das Kupfer eine Ware, welche schon immer nicht nur effectiv, sondern auch speculativ gehandelt wird, und zwar vor allem an der Londoner Börse, so dass die

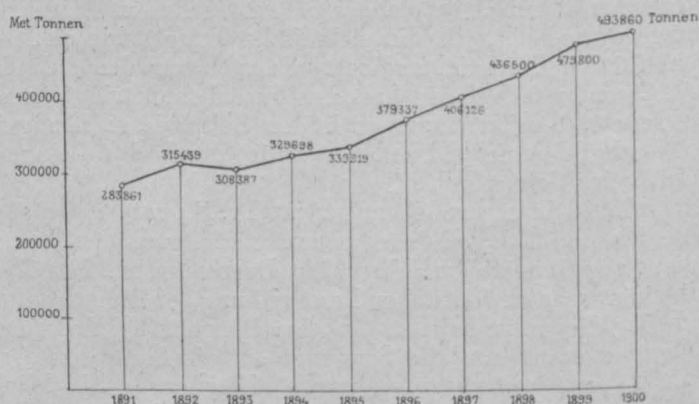


Fig. 1.

Preisbildung nicht allein durch Angebot und Nachfrage, sondern oft auch durch die Speculation beeinflusst wird. In den Achzigerjahren erlebten wir einen Kupfer-ring, der aber aus Mangel an Capitalskraft verkrachte. Seit drei Jahren hat eine amerikanische Speculanten-gruppe durch Erwerbung der wichtigsten Minen einen neuen Ring gebildet, welcher den ganzen Markt beherrscht und die Consumenten in der unglaublichsten Weise ausbeutet. Diese Gruppe hat einen großen Theil der amerikani-schen Minen in einer Gesellschaft vereint und sich über die wichtigsten anderen Gesellschaften die Controle verschafft. Die Kupferpreise sind seit drei Jahren um mindestens 30% höher wie nothwendig. In dem unten-stehenden Graphikon ist der Verlauf der Kupferpreise dargestellt.

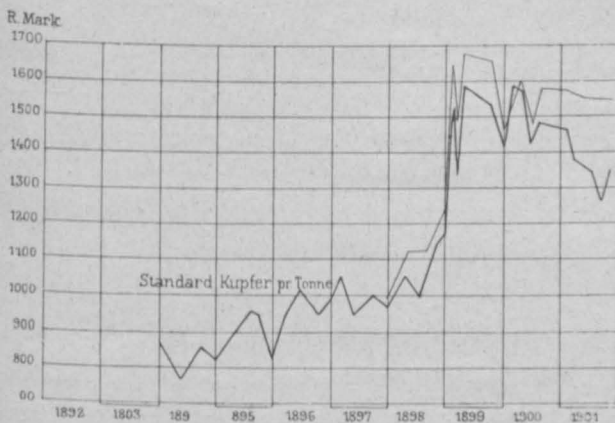


Fig. 2.

Die untere Linie zeigt die Preise für Londoner Standard-Kupfer (Rohkupfer). Man sieht die allmähliche gesunde Steigerung der Preise infolge des zunehmenden Bedarfes und die rapide Steigerung anfangs 1899 bei Beginn der Ringbildung. Ungefähr seit Jahresfrist ist London schon schwankend, trotz aller Eingriffe des Ringes. Der Import von Amerika nach dem Continente ist im Jahre 1901 bis Ende September gegen den Import von 1900 um das colossale Quantum von 60.000 t gefallen, unter der Einwirkung der allgemeinen Depression, aber auch entschieden unter der Einwirkung der ungesund hohen Preise, welche unsere Industrie schädigen. Die obere Preislinie zeigt Ihnen den Verlauf der Preise für Elektro-Wirebars in den letzten drei Jahren. Sie sehen, dass seit April d. J. trotz des colossalen Ausfalles im Consum durch die Macht des Ringes die Preise ganz unverändert auf der gleichen Höhe geblieben sind. Interessant ist der Vergleich dieser Linie mit der Preislinie des Londoner Marktes für Standard-Kupfer. Wir sehen, dass Elektrolytkupfer heute ganz unabhängig ist vom Londoner Markte oder mit anderen Worten, dass heute der Londoner Markt nicht mehr maßgebend ist und die Amerikaner allein das Heft in der Hand haben. In der neuesten Zeit mehren sich die Anzeichen, dass auch dieser ungesunde Zustand seinem Ende entgegen geht, weil auch die enorme Capitalskraft der amerikanischen Gruppe auf die Dauer nicht ausreicht, um diese unnatürliche Position zu halten. *)

Man hat in der Zeit der hohen Kupferpreise im Aluminium einen Concurrenten des Leitungskupfers gefunden, allerdings noch keinen gefährlichen. Der Aluminiumdraht hat das spezifische Gewicht 2.7 und eine Leitungsfähigkeit von 55—60% von der des Kupfers. Der Preis der Gewichtseinheit Aluminium war unlängst 150% von dem des Kupfers, und ergibt sich hieraus, dass der gleiche elektrische Widerstand der Längeneinheit bei 55% Leitungsfähigkeit in Aluminium circa 17% weniger kostete wie beim Kupfer. Dabei müssen wir aber gewisse Nachteile mit in den Kauf nehmen. Aluminium lässt sich nicht löthen. Ferner ist die Festigkeit nur circa 50% von der des Kupfers. Die größere Oberfläche bedingt eine größere Eislast bei Freileitungen und daher häufigere Stützpunkte. Für die Kabelfabrication kann die Verwendung von Aluminium erst dann in Betracht kommen, wenn das Aluminium im Verhältnis zu Kupfer weiter im Preise sinkt.

Wir wollen ein Beispiel mit der heutigen Preislage betrachten: Ein Bahnspeisekabel von 200 mm² Kupferquerschnitt würde unter Voraussetzung einer Leitungsfähigkeit des Aluminiums von 55% Cu einem Aluminiumkabel von 364 mm² entsprechen. Infolge des größeren Leitungsquerschnittes sind bei letzterem Kabel die Kosten für Isolierung und Armierung bedeutend höher wie beim Kupferkabel. Bei dem heutigen Marktpreise für Kupferdraht von K 195 per 100 kg kostet das Kupferkabel mit 200 m² Querschnitt circa K 6100 per 1000 m, wogegen das Aluminiumkabel mit 364 mm² Querschnitt bei einem Drahtpreis von K 300 per 100 kg circa K 6400 per 1000 m kosten würde, wobei noch zu bemerken ist, dass jetzt der Drahtpreis von K 300 auf nahezu K 400 infolge eines Cartells der Aluminiumwerke erhöht ist. Das Aluminiumkabel ist daher bei dem billigen Drahtpreise noch um 5.2% theurer wie das Kupferkabel.

Wenden wir uns nun zu den Kabelisolierungen, u. zw. zunächst zu der Guttapercha als Isoliermaterial. Die Guttapercha kann nur für Schwachstromkabel verwendet werden, da sie bei 50—60° C. weich wird und bei Starkstromkabeln eine Erwärmung bis zu der angegebenen Temperatur im Betriebe wohl vorkommen kann. Die Guttapercha wird gewonnen aus dem Milchsafte der Insondra Gutta aus der Familie der Sapotaceen. Dieser Baum kommt vor auf der Insel Singapore, der Halbinsel Malacca, auf Sumatra und Borneo. Derselbe wird bis 24 m hoch bei einem Stammdurchmesser bis zu 1 m. Dieser Baum liefert die beste Sorte Guttapercha. Die im Handel vorkommenden Guttaperchasorten sind aber vielfach mit dem Saft ähnlicher Bäume vermengt. Die echte Insondra Gutta ist heute in einzelnen Theilen der genannten Gebiete nahezu ganz ausgerottet, so dass die Beschaffung von guter Guttapercha immer schwieriger wird. Der Milchsafte findet sich in einzelnen Zellengängen und Säcken der inneren Rinde und der Blätter vor. Der Saft wird gewonnen, indem man die Rinde des Baumes mit ringförmigen Einschnitten versieht und den heraustretenden Saft sammelt. Bei lebenden Bäumen gerinnt der Saft, welcher sehr dickflüssig ist, sehr bald, so dass dann der Einschnitt verklebt ist und dadurch die Ergiebigkeit beeinträchtigt wird. Aus diesem Grunde werden die Bäume fast immer gefällt, und ist durch diesen Raubbau die Verminderung der Baumbestände erklärt. Das Ertragnis eines ausgewachsenen Baumes in der günstigsten Jahreszeit beträgt nach Obach nur 1 1/4 kg zu M 7 = M 8.75. Die reine Guttapercha besteht nach Obach aus drei Bestandtheilen, einem reinen Kohlenwasserstoffe C₁₀ H₁₆, aus der sogenannten Gutta und aus zwei Harzen, dem Fluavil und dem Alban. Die Gutta ist in Alkohol unlöslich, das Alban in heißem, das Fluavil in kaltem Alkohol löslich. Der wertvollste Bestandtheil der Guttapercha ist die Gutta, die Harze sind Nebenbestandtheile, die bis zu einer gewissen Menge zwar nothwendig, aber bei vorwiegendem Vorhandensein für die Qualität schädlich sind. Der Handelswert der Rohguttapercha hängt ab von dem quantitativen Verhältnis der Gutta zum Harz, vom Wassergehalt, von beigemengtem Schmutz, Holz, Sand und endlich von der Qualität der in der Guttapercha enthaltenen Gutta.

Die beste Handelsmarke ist Pahang-Guttapercha. Dieselbe enthält durchschnittlich 19% Wasser, 11% Schmutz und 70% Guttapercha. Die letztere besteht aus 58% Gutta, 12% Harzen. Der Hauptmarkt für Guttapercha ist Singa-

*) Der Preissturz des Kupfers erfolgte inzwischen Ende Dezember 1901.

pore, die Ausfuhr ist sehr schwankend und wird wesentlich von dem Baue der Tiefseekabel-Linien beeinflusst. Die Verarbeitung der Guttapercha für Kabelzwecke beginnt damit, dass man die Rohguttapercha zunächst auf einer Schneidmaschine zerkleinert und in heißem Wasser aufweicht. Dann wird dieselbe in einer Waschmaschine von den beigemengten Schmutztheilen befreit. Die Waschmaschine besteht aus einer Walze mit sternförmigem Querschnitt, welche in einem starken cylindrischen Gehäuse rotiert. Dieses Gehäuse enthält innen einige Längsleisten, durch welche der freie Querschnitt zwischen Walze und Gehäuse verengt wird. Der Boden des Gehäuses ist durchlöchert. In dieser Maschine wird die Guttapercha von der Walze durchgearbeitet und unter Zutritt von heißem Wasser durchknetet, die Schmutztheile fallen durch die Löcher des Gehäuses in einen unteren Behälter. Der Waschprocess wird fortgesetzt, bis die entnommenen Proben eine genügende Reinheit ergeben. Dann kommt die Guttapercha in eine hydraulische Siebpresse mit dreifacher Sieblage, um die feinen Schmutztheile zu entfernen. Dann wird der Waschprocess noch einmal wiederholt. Hierauf folgt zur Entfernung des Wassers eine gründliche Behandlung in der Knetmaschine. Diese Knetmaschine ist ganz ähnlich der Waschmaschine, nur ist die Walze mit einer vielzähligen feinen Riffung versehen. Die Guttapercha wird hier trocken durchgearbeitet und erwärmt sich durch die Reibung, der sich bildende Wasserdampf kann durch große, im Gehäuse der Knetmaschine angebrachte Oeffnungen entweichen.

Da man in der Praxis vielfach verschiedene Guttaperchasorten zusammenmischt, um eine möglichst niedrige Dielektricitätsconstante zu erreichen, so braucht man auch noch eine Mischmaschine, für welche Zwecke vielfach die Universal-Knetmaschine von Fleiderer verwendet wird. Die Guttapercha wird dann auf einem Calander in Platten ausgewalzt und ist damit lagerfertig für die Fabrication.

Wie vorher bemerkt, ist die gute harte Qualität der Provenienz Insondra-Gutta heute sehr selten, ja oft kaum erhältlich. Man hat daher vielfach versucht, geringere Qualitäten mit größerem Harzgehalte künstlich zu härten. Dieses Härten geschieht durch Behandlung der Guttapercha mit Petroläther oder anderen Lösungsmitteln, wodurch ein Theil des Harzes gelöst wird. Dem großen Guttaperchamangel hat man in neuerer Zeit durch Gewinnung der Guttapercha aus den Blättern abzuhelpen versucht. Die Blätter enthalten ca. 10% Guttapercha, und soll ein Baum vom zehnten bis zum dreißigsten Jahre ca. 400 Pfund Blätterernte ergeben. Man würde also das Ertragnis eines Baumes auf ungefähr das 15fache erhöhen. Die Methode dieser Gewinnung besteht darin, dass man die Blätter zerklopft und dann mit Schwefelkohlenstoff oder einem anderen Lösungsmittel extrahiert und die Guttapercha aus dieser Lösung durch Aceton fällt. Die so gewonnene Guttapercha soll jedoch wenig dauerhaft sein und ist daher für Kabelzwecke nicht geeignet.

Die gereinigte Guttapercha hat nun folgende Eigenschaften: Specificisches Gewicht 0.95—1, sie wird weich je nach der Qualität bei max. 65° C. Die Dielektricitätsconstante ist von der Qualität abhängig und beträgt für die besten Sorten 3.12. Die Guttapercha wird von Salzsäure und verdünnter Schwefel- und Salpetersäure nicht angegriffen wohl aber von concentrirter Salpeter- und Schwefelsäure, Alkalien, Salzsäure und Essigsäure haben keine Einwirkung.

Obach hat durch Versuche nachgewiesen, dass die Guttapercha, welche übrigens immer einen bestimmten Wassergehalt behält, durch Liegen im Wasser noch Wasser aufnimmt. Der Versuch, der sich über 18 Wochen erstreckte und mit den verschiedensten Sorten durchgeführt wurde, ergab für die Marke Pahang eine Wasseraufnahme von 1% bei Süßwasser. Bei Seewasser zeigte sich die merkwürdige Erscheinung, dass die Wasseraufnahme in den ersten

Wochen zunahm, dann aber wieder abnahm. Es ist auch bemerkenswert, dass der Isolationswiderstand und die Ladungswerte durch diese Wasseraufnahme nur unwesentlich beeinflusst wurden. Eine große Einwirkung auf die Guttapercha hat das Licht und die Luft. Die Luft oxydiert die Guttapercha und macht sie brüchig. Die Fabrication der Guttaperchadrähte erfolgt auf der Guttapercha-Bedeckungsmaschine.

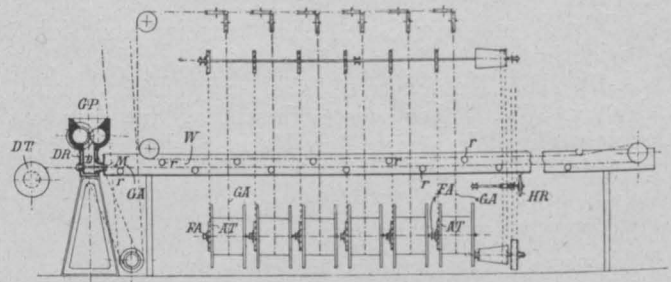


Fig. 3.

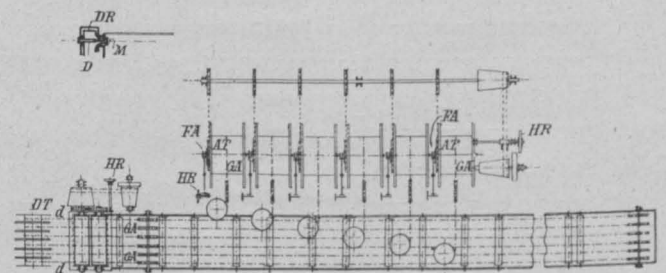


Fig. 3 a.

Diese besteht aus einem Presscylinder mit dem Drahtlauf und dem Drahtauslauf, aus einem langen mit Wasser gefüllten Bassin zur Abkühlung der Adern und aus der Aufwickelvorrichtung. Der Presscylinder ist entweder mit Presskolben ausgerüstet oder mit einem gegeneinander sich bewegenden Walzenpaar, durch welches die Guttapercha in den Cylinder hineingepresst wird. Zu diesem Zwecke wird die Guttapercha zunächst in der Knetmaschine zu einem homogenen Kuchen durchgearbeitet und dann in den Presscylinder hineingesteckt. In dem unteren Theile des Presscylinders befinden sich für den Einlauf der zu umpressenden Drähte — es werden gewöhnlich sechs oder mehr Drähte gleichzeitig bedeckt — Einlaufnippel und an der entgegengesetzten Seite die Pressnippel, bestehend aus Patrize und Matrize. Die zu umpressenden Drähte passen in die Bohrung der Patrize, und wird die Patrize zur Matrize so einreguliert, dass ein ringförmiger, der Wandstärke der Ader entsprechender Zwischenraum zwischen Patrize und Matrize bleibt. Die unter Druck befindliche Guttapercha quillt durch die Matrizenlöcher heraus und legt sich fest an die zu umpressenden Drähte an. Der Druck im Presscylinder wird mittels Riemenconus-Vorgelege, welches die Geschwindigkeit der Walzen beeinflusst, reguliert, außerdem dient zum Regulieren des Druckes ein an der Presskammer angebrachter Hahn, durch welchen man während der Pressung ein gewisses Quantum Guttapercha austreten lässt, welches natürlich nicht verloren geht, sondern ohneweiters später wieder zur Füllung der Presse Verwendung findet. Die aus dem Presskopfe tretenden Drähte sind weich und müssen im Wasser zur Abkühlung einen doppelten Weg über Rollen hin und her machen, bis sie genügend erhärtet sind, so dass sie einer Deformation nicht mehr unterliegen. Die Adern gehen dann über ein an der Decke angebrachtes Rollensystem und gelangen auf die Aufwickeltrommel, deren Geschwindigkeit mittels empfindlicher Frictionskupplungen, entsprechend dem durch das Aufwickeln zunehmenden Trommeldurchmesser, reguliert wird. Die Adern sind damit

fertig, aber noch nicht gebrauchsfähig. Trotz aller Vorsicht ist es unvermeidlich, dass kleine Luftblasen in der Guttapercha bleiben, und die nächste Arbeit ist also die, von den sogenannten „Nachsehern“ die Adern controlieren und die Fehlerstellen reparieren zu lassen, eine Arbeit, die eine außerordentliche Fertigkeit erfordert.

Nachdem so die groben Fehler in den Adern behoben sind, passieren dieselben eine Vorrichtung, mittels welcher die feineren Fehler durch das Galvanometer gesucht werden. Dann erst kommen die Adern unter Wasser und müssen dort ausreifen. Etwaige sich ergebende Fehler werden nach der eben erwähnten Methode gesucht, bis die Ader den gewünschten Isolationswiderstand nach mindestens achttägigem Wasserbade erreicht hat. Die Guttaperchaadern für Tiefseekabel werden in geschlossenen Stahlcylindern unter 500 Atm. Wasserdruck gesetzt und dann erst auf Isolation gemessen.

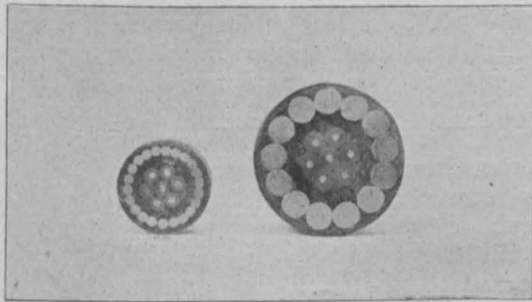


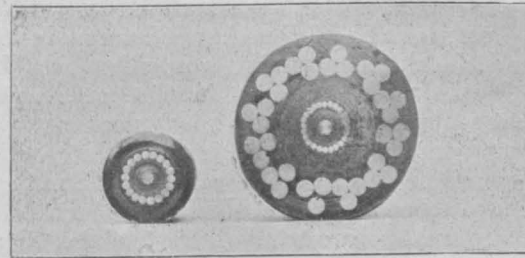
Fig. 4.

Die weitere Fabrication der Guttaperchakabel besteht darin, dass eine Ader oder mehrere verseilte Adern mit in Holztheer oder Tannin imprägnierter Jute umspunnen werden. Auf diesem durch die Umspinnung gebildeten Polster wird die aus verzinkten Eisen- oder Stahldrähten bestehende Armatur geseilt. Zum Schutze der Armatur folgt dann noch eine äußere Bedeckung, die aus imprägnierten Bandlagen oder aus einer zwischen zwei Asphaltlagen gebetteten, getheerten Juteumspinnung besteht. Nehmen wir als typisches Beispiel zur näheren Betrachtung der Guttaperchakabel ein Tiefseekabel.

Die Aufgabe, welche der Kabeltechniker bei der Construction eines Seekabels zu erfüllen hat, ist folgende: Damit die Sprechgeschwindigkeit, von der der commercielle Wert des Kabels abhängt, eine möglichst große ist, muss der Kupferwiderstand und die elektrostatische Ladung des Kabels möglichst gering sein. Außerdem muss die Armatur die für die vorkommenden Meerestiefen entsprechende Festigkeit haben, und der Preis des Kabels muss ein möglichst billiger sein.

Jedes Kabel bildet einen Condensator, dessen innerer Beleg der Kupferleiter ist, die Isolierschicht bildet das Dielektrikon und das Wasser oder das Erdreich bildet den äußeren Beleg. Daraus folgt, dass zur Erreichung einer geringen Ladung es vortheilhaft ist, die Oberfläche des inneren Beleges auf ein Minimum zu bringen, die Wandstärke des Dielektrikons möglichst stark zu halten und eine Guttaperchaqualität zu verwenden mit möglichst kleiner Dielektricitätsconstante. Die geringste Oberfläche des inneren Beleges bei gegebenem Kupferquerschnitt würde man bei einem massiven Drahte erreichen. Das geht aber bei Seekabeln nicht wegen der Gefahr des Drahtbruches. Man nimmt daher eine Kabellitze, bestehend aus einem starken Mitteldrahte mit darüber geseilten dünnen Rund- oder Façondrähten. Die Wandstärke des Dielektrikons wird durch den Preis der Guttapercha in gewissen Grenzen gehalten. Es kommt also darauf an, das Verhältnis des Kupfergewichtes zum Guttaperchagewichte möglichst günstig zu gestalten, auch die Kosten der Armatur möglichst zu

reducieren, und zwar in der Weise, dass man die Construction der Armatur den verschiedenen Meerestiefen anpasst. An den Uferenden muss man das Kabel in der Armatur bedeutend verstärken, da hier die Gefahr der Beschädigungen durch Ankerschleppen und durch Wellenschlag vorhanden ist. Fig. 5 zeigt ein Kabel von der von Siemens Brothers 1879 verlegten Linie Havre—New-York, welches, wie auf dem Ring vermerkt, nach achtjähriger Ruhe, gelegentlich einer Reparatur, aus 1742 Faden = 3197 m Meerestiefe gehoben ist. Bemerkenswert ist die gute Conservierung des Kabels.



a) Tiefseekabel. b) Uferkabel.

Fig. 5.

Die Verlegung der Seekabel will ich nur kurz besprechen. Wenn das Kabel die Kabelmaschine verlässt, so wandert es über Rollen zunächst in große, mit Wasser gefüllte eiserne Tanks, in welchen es der sorgfältigsten elektrischen Prüfung unterliegt. Von den Tanks geht das Kabel über Rollen direct in den Kabeldampfer und wird dort im Schiffsraume in ähnliche cylindrische Tanks in regelmäßigen Ringen, Lage für Lage eingelegt. Der Kabeldampfer hat auf Deck gewöhnlich zwei Verlegemaschinen, welche einmal zum Ablauf geeignet sind, aber auch für das Aufholen des Kabels, als angetriebene Winden, verwendet werden können. Das Kabel geht durch eigenartige Kabelführungen vom Kabelraume auf Deck zur Verlegemaschine und ist zunächst mehrfach über eine Scheibe von circa 2 m Durchmesser gewickelt. Diese Scheibe ist mit einer äußerst kräftigen Bandbremse versehen, welche mit einer kataraktartigen Reguliervorrichtung ausgerüstet ist, so dass die Bremsung niemals ruckweise erfolgen kann. Das Kabel passiert das Dynamometer, welches aus zwei festen und einer losen Rolle besteht. Die Bremse wird nun nach der Ablesevorrichtung des Dynamometers reguliert. Ueber eine am Schiffsende angebrachte Führungsrolle läuft dann das Kabel über Bord. Die Verlegung des Kabels, resp. die Regulierung der Bremse hat nun so zu erfolgen, dass entsprechend der Geschwindigkeit des Kabeldampfers der Ablauf des Kabels erfolgt. Die Regulierung des Kabels muss nun so erfolgen, dass das Kabel im Wasser keine achsiale Geschwindigkeit nach rückwärts hat, sondern senkrecht niederfällt. Wenn ein Kabelbruch eintritt, so fährt das Kabelschiff eine gewisse Strecke senkrecht zur Kabeltrace und wirft die sogenannten „Suchanker“ aus, bis dieselben auf dem Meeresgrunde schleppen. Diese Suchanker unterscheiden sich vom gewöhnlichen Schiffsanker dadurch, dass sie eine größere Anzahl von Haken haben oder mit eigenthümlichen, ausgezackten Kugelcalotten am Ende versehen sind. Das Kabelsuchen ist ein Geduldspiel, aber nach der heutigen Praxis hat es auch bei großen Meerestiefen keine besondere Schwierigkeit. Das in das Ankertau eingeschaltete Dynamometer zeigt dem erfahrenen Verlegungs-Ingenieur ziemlich genau die Vorgänge am Meeresgrunde an, so dass er weiß, wenn der Fischanker das Kabel gefasst hat.

Die elektrischen Fehlerbestimmungen bei Tiefseekabeln sind ziemlich dieselben wie die allgemein in der

Kabeltechnik angewendet, und kann ich dieselben hier übergehen.

Soviel von den Tiefseekabeln.

Als Landkabel fanden die Guttaperchakabel früher vielfach Anwendung. Dieselben enthalten gewöhnlich eine größere Anzahl Leitungen und bestehen dann aus einem aus Guttaperchaadern gebildeten Seile, welches mit imprägnierter Jute umspunnen und mit einer Eisendrahtarmatur versehen ist, in derselben Ausführung wie bei den Seekabeln. Infolge der zunehmenden Vertheuerung und Verschlechterung der Guttapercha hat man jedoch in neuerer Zeit vielfach die Faserisolation mit bestem Erfolge angewendet, und kommen wir darauf später noch zurück.

Die Gummikabel finden Anwendung in der Schwachstrom- und Starkstromtechnik, vor allem als Leitungsmaterial. Die Isolation derselben besteht meistens aus einer vulcanisierten Gummimischung. Die vulcanisierte Gummisolation hat vor der Guttaperchaisolation den Vortheil, dass sie bei Erwärmung nicht weich wird, indifferent gegen die meisten chemischen Agenzien, billiger im Preise ist und ebenfalls undurchlässig für Wasser. Sie hat den Nachtheil, dass der für die Vulcanisierung verwendete Schwefel trotz aller Gegenmittel die Drähte mehr oder weniger angreift.

Der Gummi ist chemisch sehr nahe verwandt der Guttapercha. Der Gummi ist ebenfalls ein coagulierter Pflanzensaft und wird in den meisten Tropenländern gewonnen. Die Hauptproductionsgebiete befinden sich in Süd- und Centralamerika, in Afrika und auf den niederländisch-indischen Inseln. Der südamerikanische Gummi wird gewonnen aus Bäumen der Euphorbiacee. Die beste Sorte ist die von der „*Hevea brasiliensis*“, welche in enormen Waldbeständen im Gebiet des Amazonenstromes und seiner Nebenflüsse vorhanden ist. Dieser Gummi heißt nach dem in der brasilianischen Provinz Para gelegenen Productionsgebiete Paragummi. Die afrikanischen Gummisorten stammen zum Theile von Gummibäumen, u. zw. von Ficusarten, meistens aber von mächtigen Schlinggewächsen, Lianen, ab. Vor allen Dingen soll die „*Landolfia Kirkii*“ sehr viel Product liefern. Im Gegensatze zur Guttapercha sind enorme Quantitäten von Gummi producierenden Pflanzen vorhanden, und werden jährlich noch neue Productionsgebiete, besonders in Afrika, erschlossen, so dass wir vorläufig einen Gummimangel nicht zu befürchten haben, umso mehr als die Gummibäume ohne Schaden für ihr Wachstum Jahrzehnte lang angezapft werden können. Anders ist es allerdings in Afrika, wo die Lianen vielfach für die Gewinnung gefällt werden. Die Jahresproduction beträgt jetzt ca. 45.000 t, wovon circa die Hälfte auf die Provinz Para entfällt.

Die chemische Zusammensetzung des Gummis ist merkwürdigweise noch ziemlich wenig erforscht. Wird gereinigter Kautschuk mit Alkohol, Aceton oder anderen Lösungsmitteln behandelt, so wird ein Theil desselben gelöst. Diesen löslichen Theil bezeichnet man als Kautschukharz, der unlösliche Rückstand ist ein Kohlenwasserstoff.

Wie bei der Guttapercha ist das Verhältnis des Harzes zum eigentlichen Gummi ausschlagend für die Güte des Gummis, da die Dauerhaftigkeit desselben und andere gute Eigenschaften wesentlich vom Harzgehalte beeinflusst werden. Der Harzgehalt ist beim Paragummi mit 1.30% der geringste und steigt bei minderen afrikanischen und oceanischen Sorten bis auf ca. 15%. Für die Kabelfabrication kommt vor allen Dingen der Paragummi, welcher die Handelsbezeichnung Fein-Para führt, in Betracht, und will ich daher über diese Gummisorte Näheres mittheilen. Der Paragummi wird von den eingeborenen Kautschuk-Sammlern, die meistens im Dienste bestimmter Unternehmer sind, gewonnen. Der Unternehmer pachtet von der Regierung bestimmte Waldbezirke (Estradas), und nach Beendigung der Regenzeit geht man an die Ernte. Es wird mit einer eigen-

thümlichen Hacke die Rinde des Stammes ringförmig mit Einschnitten versehen und unter jeden Einschnitt ein kleiner Becher angehängt. In diesem sammelt sich die Milch, welche dann aus den Bechern in Flaschen gefüllt wird. Diese Procedur wird bei denselben Einschnitten alle paar Tage wiederholt, so lange die Saison dauert. Die Milch wird dann auf eine eigenthümliche Weise coaguliert. Mit den Nüssen der Urucuripalme wird ein Feuer unterhalten und dann ein Stock mit dem Ende in die Milch eingetaucht und die anhaftende Milch über dem Feuer geräuchert. Diese Procedur wird so lange wiederholt, bis sich am Ende des Stockes ein aus vielen concentrischen Gummilagen bestehender Klumpen gebildet hat. Diese so gebildeten Brote werden dann an dem Unternehmer abgeliefert, dort werden sie in der Mitte durchgeschnitten und nach ihrer Qualität in „Fine-Para“ und, falls die Räucherung unvollkommen war, in „enterfine Para“ sortiert. Einige afrikanische Gummisorten kommen in ihren Eigenschaften dem Paragummi nahe, z. B. der Mozambiquegummi, welcher in Form von Spindeln oder Ballen in den Handel kommt. Im übrigen gibt es eine so enorme Variation in den Gummisorten, dass ich nicht näher auf dieselben eingehen kann, umso mehr als für die Kabelfabrication die Verwendung von minderen Gummisorten durchaus unthunlich ist.

Der reine Gummi ist leicht löslich in Schwefelkohlenstoff, Benzin, Petroläther und anderen Lösungsmitteln, er hat auch die Eigenschaft, sehr viel Wasser aufzunehmen, wäre also als Isoliermaterial sehr wenig geeignet. Vollständig verändert wird aber der Gummi durch das Vulcanisiren. Der Gummi hat die Eigenschaft, sich bei Schwefelzusatz und entsprechender Erwärmung des Gemenges mit dem Schwefel zu verbinden. Die Natur dieser Verbindung, ob eine chemische oder mechanische oder ob beides, ist auch noch nicht ganz aufgeklärt. Bei Schwefelzusatz bis zu ca. 7% ergibt sich sogenannter Weichgummi, bei höherem Zusatz der Hartgummi. Der Vulcanisierprocess wurde 1840 von Goodyear entdeckt, und ist nur auf diese Erfindung die heutige Entwicklung der Gummi-Industrie zurück zu führen.

Die Verarbeitung des Gummis beginnt mit dem Waschprocesse. Die in den Handel kommenden Gummisorten enthalten eine sehr variable Beimengung von Holz, Rinde, Sand und Steinen, welche oft mit Absicht von den schlaun Gummiproducenten beigemischt werden. Man hat daher beim Waschen einen variablen Waschverlust, welcher bei den besten Gummisorten nur 8% beträgt und bis zu 60% bei den minderen Sorten steigt. Der rationelle Gummieinkauf ist sehr schwierig, da die Beurtheilung der Qualität des Rohgummis außerordentliche Erfahrungen erfordert und man bezüglich des Waschverlustes beim Einkauf im Ungewissen ist.

Der Gummi wird zunächst einige Stunden in heißem Wasser gekocht, um ihn für die weitere Bearbeitung geschmeidiger zu machen und schon beim Kochen möglichst viel Schmutztheile zu lösen. Dann kommt derselbe auf die Waschmaschine (Fig. 6).

Diese besteht gewöhnlich aus zwei Walzenpaaren, bei welchen die Walzen mit Differentialgeschwindigkeit gegeneinander rotieren. Die achsiale Entfernung zwischen den Walzen ist einstellbar. Die sogenannte Vorwalze ist gewöhnlich mit schraubenförmigen Riffungen versehen, um die Gummistücke fester zu fassen. Das zweite Walzenpaar ist glatt. Es wird nun der Gummi zunächst durch das geriffelte Walzenpaar unter starkem, brausenartigem Wasserzulauf von oben durchgearbeitet, wobei nach und nach alle Gummitheile an die Oberfläche kommen. Durch das zulaufende Wasser werden dann die Schmutztheile abgeschwemmt. In dem glatten Walzenpaar wird das von der Vorwalze kommende, noch ziemlich dicke Band in derselben Weise weiterbehandelt und zu dem „Gummifell“ aus-

gestreckt. Nach dem Waschproceß wird der Gummi getrocknet. Das Trocknen geschieht nach neuerem Verfahren im Trockenschrank unter Vacuum in einigen Stunden oder in geheizten Trockenkammern durch gewöhnliche Lufttrocknung, wozu man circa zwei Wochen braucht. Das Vacuumverfahren hat Nachteile, so dass man neuerdings vielfach zur Lufttrocknung zurückgreift.

Aus dem getrockneten Gummi werden sogenannte Puppen gebildet. Diese kommen dann auf das Mischwerk (Fig. 7). Das Mischwerk besteht aus einem horizontalen Walzenpaare mit Differentialgeschwindigkeit. Zunächst wird der

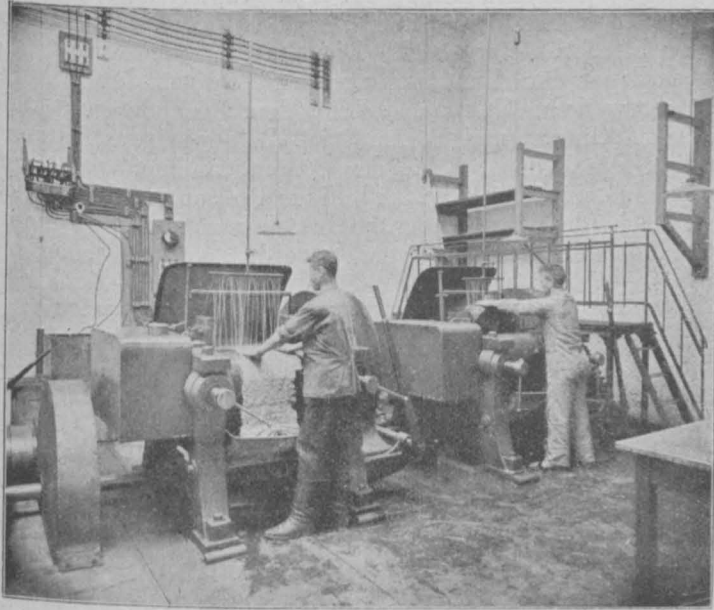


Fig. 6.

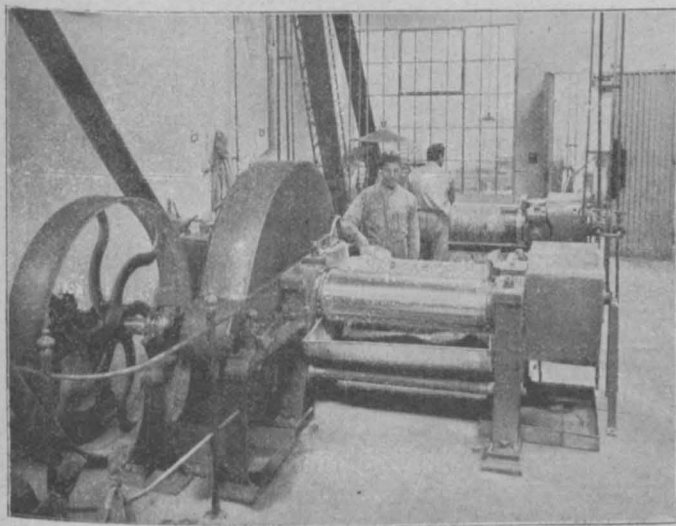


Fig. 7.

Gummi auf der Walze homogen durchgearbeitet, so dass eine Walze gleichmäßig mit Gummi bedeckt ist. Dann wird das sogenannte Füllmaterial, welches aus diversen gemahlten Mineralien und Schwefel besteht, allmählich auf die Walzen gegeben und so lange durchgearbeitet, bis eine vollständig homogene Mischung entstanden ist. Diese Gummimischungen werden dann auf einem Dreiwalzen-Calander (Fig. 8) zu einem breiten Streifen von der Dicke ausgewalzt, wie er für die Kabelfabrication erforderlich ist.

Die Herstellung der Isolierhülle geschieht nach zwei verschiedenen Methoden, entweder nahtlos auf der Spritzmaschine oder mit zwei Längsnähten auf der Longitudinalmaschine.

Die Spritzmaschine (Fig. 9) besteht aus einem Gehäuse, in welchem eine kräftige, durch Radvorgelege angetriebene Transportschnecke gelagert ist. Im oberen Theil des Gehäuses befindet sich eine Oeffnung, durch welche der zu verarbeitende Gummi in Form von Streifen hineingestopft wird. Am vorderen Theile der Maschine endigt die Transportschnecke im Presscylinder. In diesem sind noch einige Oeffnungen für den Drahtinlauf und auf der gegenüberliegenden Seite für den Drahtauslauf angebracht. Der Auslauf ist mit einstellbaren Patrizen und Matrizen versehen wie bei der Guttaperchamaschine. Der Vorgang bei der Drahtfabrication ist nun folgender:

Nachdem die Gänge der Schnecke und der Presscylinder durch den eingestopften Gummi vollständig ausgefüllt sind, muss der Gummi aus den Matrizenlöchern mit ringförmigem Querschnitte entweichen. Zur Regulierung des Druckes im Presscylinder dient wie bei der Gutta-

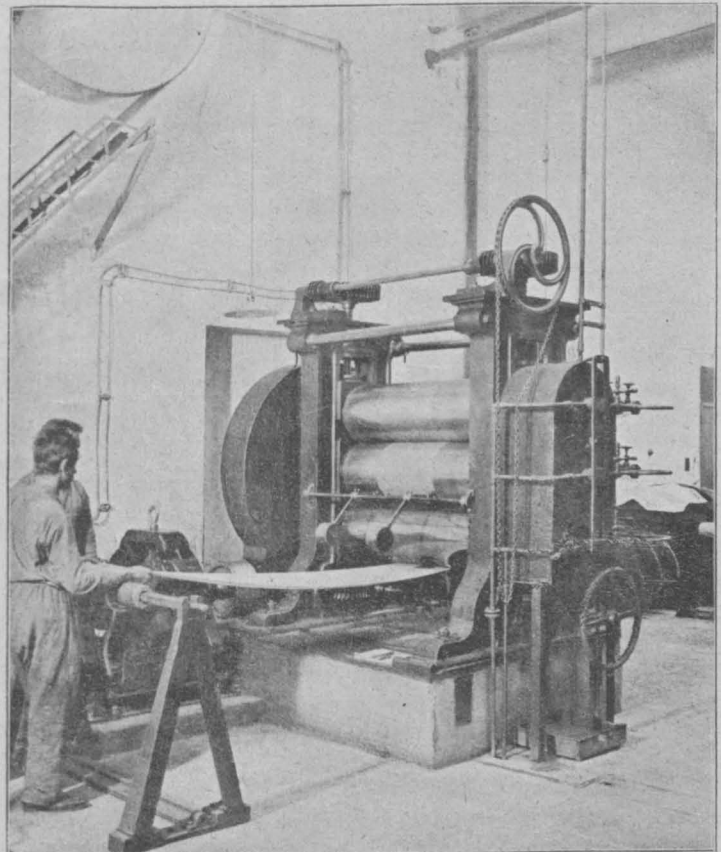


Fig. 8.

perchamaschine ein Hahn, durch welchen man Gummi nach Bedarf im Nebenschluss austreten lassen kann. Die austretenden, mit Gummi bedeckten Drähte passieren häufig ein mit Wasser gefülltes Kühlbassin und werden in der Längsrichtung durch eine Abziehvorrückung abtransportiert und dann auf Trommeln aufgewickelt. Die Spritzmaschine hat den Nachtheil, die Bedeckung nur mit einer einzigen Lage zu ermöglichen, hat aber den Vortheil der nahtlosen Umpressung. Auf der Logitudinalmaschine (Fig. 10) kann der Draht mit zwei oder drei Lagen Gummi gleichzeitig bedeckt werden. Die Maschine besteht aus dem Ablaufgestell, den Bedeckungswalzen und der Abziehvorrückung. Die Logitudinalmaschinen arbeiten gewöhnlich als vierfache, sechsfache bis zwölffache Maschinen, das heißt, es werden 4, 6 oder 12 Drähte gleichzeitig umhüllt. Die von dem Ablaufgestell kommenden Drähte laufen parallel nebeneinander in die Walzen ein. An den Walzen, welche eine der Aderzahl und dem Aderdurchmesser entsprechende Profilierung haben, läuft von oben und von unten je ein der Walzenbreite entsprechender Gummistreifen ein. Der Gummi wird durch

die Walzen auf den Draht fest aufgedrückt, so dass durch diesen Druck die in der Horizontalen zwischen Oberstreifen und Unterstreifen sich bildende Naht durch die natürliche Klebrigkeit der Gummimasse fest geschlossen wird. Je nach der Anzahl der gewünschten Gummilagen sind zwei oder drei Walzenständer hintereinander geschaltet. Hinter dem letzten Walzenständer erfolgt die Trennung der noch zusammenhaftenden Gummiadern durch angebrachte Messer. Die Gummiadern laufen dann über ein System von losen Rollen auf die von der Bedeckungsmaschine angetriebene Abzieh- und Aufwickelvorrichtung. Nach durch-

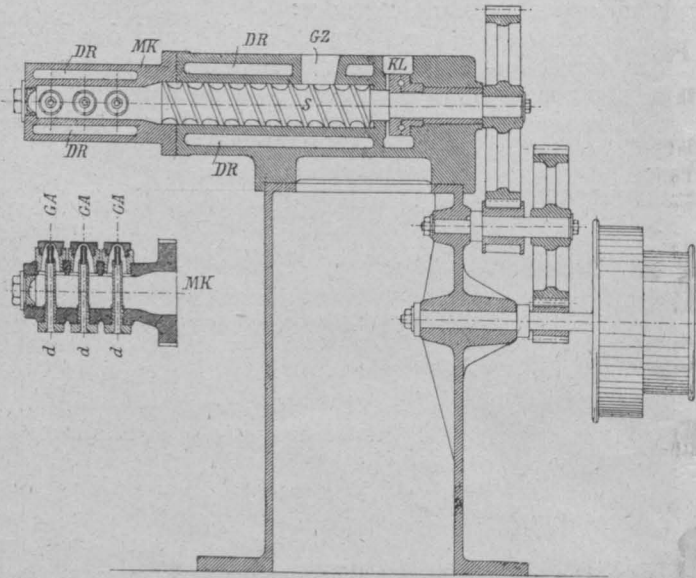


Fig. 9.

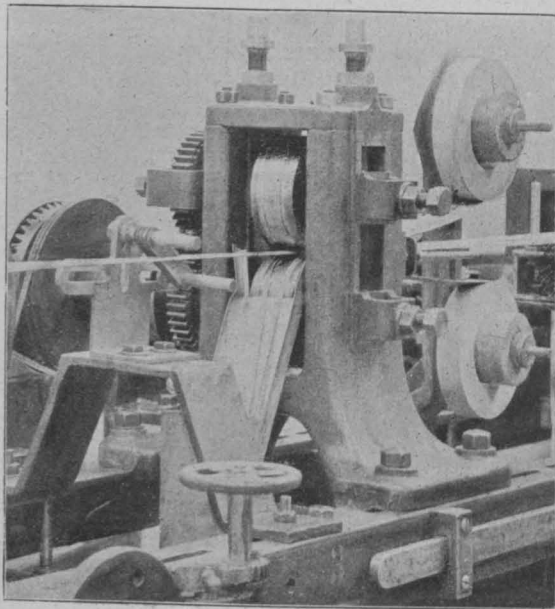


Fig. 10.

geführter Bedeckung werden die Adern meistens noch mit einem gummierten Bande umwickelt oder mit Garn umflochten und kommen dann zum Vulcanisierproccesse.

Das Vulcanisieren erfolgt in großen Kesseln, welche mit einem Dampfmantel versehen sind. Nachdem das Gefäß durch den geheizten Außenmantel gehörig vorgewärmt und der Innenraum mit Gummiadern gefüllt ist, wird der Deckel geschlossen und der Innenraum allmählich ansteigend unter Druck gebracht.

Für den richtig durchgeführten Vulcanisierproccesse ist maßgebend die Höhe des Druckes und die Zeitdauer des Processes. Beides muss entsprechend der Beschaffenheit des

zu vulcanisierenden Kabels genau ermittelt werden, und dazu gehört eine große Erfahrung. Nach dem Vulcanisieren werden die Adern unter Wasser gesetzt und auf Isolation gemessen und unter Spannung geprüft. Um die Kabel vor der Einwirkung des Schwefelkupfers zu schützen, erhalten alle Gummikabel verzinnte Kupferleiter. Die Herstellung einer vollständig homogenen Zinnschichte auf den Drähten ist bis jetzt aber noch nicht gelungen, so dass die meisten Gummikabel im Laufe der Zeit mehr oder weniger der Einwirkung des Schwefelkupfers unterliegen. Als Gegenmittel wendet man an eine imprägnierte Papierlage oder eine reine Naturgummilage auf dem Kupferleiter. Letztere schützt jedoch auf die Dauer nicht, da sie allmählich vom Schwefel durchsetzt wird. Die Qualität und damit die Lebensdauer der Gummikabel hängt ab von der Qualität des verwendeten Gummis und von dem Mischungsverhältnis zwischen Gummi und Füllmaterial. Leider wird auf diesem Gebiete durch den Stachel der Concurrenz viel gesündigt. Es kommen Gummikabel zu billigen Preisen auf den Markt, bei welchen mindere Gummiqualitäten, regenerierter Gummi und andere Surrogate verwendet werden, und bei denen das

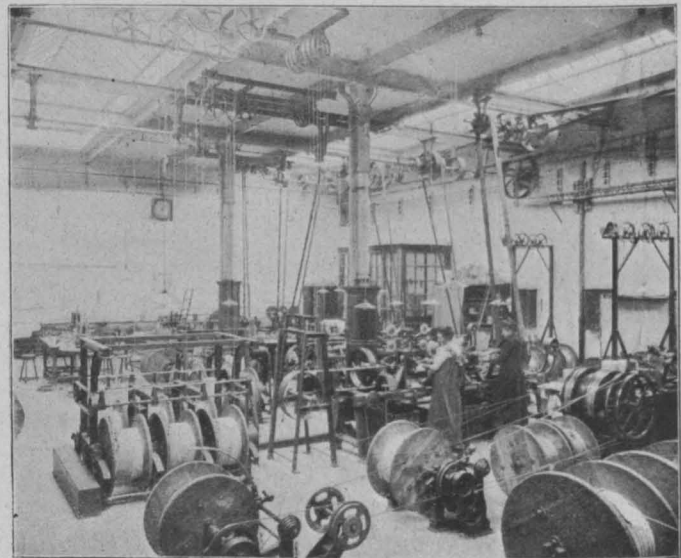


Fig. 11.

Mischungsverhältnis zwischen Gummi und Füllmaterial bis an die äußerste Grenze getrieben ist. Mögen die Consumenten bedenken, dass diese billigen Kabel die theuersten sind!

Wir kommen nunmehr zu den Bleikabeln mit imprägnierter Faserisolation.

Gut getrocknete und mit einem entsprechenden Dielektrikon getränkte Faserumspinnungen haben sehr gute Isolationseigenschaften. Ein Millimeter imprägnierte Juteumspinnung wird erst bei 2000—3000 Volt durchgeschlagen. Eine Lage imprägniertes Kabelpapier hält ca. 1000 Volt aus. Natürlich gelten diese Werte nicht für eine entsprechende Beanspruchung in der Kabelconstruction, bei welcher man in Rücksicht auf die auf der Kabellänge vertheilten unvermeidlich schwachen Stellen mit einem mehrfachen Sicherheitcoefficienten rechnen muss. Die guten Isolationseigenschaften gelten aber nur für absolut trockene Faser, und da alle Fasern trotz der besten Imprägnierung immer hygroskopisch bleiben, so ist es nothwendig, dieselben vor dem Zutritte der Feuchtigkeit absolut zu schützen. Das geschieht dadurch, dass man um den mit irgendeiner Faser umspinnenen und imprägnierten Kupferleiter einen Bleimantel zieht. Das ist das Princip der Bleikabel, und ist bei dieser Besprechung gewiss die Frage interessant, wer das Princip des Bleikabels zuerst angewendet hat.

Werner Siemens erzählt in seinen Lebenserinnerungen, dass er schon anfangs der Fünfzigerjahre, um die Zerstörung der unterirdischen Guttaperchaleitungen durch Ratten und Mäuse zu verhindern, dieselben in ein Bleirohr einzog und dieses dann durch ein Zieheisen zum festen Anliegen an die Isolierhülle brachte. Nach diesem Systeme wurde anfangs der Fünfzigerjahre in Berlin ein ausgedehntes Netz für Polizei und Feuerwehr gelegt, welches lange Jahre befriedigend functionierte. Die ersten Bleikabel mit imprägnierter Gespinstisolation wurden als Versuch von Siemens & Halske, Berlin, im Jahre 1879 ausgeführt, zuerst durch Einziehen in Bleirohre, dann mit einer kleinen Versuchs-Bleikabelpresse; im Jahre 1881 kam die heute noch benützte große Siemens'sche Kalt-Bleipresse in Betrieb, welche von Herrn Henrik Wesslau, dem langjährigen, leider zu früh verstorbenen Leiter unserer Berliner Kabelfabrik, construiert wurde.

Das Bleikabel bildet heute den Mittelpunkt der Kabelindustrie, damit will ich aber durchaus nicht sagen, dass das Faserbleikabel den Höhepunkt der Vollkommenheit bedeutet.

Die Vortheile desselben sind: verhältnismäßig einfache Fabrication, billiger Preis und gute elektrische Eigenschaften, so lange der Bleimantel intact ist. Die Schwäche liegt aber im Bleimantel selbst, u. zw. darin, dass die Isolierung des ganzen Kabels durch jede Undichtigkeit des Bleimantels in Frage gestellt wird. Das Blei wird von Kohlensäure energisch angegriffen, mithin ist das in der Erde liegende Bleikabel, besonders in dem inficierten Boden der Großstädte, den Einwirkungen der Zersetzungsproducte des Erdreiches ausgesetzt. Sehr gefährlich ist auch die elektrolytische Zerstörung der Kabel-Bleimantel, die durch die vagabundierenden Ströme, vor allen Dingen beim elektrischen Bahnbetrieb ohne besondere metallische Rückleitung, verursacht wird.

Das Ideal des Kabeltechnikers wäre ein Kabel mit einer billigen plastischen, nichthygroskopischen Isoliermasse, welche gute elektrische Eigenschaften, hohen Durchschlagswiderstand aufweist, bei der vorkommenden Betriebserwärmung nicht deformiert wird und gegen chemische Einwirkungen möglichst widerstandsfähig ist. Ob sich eine solche Masse aus den uns zur Verfügung stehenden dielektrischen Materialien herstellen lässt, wird uns die Zukunft lehren, jedenfalls ist die Lösung dieser Aufgabe des Schweißers der Edlen wert!

Für die Isolierschichte der Faserkabel gebraucht man Jutegarn, Papier, Baumwolle- und Jute-Gewebe. Für Isolierjute soll nur reines Material verwendet werden. Das Isolierpapier wird meistens aus reinem Manillastoff hergestellt. Die für die Imprägnierung verwendeten Tränkmassen macht sich jeder Fabrikant nach seinen Erfahrungen. Im allgemeinen werden für dieselben verwendet: Reine Natur- Bitumina, Paraffin, Ozokerit oder Ceresin, ferner die diversen Harze und vegetabilischen Oele.

Da bei der Fabrication der Bleikabel fast alle eigentlichen Kabelmaschinen zur Anwendung kommen, so können wir die näheren Betrachtungen der Kabelmaschinen nun vornehmen.

Jede Kabelmaschine besteht aus einem oder mehreren rotierenden Systemen, aus der Abziehvorrithung, welche das Kabel in der Längsrichtung abtransportiert, und aus der Kabelaufwickelvorrithung.

Die rotierenden Theile haben verschiedene Arbeitsfunctionen, sind dementsprechend constructiv ausgebildet und untertheilen sich in: 1. Verseilmachines, für die Verseilung mehrerer Drähte zu einer Litze, 2. Plattier- und Spinnmaschinen, für die Umspinnung des Leiters mit Garn, und 3. Bandspinner, für die spiralförmige Umwicklung des Leiters mit Bändern (Papier oder Stoff). Aus den nebenstehenden Abbildungen ist die Arbeitsweise dieser einfachen Maschinen ohneweiteres ersichtlich.

Die Kupferleiter der stärkeren Kabel werden gewöhnlich als 7er, 19er oder 37er Seile ausgeführt und bei einmaligem Durchgange durch die Maschine geseilt. Für diesen Zweck sind daher die drei Seilmaschinen hintereinander geschaltet und hinter den Seilmaschinen eine beliebige Anzahl von Bandspinn- oder Plattierscheiben, so dass man auf diese Weise ein Kabel mit einer beliebig starken Isolierschichte (Kabelseele) bei einmaligem Durchgange herstellen kann. Nach Fertigstellung der Kabelseele folgt zunächst der Trockenprocess im Trockenschrank, einem großen, mit Dampfschlangen geheizten und luftdicht abschließbaren Kasten, in welchem die in siebartig durchlöchernten Körben eingewickelten Kabel in mehreren Etagen



Fig. 12.

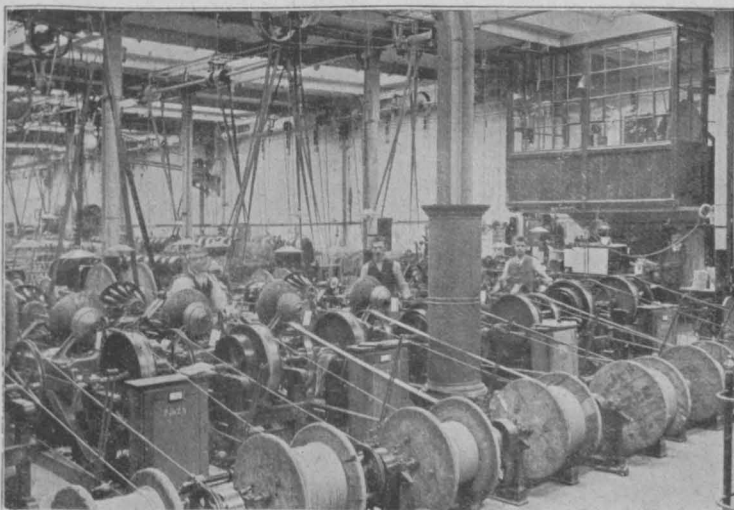


Fig. 13.

zum Trocknen eingesetzt werden, um die Feuchtigkeit aus dem Gespinnste vollkommen zu entfernen.

Das Trocknen erfolgt im Vacuum, es werden während des ganzen Trockenprocesses die sich bildenden Wasserdämpfe von der Luftpumpe aus dem Trockenschranke abgesaugt und in einem in Wasser gekühlten Oberflächen-Condensator wieder condensiert. Der Trockenprocess ist beendet, wenn der Condensator keine Spur von Wasser mehr liefert. Mit diesem Verfahren, dessen Grundprincipien auch Werner v. Siemens zu verdanken sind, können die Kabel in verhältnismäßig kurzer Zeit und bei verhältnismäßig niedriger Temperatur getrocknet werden, was besonders wichtig ist, da bei längerem Trockenprocess und höherer Temperatur die zu trocknende Faser den Einwirkungen der trockenen Destillation unterliegt und spröde und brüchig wird. Nach der Trocknung wird das Kabel

im Vacuum oder auch mit einigen Atmosphären Ueberdruck mit der heißen Kabelmasse imprägniert und dann in die Bleipresse eingeführt, um mit dem Bleimantel versehen zu werden.

Ein Kabelbleimantel muss folgenden Anforderungen entsprechen: Die Wandstärke muss vollkommen gleichmäßig sein, etwa vorhandene „Raststellen“ müssen dieselbe Festigkeit wie der übrige Bleimantel haben, er muss vollständig poren- und oxydfrei und darf nicht spaltig sein. Der letztere Mangel findet sich vor allem bei solchen Pressen, bei denen der Bleistrom auf dem Wege zur Matrize durch feste, in der Construction bedingte Stege getheilt wird, wodurch die erforderliche vollständig homogene Verbindung des Bleies in der Längsrichtung des Blei-

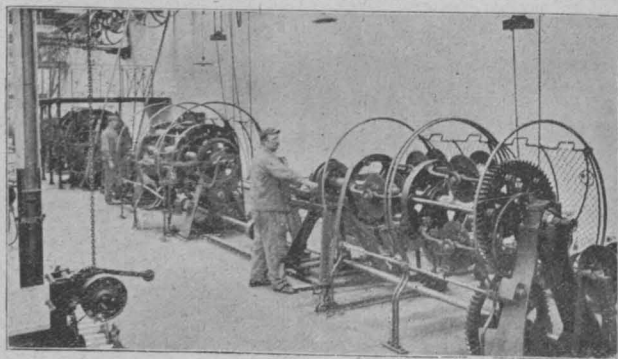


Fig. 14.

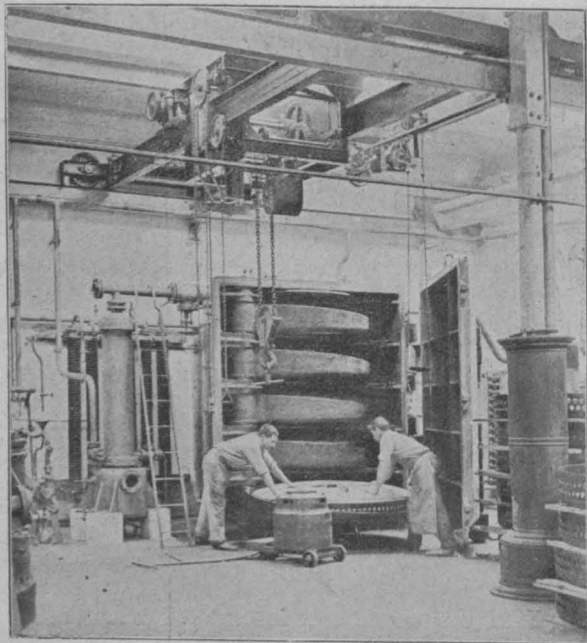


Fig. 15.

mantels oft verhindert wird. Wegen der Gefahr der Porenbildung wendet man auch den doppelten Bleimantel an, bei welchem eine Zwischenlage von Compound gebräuchlich ist.

Bei den Kabelbleipressen unterscheidet man: Kalt- und Warmpressen, je nachdem der Recipient mit einem gegossenen kalten Bolzen oder mit warmer Füllung chargiert wird. Die ersteren Pressen geben nur beschränkte, dem Gewichte des Bolzens entsprechende Kabellängen, wogegen die letzteren continuierlich arbeiten und daher beliebige Längen liefern. Nachfolgend wollen wir eine der modernsten und besten Kabelpressen, u. zw. die Warmpresse „System H u b e r“ näher beschreiben. (Fig. 16 u. 17.)

Der Recipient erhält seine Füllung aus einem über demselben angeordneten Schmelzkessel, welcher rechts und links je eine mit Ventil versehene Ausflussöffnung für das

geschmolzene Blei hat. Der Recipient besteht aus einem kräftigen Stahlgehäuse mit cylindrischer Bohrung (*BR*), in welches von rechts und links die Pistons (*P*) der beiden hydraulischen Presseylinder eintreten. Bei Beginn der Charge sind die beiden Pistons (*P*) zurückgefahren, so dass sie nur gerade mit ihren Stirnflächen die beiden Oeffnungen des Recipienten abschließen. In der Mitte des Recipienten ist von der vorhergehenden Pressung ein Bleiklotz von ca. 40 cm Länge stehen geblieben. Nach Oeffnung der Bleiventile fließt die neue Füllung mittels Trichter in die (im Horizontalschnitte nicht sichtbaren) beiden Fülllöcher, welche an den vorstehenden Enden der Recipientenbüchse angebracht sind. Neben den Fülllöchern befindet sich je ein Luftloch, damit die vom Blei verdrängte Luft aus dem Recipienten entweichen kann. Die neue Füllung füllt den Recipienten vollständig aus und schweißt sich an den im Innern stehen gebliebenen Bleiklotz an. Rechtwinkelig zur Recipienten-Längsachse sind zwei durchbohrte Gewindedorne (*MK* und *PK*) angeordnet. Von diesen trägt der

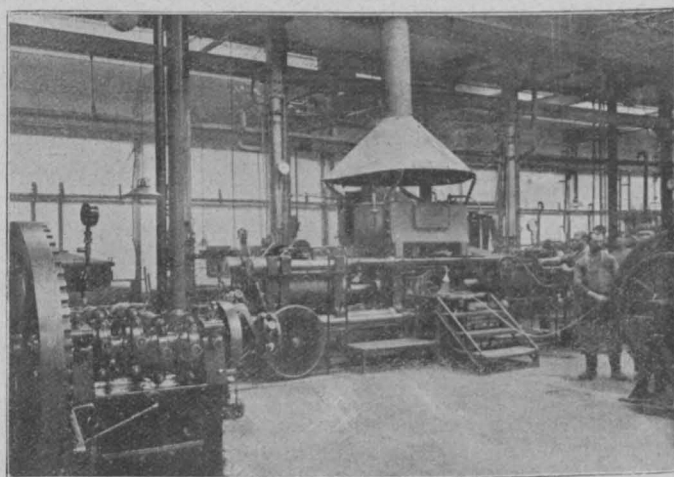


Fig. 16.

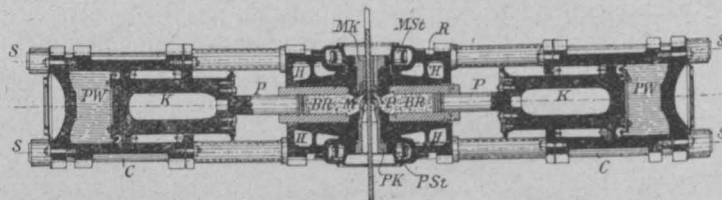


Fig. 17.

Dorn *MK* an der Kabelaustrittseite an seinem Ende die Matrize, wogegen der zweite Dorn *PK* an der Kabeleintrittseite die Patrize trägt. Diese beiden, genau achsial sich gegenüberstehenden Dorne sind in ihrer Längsrichtung durch ein Gewinde verstellbar. Der conische Patrizenkopf ist gegen das runde Matrizenloch so eingestellt, dass zwischen Matrize und Patrize ein dem Querschnitt des zu pressenden Bleirohres entsprechender kreisringförmiger Raum bleibt. Werden nun durch den Druck der hydraulischen Presseylinder die Pistons in den Bleiraum hineingetrieben, so wird das Blei, welches kurze Zeit nach der Füllung durch Wärmetransmission vollständig erstarrt, plastisch und muss in Form eines Rohres durch die kreisringförmige Austrittöffnung austreten. Die Wandstärke des Bleirohres lässt sich durch Einstellung der Gewindedorne *MK* und *PK* regulieren. Das zu umpressende Kabel wird mit seinem Anfange durch den Dorn *PK* in den Bleirohranfang eingeführt und im weiteren Verlaufe der Pressung von demselben mitgenommen. Bei diesem Pressproccesse ist die vollständig gleichmäßige Bewegung beider Presseylinder unbedingt erforderlich, da sonst die Geschwindigkeit des

Bleistromes in beiden Recipiententheilen verschieden wäre und man dann kein regelmäßiges Rohr erhielte. Die gleichmäßige Bewegung der beiden Kolben wird erreicht durch einen sinnreichen Differential-Reguliermechanismus „Patent Huber“, durch welchen dem voreilenden Kolben das Druckwasser gedrosselt wird, wogegen der zurückbleibende Kolben mehr Druckwasser erhält. Nach dem Pressproceß wird das Kabel unter Wasser gesetzt und nach 24stündigem Wasserbade auf Isolation, eventuell auf Ladung und Spannung geprüft.

Nach dieser Procedur folgt meistens die Panzerung auf den sogenannten „Panzermaschinen“. Der Schutz des Bleimantels gegen chemische und mechanische Einwirkungen

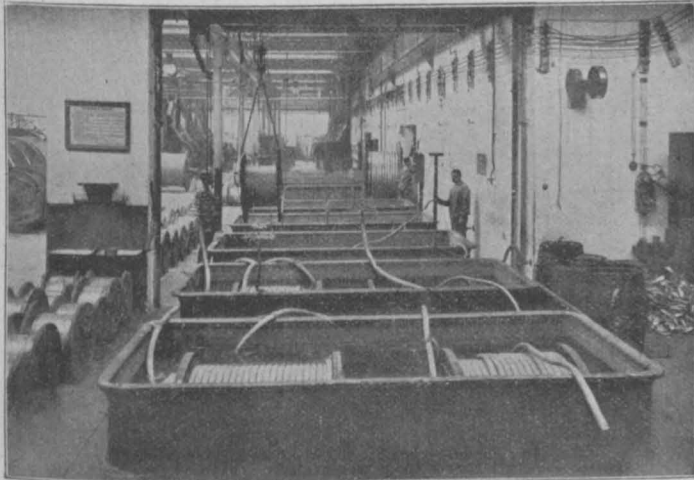


Fig. 18.

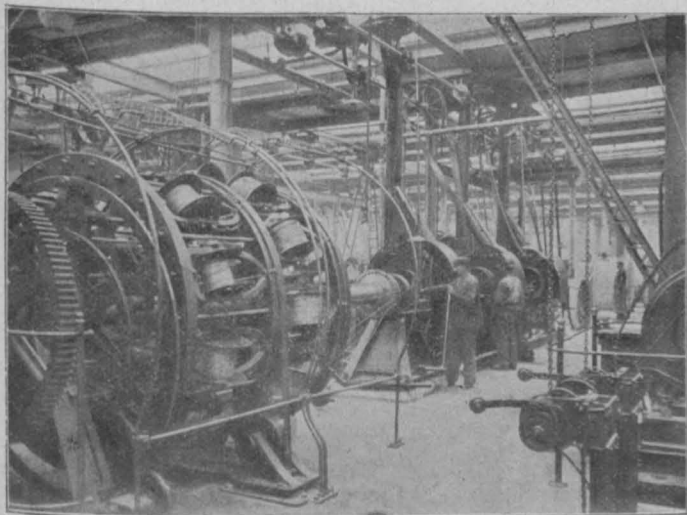


Fig. 19.

ist sehr wichtig, da davon die Lebensdauer der Kabel abhängt. Diesem Umstande wird nicht immer genügend Rechnung getragen, nach meiner Ansicht sollte man aber in dieser Richtung absolut nicht sparen. Der Bleimantel des Kabels erhält unter der Armatur bei solid gearbeiteter Construction eine zwischen zwei Compoundlagen gelagerte Papierumwicklung, darüber eine mit Compound bedeckte, imprägnierte Juteumspinnung, über der Armatur, welche entweder aus zwei Bandeisenlagen oder aus einer verzinkten Drahtlage besteht, abermals eine zwischen zwei Asphaltlagen gebettete Juteumspinnung.

Die Panzermaschinen sind nach demselben Princip wie die Maschinen zur Anfertigung der Kabelseelen gearbeitet, nur enthalten sie noch die zwischen den einzelnen Plattier- oder Seilvorrichtungen geschalteten Compoundkästen. Diese sind mit Dampf geheizt und enthalten eine

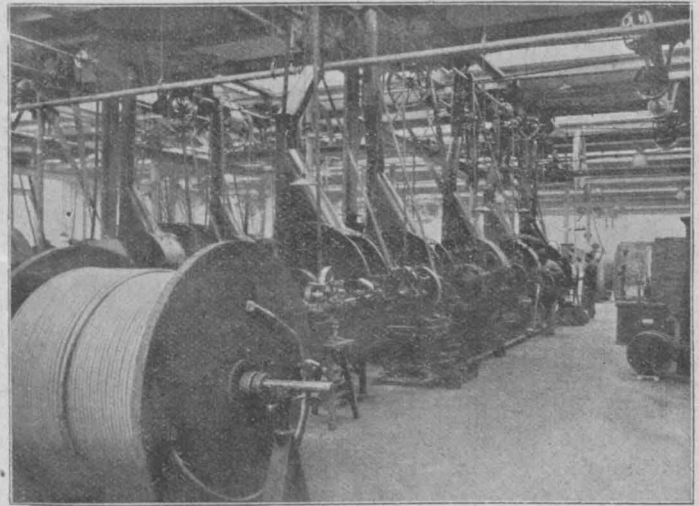


Fig. 20.

rotierende Transportscheibe mit Abstreifvorrichtung und Ablaufrinne. Die an der rotierenden Scheibe adhärerende Kabelmasse wird durch die Abstreifer in die Rinne befördert und so auf die Oberfläche der Kabel geführt. Die Bandeisenpanzerung besteht aus zwei in gleichem Sinne übereinander gewickelten Eisenbändern, die Drahtpanzerung besteht aus runden oder segmentförmig profilierten, verzinkten Eisendrahten.

Mit diesen Kabelmaschinen lassen sich nun die gebräuchlichen Starkstrom-, Telegraphen- und Telephonkabel

herstellen. Zunächst das sogenannte Einfachkabel, welches sowohl für das Dreileitersystem wie für Bahnspeseleitungen verwendet wird. Dasselbe wird bis 700 Volt Gebrauchsspannung beansprucht und hat häufig in dem Kupferleiter eingeseilt einen isolierten Prüfdraht, welcher für Spannungs- und Isolationsmessungen dient. Das concentrische Doppelkabel enthält Hin- und Rückleitung und findet meistens für einphasigen Wechselstrom Anwendung, da Einfachkabel mit Metallhüllen der inducierenden Wirkung wegen für Wechselstrom nicht verwendet werden können.

Das Dreifachkabel ist entweder concentrisch oder verseilt und wird verwendet für Dreileiter-Gleichstromanlagen sowie für dreiphasigen Wechselstrom, erstere Anordnung erfordert bei gleicher Isolationsstärke mehr Materialaufwand, ergibt in den Außenleitern höhere ungleiche Ladungen und ist compliciert in den Garnituren, ist daher inferior gegen das verseilte Kabel. Diese führt man in jüngster Zeit nach englischem Vorbilde mit sec-

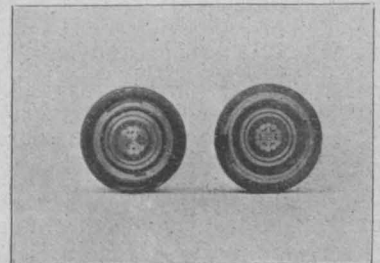


Fig. 21.

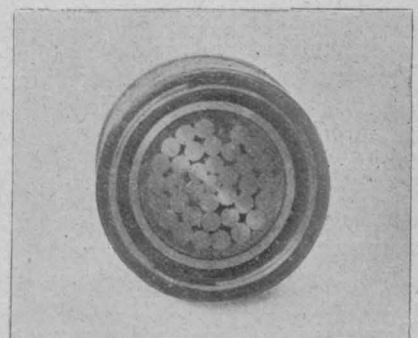


Fig. 22.

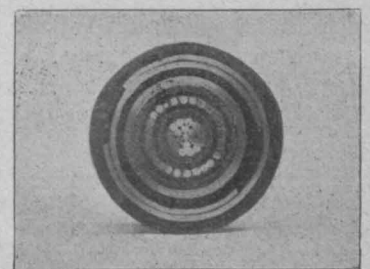


Fig. 23.

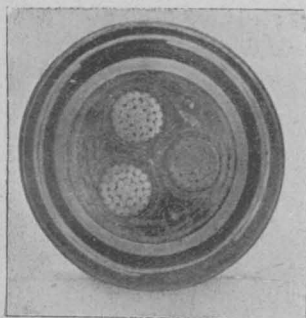


Fig. 24.

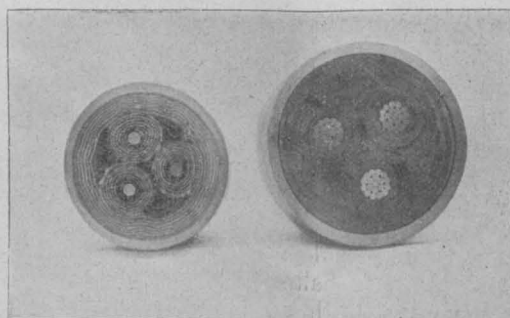


Fig. 25.

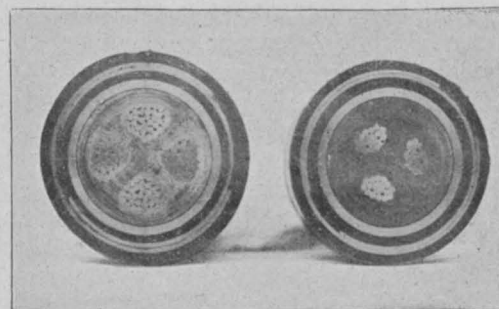


Fig. 26.

torförmigen Leitern aus, da man durch diese Anordnung bei gegebenen Kupferquerschnitten und Isolierstärken den kleinsten Bleirohrdurchmesser erhält.

Die Starkstromkabel erhalten meistens Bandeisenpanzerung, in besonderen Fällen wie bei Grubenkabeln auch Drahtpanzer. Für die verschiedenen Gebrauchsspannungen müssen die Isolationsstärken entsprechend gewählt werden.

Die Kabeltechnik muss bei der zunehmenden Anwendung von höheren Spannungen dem Bedürfnis nach betriebssicheren Hochspannungskabeln nachkommen, obgleich die Lösung der Hochspannungskabelfrage keine einfache ist. Dieselbe wird erschwert durch verschiedene Erscheinungen, welche man in der Wechselstrompraxis erfahren hat.

Zunächst die sogenannten „Ferranti-Effect“, welche von Ferranti zuerst an Hochspannungskabeln in der Centrale Deptfort beobachtet wurden. Diese bestehen darin, dass beim Ein- und Ausschalten von Kabellinien in diesen sehr beträchtliche und daher gefährliche Spannungserhöhungen entstehen können, und zwar durch das Zusammenwirken von Ladung und Selbstinduction des Kabels, jedoch ist man heute schon in der Lage, diese kritischen Beziehungen vermeiden zu können.

Dann ist bemerkenswert die bei sehr hohen Spannungen eintretende Erwärmung der Isolierschichte, welche Erscheinung als „Dielektrische Hysterisis der Kabel“ bezeichnet wird. Für Betriebsspannungen über 3000 Volt ist die getränkte Juteisolierung nicht mehr geeignet, da das grobe Fasergefüge zu wenig widerstandsfähig gegen Durchschlag ist. Ueber das für hohe Spannungen geeignetste Isoliermaterial ist man heute noch nicht endgiltig klar. Man hat zwar in der Anwendung des unvulcanisierten und vulcanisierten Gummis ein Mittel, mit welchem man bei entsprechender Isolationsstärke eine große Widerstandsfähigkeit erreichen kann, der hohe Preis verhindert aber die Anwendung im großen, auch ist man nicht überzeugt, dass der Gummi unter der Dauerwirkung des hochgespannten Stromes unverändert bleibt. Bis zur Erfindung eines besseren und billigeren Materiales ist die Anwendung der Papierisolation für Hochspannungskabel am geeignetsten. Diese wird aus vielen Lagen von Papierbändern hergestellt, und ist hiezu eine sorgfältig ausgebildete Methode der Papierumwicklung und eine eigenartige Tränkung des Papieres erforderlich. Das Gebiet der Hochspannungskabeltechnik ist noch wenig klar gestellt und lässt den Kabeltechnikern noch genug Spielraum für erfolgreichen Fortschritt. Nach dem heutigen Standpunkte der Kabeltechnik kann man ökonomische und betriebssichere Hochspannungskabel für Spannungen von 12.000 bis 15.000 Volt ohne große Bedenken anwenden.

Wir haben jetzt noch die Telegraphenfaserkabel und die Telephon-Luftraumkabel kurz zu besprechen. Die ersteren werden gewöhnlich mit getränkter Papier- und Juteisolation ausgeführt und sind bei gleichen Isolationsstärken in Isolationswiderstand und Ladung günstiger wie

die Guttaperchakabel und dabei um circa 50% billiger. Die Lebensdauer dürfte unter normalen Verhältnissen als Erdkabel auch nicht geringer sein wie die der Guttaperchakabel. Die Construction (Fig. 27 u. 28) bedarf keiner Erläuterung.

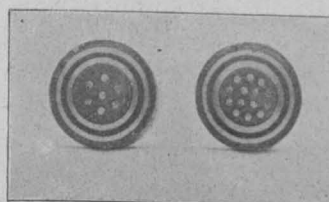


Fig. 27.

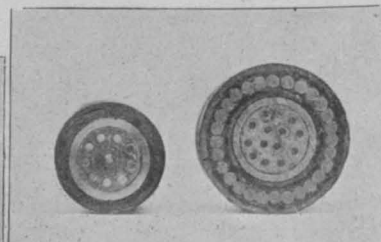


Fig. 28.

Die Telephonkabel sind entweder für das Eindrahtsystem oder für das Doppelleitungssystem construirt; bei letzterem wird die Doppelleitung verdreht angewendet, und wird dadurch das Kabel nahezu inductionsfrei. Bei den Eindrahttelephonkabeln wird die Induction von einer Leitung auf die benachbarten dadurch behoben, dass die Ader über der Isolierschichte eine gut geerdete Staniolhülle erhält.

In neuerer Zeit werden fast alle Telephonanlagen bekanntlich nach dem Doppeldrahtsystem ausgeführt, und kommen dementsprechend jetzt fast nur Doppelleitungs-Telephonkabel zur Anwendung. Ein gutes Telephonkabel soll bei geringen Herstellungskosten eine gute Sprechfähigkeit auf möglichst langen Längen ergeben. Die gute Sprechfähigkeit erfordert geringen Kupferwiderstand, geringe Ladung und hohe Selbstinduction. Der Kupferwiderstand hat für Stadtnetze eine geringere Bedeutung, kommt aber für interurbane Verbindungen sehr in Betracht. Ursprünglich wendete man als Isoliermittel Guttapercha- und Faserisolation an, wegen der verhältnismäßigen hohen specifischen Ladung dieser Isoliermaterialien musste der Erfolg ein geringer sein. Einen sehr wesentlichen Fortschritt brachte die Einführung der sogenannten „Luftraum-Isolierung“, welche zuerst von Felten & Guillaume im Jahre 1892 angewendet wurde. Die trockene atmosphärische Luft hat die niedrigste specifische Ladung (Dielektricitäts-Constante 1). Man erzielt daher eine niedrige Ladung, wenn man den Kupferleiter

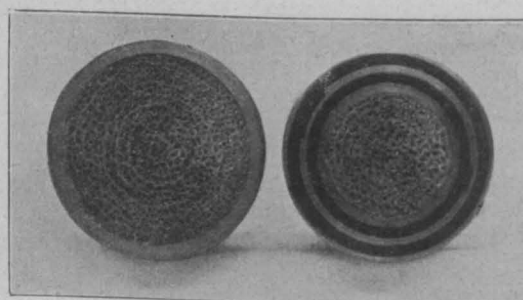


Fig. 29.

des Telephonkabels mit möglichst viel Luftraum in der Isolierschicht ausstattet.

In Rücksicht auf die Herstellungskosten des Telephonkabels sind dem Kabelconstructeur Kupferquerschnitt und Isolationsstärke, d. i. die für jede einzelne Kabelader im Kabelquerschnitt disponible Fläche, in gewissen Grenzen gegeben. Das Kabel würde das Minimum von Ladung erreichen, wenn sich die Drähte symmetrisch im Bleirohr, nur in Luft gelagert, anordnen ließen; da dies nicht möglich ist, braucht man als Zwischenglied trockenes Papier, welches die niedrigste Dielektricitätsconstante (1.9—2) unter den festen Isoliermaterialien hat. Die Art der Papierumhüllung ist sehr verschieden, es wird der Draht mit Längsband oder mit spiralförmig umwickelten Bändern so umhüllt, dass möglichst viel Luftraum den Draht umgibt. Bei den heutigen Telephonkabeln liegt die Grenze der technisch brauchbaren Sprachübertragung bei circa 60 km, bei 120 km ist die übertragene Sprache kaum noch vernehmbar.

Mit der Verminderung der Ladungswerte nähert man sich schon der möglichen Grenze, die weitere Lösung muss man darin suchen, nicht nur die Ladung zu vermindern, sondern unschädlich zu machen, und zwar durch die Selbstinduction.

Im Jahre 1893 wurde dieses Princip von Thomson für die Tiefsee-Telegraphie und -Telephonie vorgeschlagen und die Möglichkeit der Anordnung von Selbstinductionsspulen im Kabel erörtert. Havesaete verfolgte diese Theorie weiter. Nun hat neuerdings Pupin die theoretische Grundlage vollständig klar gestellt, und zwar nach folgendem Princip: Wenn eine elektrische Welle in einen isolierten Leiter hineingeschickt wird, so wird die Energie derselben durch den Ohm'schen Widerstand und durch die Ladung des Dielektrikons vermindert, so dass die Amplitude

der Welle vom Anfangspunkte gegen das Ende der Leitung abnimmt. Da die Wirkung der Selbstinduction des Leiters der Wirkung der Ladung entgegengesetzt ist, so kann man die letztere durch die erstere aufheben. Die Erhöhung der Selbstinduction des Leiters kann auf dem Leiter continuierlich angebracht sein oder intermittierend, letzteren Fall wählt Pupin, indem er in den Leiter in Serie in gewissen, genau durch Rechnung festgelegten Zwischenräumen Inductionsspulen mit bestimmtem Werte von Selbstinduction einschaltet, wobei das Verhältnis des Kupferwiderstandes, der Ladung, der Wellenlänge und der Selbstinduction rechnerisch berücksichtigt wird. Auch hat Pupin eine bestimmte Construction der Spulen angeben, welche sich gegenseitig nicht beeinflussen. Durch diese Anordnung wird erreicht, dass die Verringerung der Amplitude der Welle beträchtlich vermindert wird, oder, was dasselbe ist, dass die Welle mit geringerem Energieverlust an dem Ende der Leitung ankommt. Auf diesem Wege wird man auch eine bedeutende Erhöhung der Sprechgeschwindigkeit bei Tiefseekabeln erreichen können, wenn es constructiv gelingen wird, in dem Tiefseekabel eine Erhöhung der Selbstinduction, continuierlich oder intermittierend, anzuordnen. Auch die Ueberland-Telephonie wird auf dieser Basis vollständig revoltiert werden können, da das System Pupin sich ohneweiters auch für Freileitungen anwenden lässt und man an Kupfergewicht der Ueberlandleitungen enorm ersparen kann. Inwieweit es möglich sein wird, für Ueberlandleitungen Telephonkabel mit System Pupin zur Anwendung zu bringen, muss die Zukunft lehren, jedenfalls liegt ein außerordentlicher Vortheil der Kabelleitungen darin, dass sie den atmosphärischen Störungen vollkommen entzogen sind.

Für unsere Kabelindustrie sehen wir immerhin in dieser Erfindung die Grundlage für eine weitere gedeihliche Entwicklung!

Ueber die Entwicklung der elektrischen Bahnen.

Vortrag, gehalten am 17. Februar 1902 von Professor **Karl Hohenegg**.

Die elektrischen Bahnen sind auf deutschem Boden entstanden. Schon der Gedanke, auf dem Wege elektrischer Arbeitsübertragung den Betrieb von Verkehrsmitteln zu bewerkstelligen, wurde zuerst in Deutschland ernsthaft verfolgt, indem schon im Jahre 1841 von dem damaligen deutschen Bunde die Construction einer elektrischen Locomotive als Preisaufgabe gestellt wurde. Obwohl hiedurch der Erfindungsgeist mächtig angespornt wurde und viele hervorragende Techniker, darunter Jacobi, ihre Kraft der Lösung dieser Aufgabe widmeten, blieb die Preisausschreibung ergebnislos. Ein Erfolg war damals auch thatsächlich ausgeschlossen, denn es fehlte vor allem an der Möglichkeit, elektrische Arbeit in größerer Menge vortheilhaft zu gewinnen, indem die damals allein angewendeten galvanischen Elemente hiezu nicht geeignet waren.

Erst als durch Werner Siemens im Jahre 1867 die dynamo-elektrische Maschine geschaffen wurde, durch welche zuerst die Möglichkeit gegeben war, elektrische Arbeit in unbegrenzter Menge zu fördern, konnte daran gedacht werden, die gestellte Aufgabe zu lösen. Thatsächlich hat Werner Siemens, wie er selbst berichtet, schon damals, im Jahre 1867, in der ersten Freude über das vielverheißende neugeborene Kind die Schaffung elektrischer Bahnen ins Auge gefasst, u. zw. in erster Linie die Errichtung eines Netzes elektrischer Hochbahnen durch die Straßen Berlins.

Die Dynamomaschine war aber noch nicht fähig, so große Aufgaben zu erfüllen, und es bedurfte einer entsprechenden Entwicklungszeit zur Ueberwindung aller Kinderkrankheiten, bevor an den Bau einer elektrischen Bahn geschritten werden konnte. Dies geschah bekanntlich 12 Jahre später, im Jahre 1879, gelegentlich der Berliner Gewerbeausstellung.

Eine kleine, in sich geschlossene, schmalspurige Ringbahn von etwa 300 m Länge wurde von einer kleinen elektrischen Locomotive, von welcher drei kleine offene Personenwagen gezogen wurden, befahren. Der elektrische Strom wurde von der stromerzeugenden Generatormaschine vermittels einer dritten Schiene, welche zwischen den beiden Fahrschienen angebracht war, der Locomotive zugeführt und durch die Fahrschienen abgeleitet.

Wenn auch die für die spätere Verwendung in dem Stollen eines Kohlenbergwerkes bestimmt gewesene Locomotive nur langsam verkehrte und den Bedürfnissen der Personenbeförderung nur wenig entsprach, so machte diese kleine Ausstellungsbahn doch gewaltiges Aufsehen und bestärkte insbesondere Werner Siemens in seinem schon 12 Jahre früher gefassten Gedanken, zur Bewältigung des immer anwachsenden Verkehrs in den Straßen Berlins ein Netz von elektrischen Hochbahnen in den belebtesten Straßen zu schaffen. Er griff diesen Gedanken neuerdings auf und

bewarb sich nunmehr mit allem Nachdrucke um eine bezügliche Concession, vorerst durch die belebteste aller Straßen Berlins, nämlich durch die Friedrichstraße. Als sich diesem Plane zufolge des Einspruches der Hausbesitzer unüberwindbare Schwierigkeiten in den Weg stellten und auch ein weiterer Vorschlag bezüglich einer Anzahl anderer Linien von der Stadt Berlin abgelehnt wurde, entschloss sich die Firma Siemens & Halske, auf eigene Kosten eine Probefahrt herzustellen, und führte die bekannte, dem Personenverkehre regelmäßig dienende elektrische Bahn vom Bahnhofe Lichterfelde der Anhaltischen Bahn nach der Hauptadetten-Anstalt in Groß-Lichterfelde aus. Diese Bahn wurde am 16. Mai 1881 dem Betriebe übergeben und hat zu allgemeiner Zufriedenheit ihren Dienst gethan. Wir finden bei ihr zum erstenmale einen Motorwagen angewendet, welcher zufolge elektrischer Umsteuerung nach beiden Richtungen betrieben wurde, und dessen Geschwindigkeit durch Vorschalten von Widerständen geregelt werden konnte, welche Widerstände auch zur Vermeidung der schädlichen Folgen der Unterbrechungsfunken beim Ausschalten des Motors dienten. Nachdem die Lichterfelder Bahn als Probe einer von den Säulen herabgenommenen Hochbahn dienen sollte, wurde die Stromzuführung und Ableitung in der für Hochbahnzwecke geplanten Weise, nämlich durch die beiden Fahrschienen besorgt, es wurde aber schon bei Concessionswerbung für den Fall, als sich diese Art der Stromzuführung nicht bewähren sollte, die Anwendung einer oberirdischen Stromzuführung in Aussicht genommen, u. zw. die Anbringung von Kupferseilen auf isolierenden Säulenstützen und die Stromabnahme von den Kupferseilen durch einen vom Motorwagen mitgezogenen Contactwagen.

Die kleine Ausstellungsbahn vom Jahre 1879 und die Lichterfelder Bahn vom Jahre 1881 haben die Aufmerksamkeit der ganzen technischen Welt auf elektrischen Bahnbetrieb gelenkt und haben insbesondere die Ausführbarkeit und verblüffende Einfachheit der elektrischen Betriebsweise dargethan. Auch führten diese Ausführungen zur Erkenntnis, in welchen Fällen vorwiegend der elektrische Betrieb am Platze sei, und Werner Siemens hat schon im Jahre 1880 in einem Vortrage: „Ueber die dynamo-elektrische Maschine und deren Verwendung zum Betriebe von elektrischen Eisenbahnen“ seine Meinung dahin ausgesprochen, dass der elektrische Betrieb von Bahnen vorwiegend in folgenden drei Fällen Vorthelle biete:

1. Zur Ueberwindung großer Steigungen, da es möglich erscheint, die Zugkraft auf beliebig viele Achsen zu vertheilen und dadurch die Adhäsion beliebig zu erhöhen;
2. für den Betrieb von Bahnen durch Tunnel und in Bergwerken,
3. für den Betrieb von Hochbahnen.

Auch hat Werner Siemens schon damals hervor- gehoben, dass der Elektromotor auch geeignet ist, als Gene- rator geschaltet, Arbeit zu vernichten und daher zur Bremsung zu dienen. Um die Anwendbarkeit des elektrischen Betriebes für Straßenbahnen insbesondere bei starken Steigungen zu erweisen, wurde noch im Jahre 1881 eine Versuchsbahn am Spandauer Bock mit oberirdischer Stromzuführung durch Contactwagen ausgeführt, bei welcher auch bedeutende Steigungen überwunden wurden. Auch in der damaligen internationalen Ausstellung in Paris wurde eine Straßenbahnlinie mit oberirdischer Stromzuführung durch geschlitzte Rohre vorgeführt.

Obwohl nach diesen Ausführungen schon im Jahre 1881 die elektrische Straßenbahn in allen ihren wesentlichen Theilen, wenn auch ohne vollkommene Durchbildung, so doch vorhanden war, so verstrichen doch weitere neun Jahre, bis die Entwicklung der elektrischen Bahnen in Europa begann, welche dann so gewaltig anschwoh.

Wohl sind mittlerweile weitere Versuchs- und Aus- stellungsbahnen hergestellt und einige bleibend erhaltene elektrische Bahnen gebaut worden, so z. B. die elektrische Bahn von Mödling nach der Brühl, eröffnet 1883, und jene zwischen Sachsenhausen und Offenbach, eröffnet 1884, beide mit besonderem Bahnplanum und oberirdischer Strom- zuführung durch geschlitzte Rohre ausgeführt, dieselben sind aber nicht als Straßenbahnen im eigentlichen Sinne aufzu- fassen und vermochten nicht dem elektrischen Betriebe zum Durchbruche zu verhelfen.

Die Schwierigkeiten bei Concessionsertheilung wurden durch die Anforderungen erhöht, welche in Europa an öffentliche Bauten gestellt wurden, und welchen die schwer- fälligen bis dahin geschaffenen Lösungen der oberirdischen Stromzuführung nicht entsprechen konnten. Diesen Um- ständen ist es zuzuschreiben, dass die Bestrebungen sich nunmehr vorwiegend nach Schaffung anderer Arten der Stromzuführung richteten, und dass ein mehrjähriger Still- stand in der Entwicklung der elektrischen Bahnen in Europa eingetreten ist und die weitere Entwicklung von Amerika besorgt wurde.

Die elektrische Bahn scheint in Amerika zum ersten- male auf der Ausstellung in Chicago im Jahre 1883 auf- getreten zu sein, woselbst eine kleine Bahn, ganz ähnlich jener der Berliner Gewerbeausstellung vom Jahre 1879, vor- geführt wurde. Dieser Ausstellungsbahn folgten aber bald in großer Zahl wirkliche Betriebsbahnen. Die Amerikaner erkannten mit ihrem praktischen Sinne sofort die großen Vortheile der elektrischen Betriebsweise. Sie nahmen keinen Anstoß an der Schwerfälligkeit der oberirdischen Strom- zuführung, welche bei den ersten Bahnen genau den Sie- men'schen Mustern nachgebildet wurde, sondern schritten trotz derselben an die Ausführung von elektrischen Bahnen an vielen Orten. Die große Ausdehnung der Stadt und Industrie- gebiete, der schlechte Zustand der Straßen, der große Wert, welchen die Zeitersparnis für den Amerikaner bedeutet, das bedeutende Verkehrsbedürfnis, die leichte Möglichkeit, Conces- sionen zu erhalten, bezw. vorhandene Concessionen abzu- ändern, und die geringe behördliche Beschränkung in der Ausführungsweise sowie viele andere Umstände begünstigten die Ausbreitung elektrischer Bahnen in Amerika, während die Entwicklung derselben nicht erreicht werden konnte.

Es zeigte sich auf dem Gebiete der elektrischen Bahnen dieselbe Erscheinung, welche zu Anfang des vorigen Jahrhunderts in ähnlicher Weise und gleichfalls zum großen Nachtheile deutschen Gewerbeleißes in der Entwicklung der Telegraphie schon einmal beobachtet wurde.

Bekanntlich ist der elektrische Telegraph eine deutsche Erfindung, indem schon 1808 Dr. Sömmerring die Anregung zu demselben gab und 1833 durch Gauss und Weber die erste telegraphische Verbindung thatsäch-

lich hergestellt und in Betrieb genommen wurde. Trotzdem hat die Telegraphie erst nach 1850 in Europa ihre wirk- liche Entwicklung begonnen, nachdem durch die Ameri- kaner und Engländer die Schwierigkeiten der oberirdischen Leitungsführung überwunden waren. Den Deutschen, welche zuerst den elektrischen Telegraphen ersannen und aus- führten, erschien die Schwierigkeit der oberirdischen Leitungsführung so unüberwindlich groß, dass sie sich be- mühten, durch isolierte, unterirdisch zu verlegende Leitungen das Ziel in möglichst vollkommener Weise zu erreichen. Der praktische Sinn der Amerikaner und Engländer da- gegen und die Gewohnheit derselben, große technische Auf- gaben in möglichst billiger und einfacher Weise, wenn auch nicht auf das Vollkommenste, zu lösen, überwand verhält- nismäßig rasch die Mängel der oberirdischen Telegraphen- leitung, indem unter Hinweglassung aller übermäßigen Be- denken an die Ausführung derartiger Anlagen geschritten und dadurch ein großer Kreis von Menschen zur Ueber- windung der Mängel herangezogen wurde. Dieselbe Er- scheinung kehrte im elektrischen Bahnwesen wieder, und wieder waren es die Leitungen, an welchen der Deutsche Anstoß nahm.

Während man in Europa durch die Schwerfälligkeit der oberirdischen Stromzuführung abgehalten wurde, weitere solche Bahnen zu schaffen, und sich abmühte, an Stelle der oberirdischen Stromzuführung eine andere Art der Strom- zuführung, sei es nun eine unterirdische oder eine solche mit Theilleitern, bezw. Einzelcontacten zu setzen, haben die Amerikaner die oberirdische Stromzuführung genau nach den in Europa nicht weiter verfolgten Mustern ausgeführt und bei wiederholter Ausführung immer mehr verbessert und verändert, bis dieselbe so weit vervollkommen war, dass es angienge, dieselbe auch in schönen Straßen zur An- wendung zu bringen.

Zuerst waren es die Herren Leon Daft, E. W. Bent- ley und Walter Knight sowie J. C. Henry, welche elektrische Bahnen mit Contactwagen oder Rollen aus- führten, die von dem Leitungsdrahte getragen und ge- führt wurden und im wesentlichen mit der schon 1881 am Spandauer Bock in Betrieb gesetzten Versuchsbahn über- einstimmten.

Im Jahre 1885 wurde von Van Depoele zum erstenmale die unter dem Arbeitsdrahte laufende und federnd nach aufwärts gedrückte Rolle angewendet und der Arbeitsdraht in der Mitte des Geleises angeordnet, und diese Anordnung wurde von Sprague im Jahre 1888 bei der von ihm erbauten Bahn in Richmond dadurch verbessert, dass die Contactrolle durch eine federnde schief liegende Holzstange getragen und an die Leitung gedrückt wurde. Die rasche Entwicklung der elektrischen Bahnen in Amerika gegenüber jener in Europa ist aus umstehender Schau- linie (Fig. 1) zu ersehen. Dieselbe zeigt, dass die Vereinigten Staaten von Nordamerika schon im Jahre 1890 ein Netz elek- trischer Bahnen von zusammen 2000 km besaßen und von da an Jahr für Jahr ungefähr 2500 km Bahnen ausführten. Wir gewinnen eine Vorstellung von der Bedeutung dieser Zahl, wenn wir bedenken, dass in den Vereinigten Staaten von Nordamerika jährlich ebensoviel Kilometer elektrischer Bahnen errichtet werden, als bis Ende 1900 in ganz Frankreich ausgeführt wurden.

Vergleicht man die Entwicklung der elektrischen Bahnen in Amerika mit jener in Europa, so erkennt man, wie rasch letzteres von den Amerikanern überflügelt wurde, und man begreift, dass die elektrischen Bahnen in Amerika schon im Jahre 1890 viel weiter durchgebildet waren, als dies in Europa trotz der fast doppelt so langen Thätigkeit auf diesem Gebiete der Fall sein konnte. Zuzufolge dieser besseren Durchbildung war es möglich, dass nunmehr ab 1890 die amerikanischen Systeme nach Europa übertragen wurden, und dass ein Großtheil der europäischen elek-

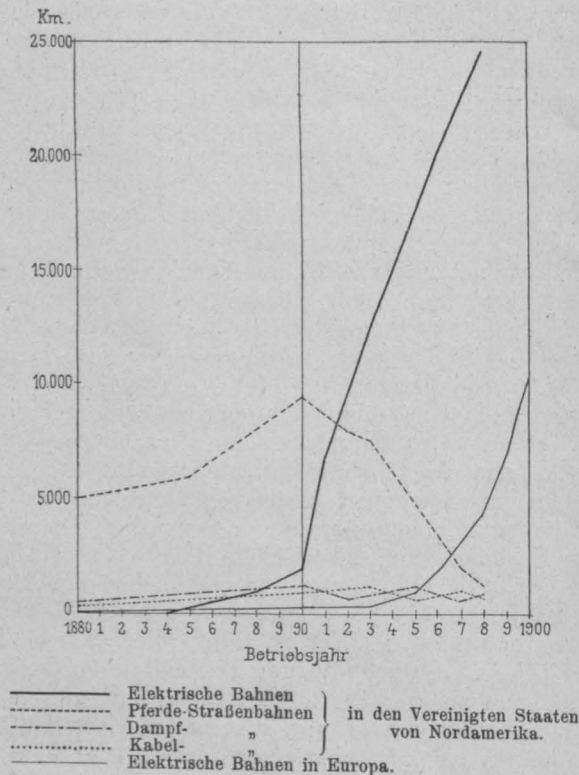


Fig. 1.

trischen Bahnen mit amerikanischen Einrichtungen versehen wurde.

Die Allgemeine Electricitäts-Gesellschaft in Berlin war die erste, welche ein amerikanisches System, nämlich jenes von Sprague, nach Deutschland verpflanzte und mit demselben die elektrische Bahn in Halle ausrüstete, durch welche zuerst der unwiderlegliche Beweis auch in Deutschland erbracht wurde, dass der elektrische Betrieb mit oberirdischer Stromzuführung ohne allzustarke Beeinträchtigung des Straßenbildes ausführbar ist und gegenüber allen anderen Straßenbahnsystemen außerordentliche Vortheile bietet. Dieser im Mai 1891 in Betrieb genommenen ersten in den Straßen einer Stadt Deutschlands errichteten elektrischen Bahn folgten bald weitere nach, so in Gera, Breslau u. s. w., und es beginnt von da an auch in Europa und insbesondere in Deutschland die bewunderungswürdige rasche Entwicklung der elektrischen Bahnen.

Während so die elektrischen Bahnen mit oberirdischer Stromzuführung auf dem Wege über Amerika nach Europa zurückkehrten, haben Siemens & Halske sich bemüht, durch Schaffung einer unterirdischen Stromzuführung den hohen heimischen Anforderungen gerecht zu werden, und es ist ihnen gelungen, nach einer im Jahre 1887 vorgeführten Probehahn im Jahre 1889 die erste elektrische Stadtstraßenbahn mit unterirdischer Stromzuführung in Budapest mit gutem Erfolge zu schaffen und in Betrieb zu bringen. Auch gelang es dieser Firma, an Stelle der amerikanischen Contactrolle mit Hilfe des Contactbügels die oberirdische Stromzuführung in einer eigenthümlichen und mehrfachen Vortheile bietenden Weise zu lösen und im Jahre 1893 in den deutschen Städten Hannover und Dresden elektrische Straßenbahnen unter Anwendung des Bügels zu errichten.

Die Entwicklung der elektrischen Bahnen in Amerika vollzog sich nicht in gleichmäßig ansteigender Weise, sondern weist vom Jahre 1890 an ein plötzliches Ansteigen um ungefähr 2500 km jährlich auf; in Europa dagegen beginnt vom Jahre 1893 eine alljährlich anwachsende Zunahme der elektrischen Bahnen, welche im Jahre 1898/1899 mit jener der amerikanischen Bahnen übereinstimmte und im Jahre 1899/1900 dieselbe sogar überbot, indem mehr als 10000 km neue Bahnen zuwuchsen.

Es bietet für uns Interesse, festzustellen, auf welche Ursachen dieses plötzliche Ansteigen in Amerika zurückzuführen ist. Eine Aufklärung hierüber entnehmen wir jenen Linien, welche die Entwicklung der Pferde- und Dampfstraßenbahnen betreffen. Beide Linien beginnen zur selben Zeit einen Abfall zu zeigen, zu welcher das rasche Ansteigen der elektrischen Bahnen beginnt, ein Beweis dafür, dass letzteres auf die Erkenntnis zurückzuführen ist, dass der elektrische Betrieb sowohl die Pferdebahnen als auch die Dampfstraßenbahnen an Vortheilhaftigkeit übertrifft, und dass mit dieser Erkenntnis die sogen. Elektrisierung vorhandener Pferde- und Dampfstraßenbahnen begann und die Erweiterung bestehender Straßenbahnen sowie der Bau neuer Straßenbahnen nur noch mit elektrischer Betriebsweise stattfand.

In Europa konnten sich dagegen die Vortheile der elektrischen Bahnen nur allmählich Anwendung verschaffen, und es mussten manche hartnäckige Widerstände in mühsamem Kampfe besiegt werden.

Es ist nicht ohne Wichtigkeit, zu ermitteln, inwiefern der elektrische Betrieb anderen Betriebsweisen überlegen ist, und jene Ursachen besonders hervorzuheben, welche vermuthlich den unerwartet raschen Aufschwung der elektrischen Bahnen trotz aller Hindernisse herbeigeführt haben.

Schon bei den ersten elektrischen Bahnen wurde erkannt, dass der Wegfall der Pferde in vieler Hinsicht vortheilhaft ist, insbesondere dass eine geringere Inanspruchnahme der Straßen, eine leichtere Reinhaltung und Instandhaltung derselben und die Vermeidung aller sanitären Uebelstände sehr erhebliche Vortheile bedeuten. Auch wurde schon im Jahre 1884 durch die Bahn auf den Spandauer Bock der Nachweis erbracht, dass man bei elektrischem Betriebe sehr bedeutende Steigungen überwinden könne. Trotzdem alle diese Vortheile schon im Jahre 1884 bekannt waren, beginnt der Aufschwung der elektrischen Bahnen in Europa erst im Jahre 1893, bis einerseits die technische Durchbildung aller Bestandtheile zu einem gewissen Abschlusse gediehen und andererseits erkannt war, dass eine erhebliche Steigerung der Geschwindigkeit des Straßenverkehrs durchführbar und damit eine bedeutende Verringerung der Betriebskosten erzielbar sei, und dass die elektrische Betriebsweise, besonders in der Personenbeförderung, durch keine andere Betriebsweise übertroffen wird.

Die Möglichkeit einer häufigen Wagen- oder Zugfolge, die erreichbare hohe Gesamtgeschwindigkeit, die Möglichkeit der Ueberwindung großer Steigungen, die Vermeidung aller das Wohlbehagen schädigenden Uebelstände, wie Rauch, Dampf, Geruch und dergl., der geräuschlose, gleichmäßige Gang, die leicht erzielbare gute Beleuchtung und Beheizung sind gegenüber anderen Betriebsweisen so außerordentliche Vorzüge, dass die vielfache Anwendung des elektrischen Betriebes auch dann gesichert wäre, wenn selbst eine Verbilligung des Betriebes nicht erreichbar sein würde. Umso mehr musste aber die Entwicklung der elektrischen Bahnen um sich greifen, als anerkannt wurde, dass dieselben auch sehr erhebliche wirtschaftliche Vortheile bieten, besonders dort, wo das Verkehrsbedürfnis noch steigerungsfähig ist und zufolge der Vortheile der elektrischen Betriebsweise eine Steigerung der Benutzung und eine Erhöhung der Einnahmen erzielbar ist.

In dem Maße, als die Erkenntnis dieser Verhältnisse verallgemeinert wurde, in demselben Maße gewann der elektrische Betrieb Anhänger und Ausdehnung, und es vollzog sich eine vollständige Umwälzung des gesammten Verkehrs wesens, indem vorhandene Bahnen auf elektrischen Betrieb umgewandelt und entsprechend der größeren Ausdehnungsfähigkeit erweitert und neue Straßenbahnen geschaffen wurden, vielfach unter Verhältnissen, unter denen andere Verkehrsmittel gar nicht denkbar gewesen wären.

Wenn auch die Anordnung der heutigen Motorwagen im wesentlichen mit jener des ersten Motorwagens übereinstimmt, so hat sich doch eine vollständige Umgestaltung aller Theile vollziehen müssen, um die heute mit Recht anerkannte Leistungsfähigkeit und Betriebstüchtigkeit zu erzielen.

Der Motorwagen musste entsprechend der starken Beanspruchung kräftiger gebaut werden, und es musste die Trennung aller ungefederten von den gefederten Theilen erfolgen, indem erstere in dem sogen. Untergestell vereinigt wurden. Die anfangs angewendeten kleinen zweiachsigen Wagen mussten durch größere Wagen, die Drehgestellwagen und die Lenkachsenwagen, überboten werden. An Stelle der theueren und zufolge des schwachen Magnetfeldes wenig leistungsfähigen 2poligen Motoren mit schmiedeisernem Magnetgestelle und glatten Ankern traten entsprechend der fortschreitenden Entwicklung der Dynamomaschinen mehrpolige Motoren mit Stahlgussgehäuse und Nuthenankern. Die anfangs lang und dünn gewählten Ankerachsen wurden durch kurze und äußerst kräftige Achsen ersetzt, deren Lagerung entsprechend durchgebildet wurde. An Stelle der Kupferbürsten traten die Kohlenbürsten, welche eine sehr geringe Bedienung benöthigen, das Auftreten des Bürstenfeuers bekämpfen und die Anwendung der Glimmerisolation auf den Commutatoren gestatten. An Stelle der ursprünglich angewendeten Seil- und Kettenübertragung von der Motorachse auf die beiden Radachsen trat die Zahnradübertragung und hiemit im Zusammenhange die Anwendung je eines Motors für jede Triebachse und die bekannte, allgemein angewendete Aufhängung des Motors auf der Triebachse.

Zur Vermeidung der hiemit verbundenen starken Beanspruchung der Triebachsen und des Oberbaues mussten besondere Aufhängungsweisen des Motors erdacht werden, durch welche die Triebachse entlastet wurde.

Die Zahnradübertragung, scheinbar ein sehr einfaches Zwischenglied, hat lange Zeit große Schwierigkeiten bereitet, und erst durch Anwendung richtiger Zahnverhältnisse und Zahnmaterialien gelang es, brauchbare Uebertragungen zu erhalten.

Die der Ein-, Aus- und Umschaltung der Motoren sowie der Widerstandsvorschaltung behufs Veränderung der Geschwindigkeit dienenden Schalter oder Regler, von den Amerikanern „Controller“ genannt, haben lange Zeit Wandlungen durchmachen müssen, bis endlich die von den Amerikanern ausgegangene, insbesondere von Sprague vervollkommnete Ausbildung mit stehender Steuerwalze und magnetischer Funkenlöschung allgemeine Anwendung gefunden hat.

Die Ausbildung der Vorschaltwiderstände, die Wahl und vorthellhafteste Anbringung der Verbindungsleitungen sowie aller nebensächlichen Zubehörtheile, wie Sicherungen, Ausschalter u. s. w., konnte nur auf Grund langjähriger Erfahrungen und nach fortgesetzten Verbesserungen die heute erreichte Vollkommenheit gewinnen.

Die durch den elektrischen Betrieb erreichbare erhöhte Geschwindigkeit erschien nur zulässig, sofern der dadurch in erhöhtem Maße gesteigerten Gefahr für Fahrgäste und Fußgänger durch besonders wirksame Bremsen begegnet wurde. Dies geschah in mehrfacher Weise. Vorerst durch Verbesserung der gewöhnlichen Handbremsen, welche theils als Hebelbremsen, theil als Spindelbremsen zu höherer Wirkung und größerer Betriebssicherheit gebracht wurden. Als sich die mit Bedienung dieser Handbremsen verbundene Inanspruchnahme der Wagenführer als ein großer Nachtheil herausstellte, war man bemüht, durch mechanische Bremsen eine leichtere Bedienbarkeit einerseits und eine größere Betriebssicherheit andererseits zu erreichen. Man benützte in erster Linie die im Vollbahnbetriebe bereits erprobten Druckluftbremsen und zog die elektrische

Arbeitsübertragung nur zur Schaffung der erforderlichen Druckluft heran, indem man mittels eines kleinen Elektromotors eine kleine Druckluftpumpe antrieb und mit dieser den Druckluftbehälter zeitweise füllte. Vielfach wurde die Druckluftpumpe auch von den Laufachsen des Wagens angetrieben. Um der hiemit verbundenen Vertheuerung des Motorwagens zu begegnen und die Umständlichkeit der Druckluftbremsung zu vermeiden, griff man auf die schon im Jahre 1880 von Werner Siemens angeregte elektrische Bremsung zurück und bildete den Wagenschalter derart aus, dass es möglich wurde, mit demselben Handgriffe den Motor auch als Generator zu schalten und den Stromkreis desselben durch Widerstände zu schließen. Diese außerordentlich vortheilhafte Heranziehung des Motors zur Bremsung wurde besonders bei den Wiener Bahnen verfolgt, und es ist der nachdrücklichen Forderung seitens des Herrn Referenten im Eisenbahnministerium Ministerialrath v. Leber zu danken, dass diese ebenso wirksame als einfache Bremsweise so vollkommen ausgebildet wurde.

Sowohl die Stromzuführung durch die Rolle als jene durch Bügel wurde fortgesetzt vereinfacht und verbessert, und unter Mitwirkung der Stahlrohrtechnik gelang es, beide Stromzuführungsweisen derart durchzubilden, dass sie heute allen Anforderungen entsprechen.

Aber nicht allein der Motorwagen bedurfte der Durchbildung, sondern es mussten auch in den Kraftwerken sowie in den Stromzu- und Rückleitungen und allen Zubehörtheilen fortgesetzt neue Anforderungen befriedigt werden.

An Stelle der kleinen Maschinenstationen der ersten elektrischen Bahnen mit schnellgehenden Dampfmaschinen und mit Riementübertragung auf die Dynamomaschinen traten gewaltige Maschinenanlagen mit Dampfmaschinen von Tausenden von Pferdestärken.

Statt des unmittelbaren Betriebes mit Gleichstrom, welcher in seiner Ausdehnung beschränkt ist, erwies sich für sehr weit verzweigte Bahnnetze das Drehstrom-Gleichstrom-System als besonders vortheilhaft, bei welchem der von dem Kraftwerke erzeugte hochgespannte Drehstrom in mehreren Unterstationen in Gleichstrom umgeformt wird. Eine derartige Anlage wurde nunmehr auch für Wien geschaffen, und man ist durch diese Umformung in der Lage, ganz Wien von einem großen Kraftwerke mit Strom für Licht und Bahnbetrieb zu versorgen.

Die Beeinträchtigung des Straßenbildes durch oberirdische Stromzuführung einerseits und die Kostspieligkeit der unterirdischen Stromzuführung andererseits haben zu Accumulatorenwagen geführt, wobei die Motorwagen selbst mit einer Stromquelle ausgestattet und dadurch von jeder Stromzuführung unabhängig gemacht sind. Die kostspielige Anschaffung und Instandhaltung der Accumulatoren, die durch sie bedingte große Erhöhung der todtten Last und im Gefolge dessen die bedeutende Erhöhung der Gefährlichkeit zufolge Verlängerung des Bremsweges, haben diese schöne Betriebsweise bisher nur in wenigen Fällen vorthellhaft erscheinen lassen.

Eine wertvolle Neuerung war es, als die Firma Brown, Boveri & Co. im Jahre 1895 eine Straßenbahn mit Anwendung des Drehstromsystemes in Lugano in Betrieb setzte, welche den Beweis lieferte, dass dieses für die Arbeitsübertragung auf weite Entfernungen so vorthellhaft geeignete System auch zum Betriebe von Straßenbahnen mit Vorthell herangezogen werden kann.

Während so der Motorwagen seinen Siegeszug durch die ganze Welt nahm, fand auch die elektrische Locomotive freilich ein viel bescheideneres Anwendungsgebiet.

Wie bereits erwähnt, gieng die Locomotive dem Motorwagen voraus. Die großen Vorzüge des Motorwagen-

betriebes ließen die Locomotive nur dort zur Anwendung kommen, wo der Motorwagen nicht am Platze war, die elektrische Betriebsweise aber trotzdem Vortheile bot. Es war dies vor allem im Tunnel und insbesondere für Lastenbahnen.

Die ersten derartigen Locomotiven fanden im Bergwerksbetriebe Anwendung, indem schon im Jahre 1882 und 1883 in Zaukerode und in Neustassfurt elektrische Grubenbahnen von Siemens & Halske errichtet wurden. In demselben Jahre wurde auch von Schuckert eine Locomotive für ein Sägewerk in Braunsberg bei Rosenheim ausgeführt. In der weiteren Folge wurden derartige Locomotiven von den meisten elektrotechnischen Firmen in mannigfaltigster Ausführung und zu den verschiedensten Zwecken hergestellt.

Das geringe Gewicht der motorischen Einrichtungen, der Umstand, dass keinerlei Verbrauchsmaterialien mitgeschleppt werden müssen, und endlich die Möglichkeit, die Arbeit des herabfahrenden Zuges zum Theil zurückzugewinnen, machen den elektrischen Betrieb für Bergbahnen ganz besonders geeignet. Es sind daher auch eine große Zahl elektrisch betriebener Bergbahnen ausgeführt, bezw. in Ausführung begriffen.

Die erste Zahnrad-Bergbahn mit Rückgewinnung von Strom dürfte jene von Barmen bis zum Töllethurm sein, welche von Siemens & Halske ausgeführt und 1894 in Betrieb gesetzt wurde. Dieselbe ist als Zahnradbahn gebaut, da die Adhäsion für die vorkommenden starken Steigungen (bis 1:5,4) nicht ausreichen würde. Die Bahn ist elektrotechnisch deshalb besonders beachtenswert, weil bei derselben durch Anwendung von Nebenschlussmotoren eine Rückgewinnung der Arbeit des niedergehenden Zuges erzielt wird, welche etwa 65% der ersteren und ungefähr 50% jener Arbeit beträgt, welche der aufwärts fahrende Wagen benöthigt.

Die Stromerzeugungsanlage hat demzufolge, soferne man gleichmäßig einen Wagen zu Berg und zu Thal fahren lässt, nur etwa die Hälfte jener Arbeit zu leisten, welche der bergfahrende Wagen benöthigt. Demzufolge wird sowohl in den Kosten der Stromerzeugungs- und Stromzuleitungsanlage als auch insbesondere an Betriebskosten ganz erheblich gespart.

Die Ersparnisse werden nicht allein in den Stromerzeugungskosten, sondern auch insoferne erzielt, als die bei anderen Bergbahnen durch Reibung zu vernichtende Arbeit der thalwärts fahrenden Wagen einen kostspieligen Verschleiß von Bremsklötzen, Bremscheiben und Radreifen verursacht, was hier fast gänzlich wegfällt.

Der Barmer Bergbahn folgte bald eine große Zahl von Bergbahnen in der Schweiz, welche insbesondere von den hervorragenden Schweizer Firmen Brown, Boveri & Co. sowie Oerlikon ausgerüstet wurden.

Von diesen Schweizer Bergbahnen will ich besonders die Gornergratbahn und die Jungfraubahn hervorheben. Bei beiden erfolgt der Betrieb mittels Drehstromes, welcher durch entfernt gelegene Wasserkraften gewonnen, mit hoher Spannung (ungefähr 5000 Volt) in die Nähe der Bahnlinie geleitet und daselbst in Drehstrom von 540 Volt Spannung umgeformt und als solcher den elektrischen Locomotiven, bezw. Motorwagen zugeführt wird. Jede Locomotive dieser beiden Bergbahnen besitzt zwei asynchrone Drehstrommotoren, welche unabhängig von einander je ein Zahnrad mit doppelter Uebersetzung antreiben. Auch bei diesen Locomotiven wird die Arbeit der Thalfahrt zum Stromgewinne verwendet, jedoch ist zur Erhöhung der Sicherheit zu diesem Zwecke noch eine besondere Gleichstromerregemaschine vorhanden.

In ausgedehntem Maße hat der elektrische Betrieb bei den Hochbahnen Anwendung gefunden. Wie bereits erwähnt, hat Werner Siemens schon im Jahre 1867 an

elektrische Hochbahnen gedacht und bereits im Jahre 1880 eine Concession für eine elektrische Hochbahn in Berlin nachgesucht. Es war jedoch diesem großen Manne nicht gegönnt, die Durchführung seines Lieblingsplanes selbst zu erleben, denn erst nach seinem Tode konnte an die wirkliche Ausführung dieses Werkes geschritten und dasselbe erst in diesem Jahre vollendet und in Betrieb gesetzt werden. Zufolge der großen Schwierigkeiten, welche bei Errichtung dieser Bahn überwunden werden mussten, ist diese dem Projecte nach älteste elektrische Hochbahn der Inbetriebsetzung nach zur jüngsten geworden, und eine stattliche Anzahl anderer elektrischer Hochbahnen wurde früher dem Betriebe übergeben, und zwar:

- 1892 Chicago South Side El. Ry.,
- 1893 „ Lake Street El. Ry.,
- 1893 Liverpool Overhead Ry.,
- 1899 Boston Elevated Ry.,
- 1900 Chicago Northwestern El. Ry.,
- 1901 Elberfeld-Barmer Schwebbahn,
- 1902 Berliner elektrische Hoch- und Untergrundbahn.

Die große Ueberlegenheit des elektrischen Betriebes gegenüber anderen Betriebsweisen trat bei diesen Hochbahnen ganz besonders zutage, indem die verhältnismäßig geringe Last und die Vertheilung derselben auf viele Achsen eine bedeutend leichtere Bauweise der Hochbahnen ermöglicht als bei Dampftrieb; auch entfallen die schwingenden Theile der Dampf locomotiven, und es ergibt sich ein ruhiger, gleichmäßiger Gang ohne das störende Geräusch und eine bedeutend geringere Inanspruchnahme des Oberbaues. Zufolge der erreichbaren hohen Anfahrbeschleunigung lässt sich trotz vieler Haltestellen eine viel höhere mittlere Geschwindigkeit erzielen als bei Dampftrieb, so in Berlin und bei der Elberfeld-Barmer Schwebbahn ungefähr 30 km in der Stunde.

Anschließend an die elektrischen Hochbahnen wären die Untergrundbahnen zu besprechen, auch bei diesen bietet der elektrische Betrieb besondere Vortheile. Vor allem bedeutet der Wegfall jeder Raumentwicklung und die Möglichkeit, das Tunnelprofil auf den von den Wagen in Anspruch genommenen Raum zu beschränken, solche Vortheile, dass die seit dem Jahre 1890 gebauten Tunnel-Stadtbahnen mit geringen Ausnahmen mit elektrischem Betriebe ausgeführt wurden.

Die ersten elektrisch betriebenen Untergrundbahnen waren die Tunnelbahnen in London, von denen zuerst die City and South London Railway schon im Jahre 1890 in Betrieb gesetzt wurde, ihr folgte die Waterloo and City Railway, eröffnet 1898, und sodann die Central London-Railway, eröffnet 1900.

Die Concurrenz der Central London Railway machte sich für die noch mit Dampf betriebene Metropolitan und Metropolitan District Railway derart fühlbar, dass sich diese Unternehmungen gezwungen sahen, an die Einführung des elektrischen Betriebes zu schreiten, welche kürzlich beschlossen wurde. Auch andere große Städte schritten an die Ausführung elektrischer Tunnelbahnen, um durch diese, ungehindert durch den Verkehr auf den Straßen, eine rasche Beförderung der Fahrgäste zu ermöglichen.

Im nachstehenden sind die elektrischen Tunnelbahnen in zeitlicher Reihenfolge ihrer Inbetriebsetzung aufgezählt:

- 1890 City and South London Ry.,
- 1896 Budapest Franz Josef-Untergrundbahn,
- 1897 Boston Subway,
- 1898 London-Waterloo and City Ry.,
- 1900 Central London Ry.,
- 1900 Paris, Métropolitain.

Aehnliche Umstände wie jene, welche zur Einführung des elektrischen Betriebes auf der Metropolitan Railway in London zwangen, gaben auch in Wien Veranlassung, die

elektrische Betriebsweise auf der Wiener Stadtbahn in ernste Erwägung zu ziehen. Es fand demzufolge im Jahre 1897 eine Offertauschreibung statt, und es wurde das Project der Siemens & Halske A.-G. als das geeignetste befunden und für die Ausführung eines Probezuges zugrunde gelegt. Die in der Offertauschreibung gestellten Forderungen waren äußerst schwierige, indem verlangt wurde, dass die elektrischen Züge einerseits von Hütteldorf gegen Purkersdorf-Rekawinkel, andererseits von Heiligenstadt gegen Tulln mittels Dampf locomotiven weitergeführt werden können. Ferner wurde eine Leistungsfähigkeit verlangt, welche nur durch Züge von je zehn Wagen in drei Minuten Zeitfolge erreichbar ist. Endlich sollten naturgemäß gegenüber dem derzeitigen Dampf betriebe nachweisbare Betriebsvorthelle erzielt werden. Das der Probeausführung zugrunde gelegte Project lässt sich in Kürze folgendermaßen darstellen:

Der Betrieb soll mit einzelnen Zuggruppen von je vier bis fünf Wagen mit ungefähr je 50 Personen Fassungsraum, ähnlich den jetzigen Stadtbahnwagen, bewerkstelligt werden. Diese elektromotorisch angetriebenen Zuggruppen haben an beiden Enden Führerräume, von welchen aus sie nach jeder Richtung hin betreibbar sind. Wenn nun ein stärkerer Andrang von Fahrgästen durch die in etwa drei Minuten Zwischenzeit einander folgenden derartigen Zuggruppen nicht mehr bewältigt werden kann, so werden je zwei solche Zuggruppen einfach gekuppelt und von dem Führer an der Spitze der ersten Wagengruppe ebenso beherrscht, als ob nur eine einzige Zuggruppe vorhanden wäre. Der Führer hat nichts anderes zu thun, als eine Walze, welche bisher auf Stellung 1 gestanden war, nunmehr auf Stellung 2 zu stellen, und bewirkt nunmehr mit denselben Handgriffen, mit welchen er sonst eine Zuggruppe führt, dieselbe Wirkung und auch dieselbe Geschwindigkeit bei zwei Zuggruppen. Dasselbe kann noch auf drei Zuggruppen ausgedehnt werden.

Als Motoren werden Nebenschlussmotoren verwendet, welche unmittelbar um die Achse gebaut sind und den Vortheil bieten, dass bei dem Bremsen sowie bei den Thalfahrten ein Arbeitsrückgewinn stattfindet.

Die Stromzuführung erfolgt durch eine Stromzuführungsschiene in der Mitte der Fahrschienen. Der Stromabnehmer wird von einem besonderen Rahmen getragen, welcher die nicht motorisch angetriebenen Achsen umfasst.

Die Versuche mit zwei Zuggruppen sind dem Abschlusse nahe, und es ist zu hoffen, dass die Vortheile der elektrischen Betriebsweise derart bedeutende sein werden, dass an die Einführung des elektrischen Betriebes bei den stark befahrenen Linien der Wiener Stadtbahn geschritten werden wird.

Der elektrische Betrieb der Wiener Stadtbahn kann bereits als ein Vollbahnbetrieb angesehen werden, nachdem die Wiener Stadtbahn als Vollbahn gebaut ist.

Es lässt sich aber noch eine große Zahl von Beispielen anführen, in welchen der elektrische Betrieb auf Vollbahnen Anwendung gefunden hat.

Die Franzosen haben schon im Jahre 1894 begonnen, den elektrischen Betrieb auf Vollbahnen einzuführen, indem sie die bekannte Heilmann-Locomotive erbauten. Der Grundgedanke dieser Locomotive besteht darin, dass die Locomotive eine Stromerzeugungsanlage beherbergt, von welcher aus die Arbeitsübertragung auf beliebig viele Treibachsen stattfinden kann, indem dieselben mittels Elektromotoren angetrieben werden. Die Nachteile dieser Locomotive sind auf der Hand liegend; die große Last der Stromerzeugungsanlage sammt dem Vorrathe an Kohlen und Wasser müssen ganz unnöthig mitgeschleppt werden, und die Erzeugung des Stromes findet in höchst unvortheilhafter Weise statt. Ähnliche Mängel weisen die mehrfach angewendeten Accumulatorenlocomotiven auf, welche daher auch nur in vereinzelt

Fällen Anwendung finden können, so lange die Aufspeicherung elektrischer Arbeit so bedeutende Gewichte erfordert und so große Kosten verursacht wie bisher.

Weit mehr Aussicht auf unmittelbare Anwendung bieten jene Locomotiven, welche den Strom aus einer Stromerzeugungsanlage durch Stromzuführleitungen entnehmen.

Unter diesen sind die elektrischen Locomotiven der Baltimore- und Ohio-Bahn zu erwähnen, welche dazu bestimmt sind, Personen- und Frachtzüge durch einen 2250 m langen Tunnel zu befördern, und durch welche die Nachteile des Dampf betriebes im Tunnel vermieden werden. Diese Locomotiven wurden von der General Electric Co. hergestellt und kamen schon im Jahre 1897 in Betrieb, welcher bisher anstandslos verlief. Diese Locomotiven werden mit Gleichstrom von 600 bis 700 Volt betrieben, und sie entnehmen die erforderliche Stromstärke von 1800 bis 2200 Amp. einer an der Tunneldecke angebrachten Oberleitung.

Die Verwendung einer Locomotive war bei der Baltimore- und Ohio-Bahn durch die Umstände bedingt, dass die elektrischen Locomotiven die mit Dampf locomotiven zugeführten Züge mit oder ohne Dampf locomotiven nur auf eine kurze Strecke zu befördern haben. Wenn es sich dagegen nicht um derartige besondere Fälle handelt, wird es sich wohl meistens vortheilhafter erweisen, auch beim Vollbahnbetriebe von Locomotiven abzusehen und die elektrischen Züge aus Motorwagen und Beiwagen zusammenzusetzen.

Einen derartigen Betrieb weist die Wannseebahn bei Berlin auf, indem der dem elektrischen Probebetriebe dienende Zug aus zwei Motorwagen und acht dazwischen befindlichen Beiwagen besteht, welcher Zug von jedem Ende bethätigt werden kann. Der Betrieb erfolgt auch hier mit Gleichstrom, welcher aus einer seitlich den Fahrschienen angebrachten Oberleitung mittels Contactschuhen entnommen wird.

Die Zuführung der bei elektrischen Bahnen mit Gleichstrom betriebenen gewaltigen Ströme macht bedeutende Schwierigkeiten und Kosten, insbesondere sobald die Bahn größere Ausdehnung besitzt. Es machte sich daher schon frühzeitig das Bestreben geltend, durch Anwendung des hochgespannten Drehstromes den elektrischen Betrieb für Vollbahnen besser geeignet zu machen.

Die Lösung dieser Aufgabe forderte aber die Schaffung einer großen Anzahl von Neuerungen, vor allem musste der Drehstrommotor für Bahnbetriebszwecke geeignet gemacht werden, und es mussten Schaltungen und Anordnungen zur Veränderung der Umdrehungszahl, zum Einschalten und Ausschalten gefunden werden. Außerdem bedurfte es einer geeigneten Art der Stromzuführung, welche gestattet, Strom von hoher Spannung zuzuführen, und welche auch bei großen Geschwindigkeiten anwendbar sein musste.

Es ist ein Verdienst des Herrn Wilhelm v. Siemens, in dieser Richtung vorangegangen zu sein, und es ist seiner Anregung zu danken, dass schon im Jahre 1892 eine mit Drehstrom betriebene Versuchsbahn auf dem Grundstücke des Wernerwerkes in Charlottenburg hergestellt wurde. Diese Versuche wurden dem preußischen Ministerium vorgeführt, damit dasselbe gestatte, dass eine vorhandene Bahnstrecke auf Drehstrombetrieb umgebaut und so der zukunftsreichen Anwendung des Drehstrombetriebes auf Vollbahnen die unbedingt nothwendige behördliche Förderung zu theil werde. Wieder waren es aber eine Anzahl behördlicher Bedenken, welche dieses Vorhaben vereitelten und die Firma Siemens & Halske außerstande setzten, diesen wichtigen Fortschritt zu jener Zeit durchzuführen.

Als im Laufe der Zeit immer mehr die Erkenntnis gewonnen wurde, dass dem Drehstrombetriebe eine große Zukunft gebürt, und als durch die Firma Brown, Boveri & Co. die Straßenbahn in Lugano mit Drehstrom ge-

baut wurde, entschloss sich Siemens & Halske im Jahre 1897, eine 3 km lange Probestrecke in Lichterfelde zu bauen, und setzte diese Bahn mit Anwendung von 10.000 Volt Drehstrom im Juni 1899 in Betrieb. Das Ergebnis dieser Versuchsbahn war der Nachweis, dass es möglich sei, eine Leitungsanlage für Drehstrom von so hoher Spannung und geeignet zur Stromabgabe bei sehr hoher Geschwindigkeit herzustellen und die zugeführte hohe Spannung in dem Betriebsmittel, hier eine Locomotive, ohne Gefahr für den Führer in niedrige Gebrauchsspannung umzuwandeln und zur zufriedenstellenden Dienstleistung heranzuziehen.

Im selben Jahre 1899 wurde von der Firma Brown Boveri & Co. die 40 km lange Vollbahn von Burgdorf nach Thun ebenfalls unter Anwendung des Drehstromes in Betrieb gesetzt. Die ursprünglich gehegte Absicht, eine hohe Gebrauchsspannung anzuwenden, scheiterte an behördlichen Vorschriften, und es musste daher der Primärstrom von 16.000 Volt verketteter Spannung in feststehenden Transformatoren auf die behördlich zugelassene höchste Spannung von 750 Volt herabtransformiert werden. Bei dieser ersten mit Drehstrom betriebenen Vollbahn wurden sowohl Locomotiven als Motorwagen angewendet.

In Oesterreich-Ungarn wurde der Drehstrombetrieb für Vollbahnen bereits im Jahre 1898 angebahnt, indem die Firma Ganz & Co. damals ein Offert für den Betrieb der Valtellina-Bahn mit Drehstrom von 15.000 Volt Primärspannung und 3000 Volt Gebrauchsspannung ausarbeitete, welches im Jahre 1899 zu einem Verträge bezüglich Ausführung dieser Bahn führte. Um das diesem Projecte zugrunde gelegte System in allen Einzelheiten und in seiner Gesamtheit zu erproben, wurde noch im Jahre 1899 von der Firma Ganz & Co. eine 1/2 km lange Probefahrt auf der Donauinsel in Altöfen in Betrieb gesetzt, welche die Durchführbarkeit des geplanten Systemes in längerem Betriebe erwies. Mittlerweile ist nach diesem Systeme sowohl die Valtellina-Bahn als auch eine kleine für Schlepp- und Rangierzwecke dienende Werkbahn der k. u. k. Munitionsfabrik in Wöllersdorf ausgeführt worden.

Die ausgeführten Drehstrombahnen erbrachten den Beweis, dass die Elektrotechnik nunmehr über die Mittel verfüge, auch Fernbahnen elektrisch zu betreiben, und die Möglichkeit biete, Geschwindigkeiten anzuwenden, welche durch andere Betriebsweisen nicht erreichbar sind.

Es war daher kein Hindernis mehr vorhanden, an die Ausführung eines schon im Jahre 1892 von dem damaligen Director der Firma Ganz & Co., dem nunmehrigen Professor Ziperowsky, vorgetragenen Gedankens der Schaffung besonderer elektrischer Schnellbahnen zwischen Städten von regen Verkehrsbeziehungen zu schreiten.

Die bisher in der Entwicklung der elektrischen Bahnen gemachten Erfahrungen ließen aber erkennen, dass an die unmittelbare Ausführung solcher Bahnen nicht zu denken sei, so lange nicht durch praktische Versuche der Nachweis der Ausführungsmöglichkeit erbracht und praktische Erfahrungen gesammelt seien. Um diesen Nachweis zu erbringen und diese Erfahrungen zu sammeln, hat sich die Studiengesellschaft für elektrische Schnellbahnen mit ihrem Sitze in Berlin gebildet, welche, von opferwilligen Banken und hervorragenden elektrotechnischen Firmen gegründet, die Unterstützung aller in Betracht kommenden Behörden und die Mithilfe der hervorragendsten Fachmänner des Deutschen Reiches genießt. Dieser Studiengesellschaft wurde es gestattet, auf einem 23 km langen Theile der königl. Militärbahn zwischen Marienfelde und Zossen ihre Versuche auszuführen. Wie allgemein bekannt, wurde entlang dieser Bahnstrecke eine Drehstrom-Leitungsanlage ähnlich jener von Lichterfelde hergestellt, und es wurden zwei Motorwagen, u. zw. einer von der Siemens &

Halske A.-G. und einer von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin, ausgeführt und in Versuch genommen. Die im November 1901 durchgeführten Versuche mussten bei einer Geschwindigkeit von 160 km/Std abgebrochen werden, da der Oberbau einer Steigerung der Geschwindigkeit nicht gewachsen schien. Es ist jedoch zu erwarten, dass im laufenden Jahre diese Versuche fortgeführt werden, und zu wünschen, dass den Versuchen bald eine wirkliche Nutzenanwendung der elektrischen Schnellbahnen folgen wird, welche, wie es scheint, berufen sind, der erfolgreichen Entwicklung der elektrischen Bahnen die Krone aufzusetzen und eine bedeutende, noch gar nicht geahnte Entwicklung des Verkehres herbeizuführen.

Wenn von der Entwicklung der elektrischen Bahnen gesprochen wird, so muss die Steigerung der Geschwindigkeit besonders hervorgehoben werden, welche durch elektrische Betriebsweise erzielbar ist. Zufolge dieser Geschwindigkeitssteigerung ist ein sehr bedeutender Zeitgewinn für die Fahrgäste erreichbar, durch welchen die elektrischen Bahnen einen hohen volkswirtschaftlichen Wert erlangt haben. Dieser Zeitgewinn wird bei den elektrischen Bahnen einerseits durch eine häufige Wagen- oder Zugfolge, andererseits durch die Erzielung einer raschen Anfahrbeschleunigung und endlich durch die Erreichung einer gesteigerten Höchstgeschwindigkeit herbeigeführt. Der Einfluss dieser Mittel zur Erzielung des Zeitgewinnes lässt sich am besten an einer Schaulinie erkennen, in welcher der zurückgelegte Weg als Function der Zeit in einer sogen. Zeitweglinie dargestellt ist.

Wir wollen an der Hand solcher Linien den Vortheil des elektrischen Betriebes hinsichtlich Zeitgewinn für jene Fälle darstellen, für welche der elektrische Betrieb in erster Reihe in Betracht kommt, das ist für Straßenbahnbetrieb und für Stadtbahnbetrieb.

Die Umwandlung der Wiener Straßenbahnen vom Pferdebetriebe in elektrischen Betrieb hat sich erst kürzlich vor unseren Augen vollzogen, und es werden allgemein die Vortheile der elektrischen Betriebsweise, insbesondere hinsichtlich Geschwindigkeit, anerkannt, so dass es nicht nöthig wäre, dieselben noch durch Rechnung oder Zeichnung zu erweisen. Immerhin aber bietet es Interesse, zu zeigen, wie die einzelnen Umstände an der Erzielung einer erhöhten Gesamtgeschwindigkeit mitwirken.

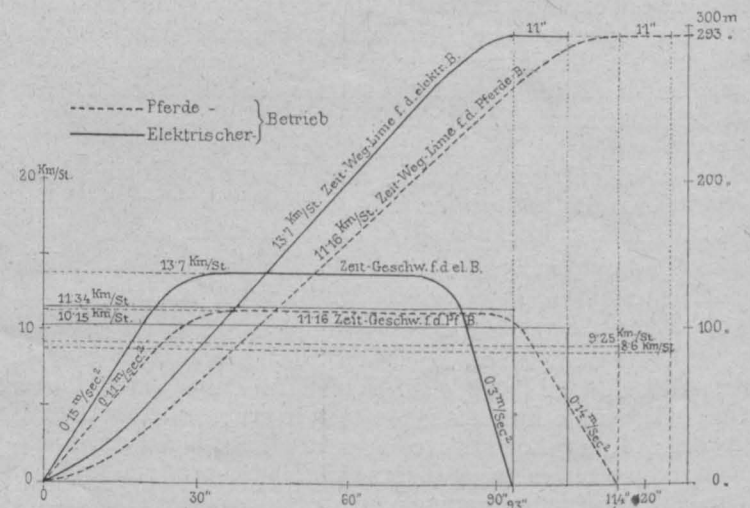


Fig. 2. Straßenbahnen Wien.

Dies lässt sich aus der in Fig. 2 gegebenen Darstellung erkennen, in welcher für eine Durchschnitts-Theilstrecke der Wiener Straßenbahn sowohl für den ehemaligen Pferdebetrieb als auch für den nunmehrigen elektrischen Betrieb eine Zeitweglinie und eine Zeitgeschwindigkeitslinie gezeichnet wurde.

Die mittlere Länge einer Theilstrecke, also die mittlere Entfernung zweier Haltestellen auf dem Wiener Straßenbahnnetze beträgt derzeit 293 m. Die Länge dieser Theilstrecke wurde im Pferdebetriebe im Durchschnitte in 114 Secunden zurückgelegt, während im elektrischen Betriebe für diese Strecke 93 Secunden benötigt werden, wobei jene Geschwindigkeit zugrunde gelegt ist, welche im Durchschnitte bei allen Linien thatsächlich auf Grund behördlich genehmigter Fahrpläne erreicht wird. Die durchschnittliche Geschwindigkeit betrug demnach beim Pferdebetriebe ohne Einrechnung der Aufenthalte in den Haltestellen 9.25 km/Std., während beim elektrischen Betriebe 11.34 km/Std. erreicht wurden. Rechnet man die Aufenthalte in den Haltestellen hinzu, welche derzeit im Durchschnitte 11 Secunden betragen, so erhält man als durchschnittliche Gesamtgeschwindigkeit beim Pferdebetriebe 8.6 km/Std., beim elektrischen Betriebe 10.15 km/Std.

Die durch den elektrischen Betrieb erzielbare Zeitersparnis bei Zurücklegung mehrerer Theilstrecken hintereinander ersieht man aus Fig. 4, in welcher neben der Zeitweglinie des Pferdebetriebes jene des elektrischen Betriebes gezeichnet ist.

Wir wollen nun untersuchen, welchen volkswirtschaftlichen Wert diese Zeitersparnis bedeutet.

Im letzten Jahre wurden rund 108 Millionen Fahrgäste befördert. Wenn wir nun ermitteln oder schätzen können, wieviel Kilometer durchschnittlich jeder Fahrgast zurücklegt, so sind wir in der Lage, zu berechnen, wie viel Personenminuten im Jahre durch den elektrischen Betrieb erspart werden.

Nach einer aus dem Verhältnisse der verausgabten Zehn-Heller- und Zwanzig-Heller-Karten sowie aus anderen Erhebungen geschöpften Schätzung legt jeder Fahrgast durchschnittlich ungefähr 4 km bei einer Fahrt zurück. Für diese Strecke ergibt sich ein Zeitgewinn von rund 4.5 Min., es werden somit im Jahre 486 Millionen Personenminuten oder rund 8 Millionen Personenstunden gewonnen. Rechnet man, dass von den 1,600,000 Einwohnern Wiens 300,000 Kinder, Greise und Kranke nicht in Betracht kommen, so dass also 1,300,000 Personen der größeren Geschwindigkeit theilhaftig werden, so erkennt man, dass im Jahresdurchschnitt jeder in Betracht kommende Einwohner Wiens rund 6 Stunden, also den vierten Theil eines Tages erspart, oder dass, die Personenstunde mit durchschnittlich 30 Heller berechnet, jährlich 2.4 Millionen Kronen an Wert der ersparten Zeit gewonnen wird.

Außer dem auf solche Weise ermittelten bedeutenden Zeitgewinn und dem hervorragenden volkswirtschaftlichen Werte desselben wäre noch die volkswirtschaftliche Bedeutung der anderen Einflüsse der elektrischen Betriebsweise zu erwähnen. Also der Vortheil der guten Beleuchtung der Wagen, welche es thatsächlich jedem Fahrgaste ermöglicht, seine Zeitung zu lesen, ferner die Möglichkeit der Ueberwindung großer Entfernungen, die hiedurch erzielte Bewegungsfreiheit, welche es gestattet, die Wohnung außerhalb der Stadt in gesunder Luft und dem lärmenden Getriebe der Stadt entrückt zu nehmen, die Vermeidung aller sanitären Uebelstände des animalischen Betriebes u. s. w., u. s. w.

Es ist naheliegend, eine Erwägung darüber anzustellen, ob und welche Vortheile die elektrische Betriebsweise für unsere Wiener Stadtbahn bringen kann, und ob es nicht möglich wäre, durch die elektrische Betriebsweise eine große Zahl der berechtigten Klagen, welche über den Wiener Stadtbahnbetrieb laut wurden, zu beseitigen.

Ueber die Frage, welche Geschwindigkeit durch elektrische Betriebsweise auf der Wiener Stadtbahn erzielbar wäre, gibt die Schaulinie in Fig. 3 Aufschluss. In derselben ist vorerst strichliert gezeichnet die Zeitweglinie und Zeitgeschwindigkeitslinie des derzeitigen Dampfbetriebes eingetragen.

Dank der mustergiltigen und allseits als vorzüglich anerkannten Stadtbahn-Locomotiven ließe sich in der Horizontalen eine Beschleunigung des 10-Wagenzuges mit 0.25 m/Sec.² erzielen, indem die bedeutende Zugkraft der Locomotiven im Betrage von 8500 kg hiezu mehr als ausreicht und das vorhandene Adhäsionsgewicht von 43 t bei den drei Triebachsen und bei schlechtem Zustande der Schienen (Adhäsionscoefficient 1/7) eben noch diese Beschleunigung ermöglicht. Bei dem thatsächlichen Betriebe wird jedoch eine mittlere Beschleunigung von nur 0.17 m/Sec.² erzielt. Mit dieser Beschleunigung wird die Geschwindigkeit so lange gesteigert, bis etwa 34 km/Std. erreicht werden, und es wird sodann beim Bremsen mit 0.38 m/Sec.² verzögert. Dadurch ergibt sich eine mittlere Geschwindigkeit einschließlich der Aufenthalte von etwas über 20 km/Std. Bei elektrischem Betriebe der Wiener Stadtbahn ließe sich eine weitaus höhere Beschleunigung erreichen, nachdem beliebig viele Achsen angetrieben werden können und durch die erzielbare hohe Adhäsion die Anfahrbeschleunigung bis zur Grenze der Radreibung aller Achsen gesteigert werden kann.

Legt man für die Beschleunigung nur die Hälfte jenes Wertes zugrunde, welcher bei der elektrisch be-

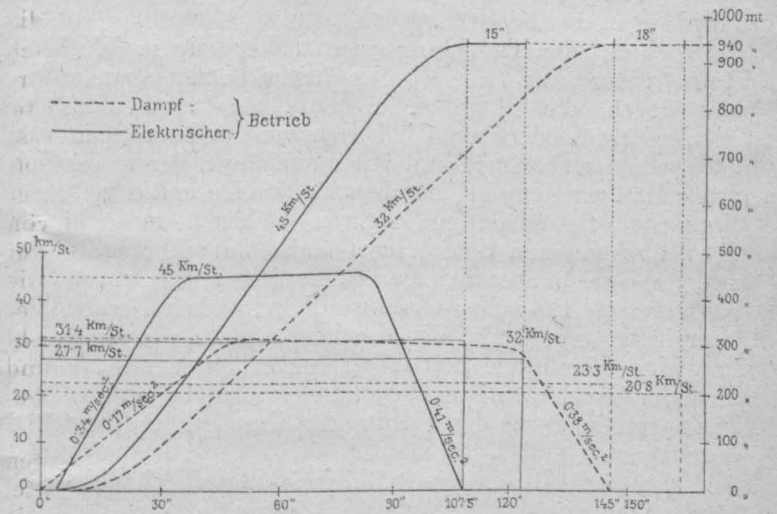


Fig. 3. Stadtbahn Wien.

triebenen Elberfeld-Barmer Schwebebahn sowie bei der Berliner elektrischen Hoch- und Untergrundbahn erreicht ist, nämlich $0.34 = \frac{1}{2} 0.68 \text{ m/Sec.}^2$, und geht man auch in der Bremsverzögerung nur auf die Hälfte des zulässigen äußersten Maßes, nämlich auf 0.41 m/Sec.^2 , so kann man bei einer Höchstgeschwindigkeit von 45 km/Std. die mittlere Entfernung der Haltestellen von 940 m bei elektrischem Betriebe schon in 107 Secunden zurücklegen, und man würde dadurch an Fahrzeit allein für eine Theilstrecke $37\frac{1}{2}$ Secunden ersparen. Rechnet man ferner bei dem elektrischen Betriebe zufolge der häufigen Zugfolge und dementsprechend geringeren Anzahl von ein- und aussteigenden Fahrgästen nur eine durchschnittliche Aufenthaltsdauer von 15 Secunden für jede Haltestelle gegenüber 18 Secunden bei Dampfbetriebe, so würden für jede Theilstrecke etwa 40 Secunden gewonnen werden.

Einen ebenso wichtigen Vortheil würde man durch Einführung einer rascheren Zugfolge erzielen, welche bei elektrischem Betriebe in vortheilhafter Weise möglich wäre.

Beim Dampfbetriebe verkehrt derzeit nach dem Winterfahrplane im Tagesdurchschnitte alle 7 Minuten ein Zug. Bei elektrischem Betriebe könnte die Zugfolge leicht auf 3 Minuten ermäßigt werden. Demzufolge würde auf jeden Fahrgast durchschnittlich eine Wartezeit von $1\frac{1}{2}$ Minuten statt $3\frac{1}{2}$ Minuten beim Dampfbetriebe entfallen.

Durch alle diese Umstände würde im Durchschnitte für jeden Fahrgast eine Zeitersparnis von 5 Minuten 40 Sekunden erzielbar sein, soferne ein Fahrgast im Durchschnitte 5 km zurücklegt.

Bedenkt man noch, welche Vortheile durch Vermeidung des Rauches und Dampfes, durch Ermöglichung einer guten Beleuchtung, durch Einführung einer leicht regelbaren Beheizung u. s. w. zu erzielen wären, so erkennt man, welche große Vortheile die elektrische Betriebsweise der Wiener Stadtbahn bieten würde.

Aber nicht allein Straßen- und Stadtbahnen können durch den elektrischen Betrieb verbessert und insbesondere in ihrer Geschwindigkeit gesteigert werden, sondern auch bei Fernbahnen lässt sich eine bedeutende Geschwindigkeitssteigerung durch elektrischen Betrieb erzielen, indem die Elektromotoren zufolge ihrer drehenden Bewegung befähigt sind, weit höhere Geschwindigkeiten zu erreichen, als dies irgend ein Motor mit hin- und hergehender Bewegung gestatten würde.

Nachdem man bis vor wenig Jahren zum Betriebe der elektrischen Bahnen ausschließlich Gleichstrom von 500 bis 600 Volt Spannung anwendete, war man in der Beherrschung der Entfernungen beschränkt und konnte nicht daran denken, den elektrischen Betrieb auch auf Fernbahnen auszudehnen.

Durch die Benützung von mehrphasigem Wechselstrom unter Anwendung sehr hoher Betriebsspannungen und durch die Möglichkeit, denselben vortheilhaft in Wechselstrom oder in Gleichstrom von niedriger Spannung umwandeln zu können, sind wir nunmehr in der Lage, auch große Entfernungen beherrschen zu können und demzufolge einerseits die schon in engeren Gebieten ausgeführten Straßenbahnen und Stadtbahnen auch auf sehr weit verzweigte Gebiete auszudehnen, andererseits unter Anwendung ganz besonders hoher Geschwindigkeit auch Fernbahnen zu errichten, sogenannte Schnellbahnen, welche, wie wir hoffen, in nicht allzuferner Zeit die Hauptverkehrspunkte untereinander verbinden und gestatten werden, große Entfernungen in etwa der Hälfte der heutigen Fahrzeit zu durchmessen.

Die erhoffte Leistungsfähigkeit dieser Schnellbahnen lässt sich aus der bezüglichlichen Zeitweglinie in Fig. 4 erkennen, welche zeigt, welches weite Ziel schon heute angestrebt wird und in nicht allzuferner Zukunft erreicht sein dürfte.

In nachstehender Zusammenstellung sind die den Schaulinien zugrunde liegenden Werte und Annahmen Gegenüberstellung der den Schaulinien zugrunde liegenden Werte, bezw. Annahmen.

Bahn	Straßenbahn		Stadtbahn		Fernbahn
	Pferdebahn	elektr. Bahn	Dampfbahn	elektr. Bahn	
Durchschnittliche Länge einer Theilstrecke, d. i. mittlere Entfernung zweier Haltestellen m	293	293	940	940	—
Mittlere Fahrzeit für eine Theilstrecke Sec.	114"	93"	145"	[107.5"]	—
Mittlere Aufenthaltsdauer Sec.	11"	11"	18"	[15"]	—
Zugsfolge Min.	—	—	3 1/2'	[1 1/2']	—
Anfahrtsbeschleunigung m/Sec. ²	0.11	0.15	0.17	[0.34]	0.38
Bremsverzögerung . . m. Sec. ²	0.14	0.3	0.38	[0.41]	1.23
Höchste Geschwindigkeit km/St.	11.16	13.7	32	[45]	[200]
Durchschnittliche Geschwindigkeit ohne Aufenthalt in km/St.	9.25	11.34	23.3	[31.4]	—
Durchschnittliche Geschwindigkeit mit Aufenthalt in km/St.	8.6	10.15	20.8	[27.7]	—

Anmerkung. Die nicht wirklich erreichten Werte, sondern auf Annahmen beruhenden Zahlen sind in [] gesetzt.

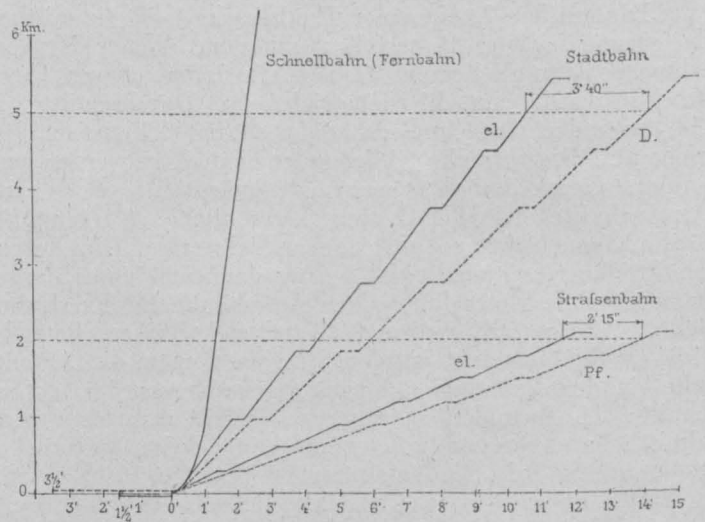


Fig. 4.

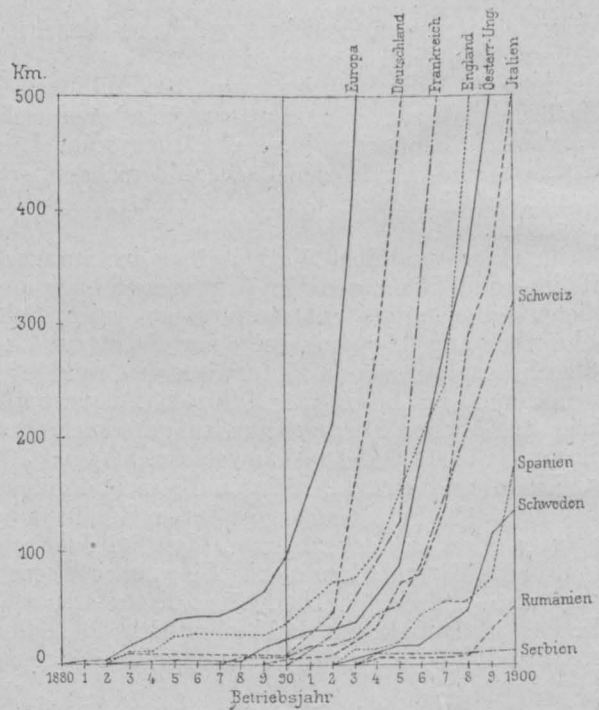


Fig. 5.

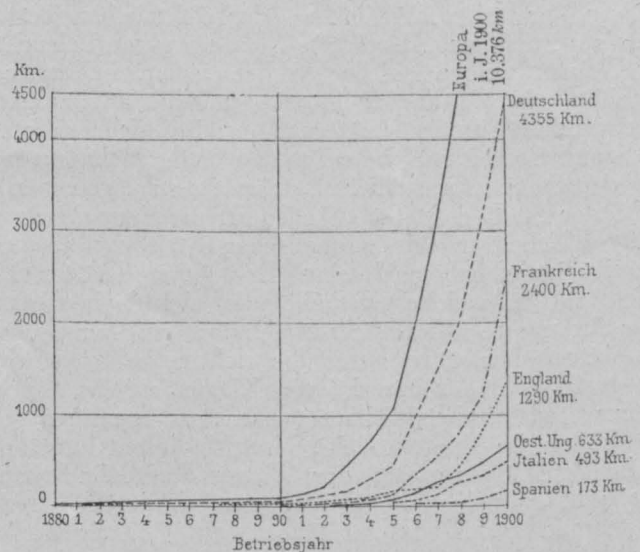


Fig. 6.

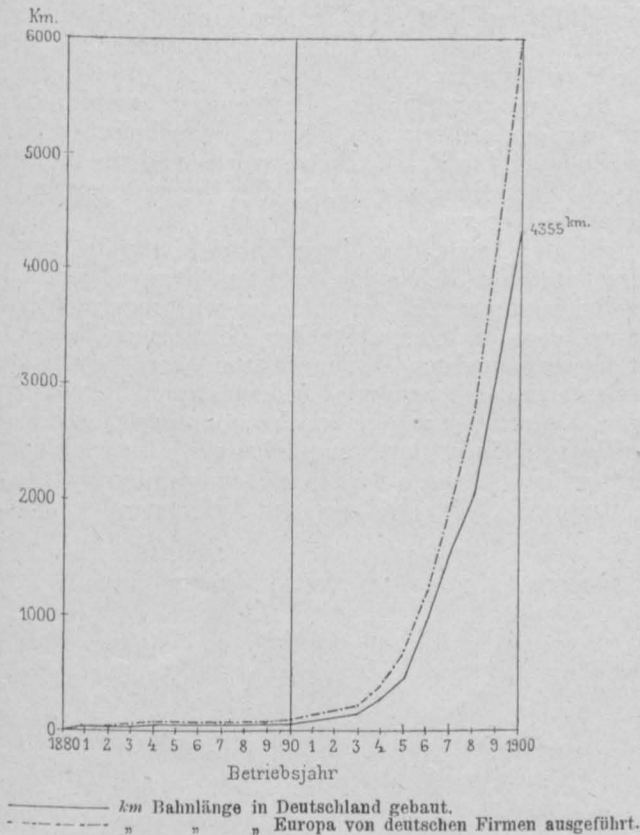


Fig. 7.

einander gegenübergestellt. Aus dieser Zusammenstellung und aus Fig. 4 erkennt man in deutlicher Weise die durch die elektrischen Bahnen erzielten großen Erfolge als ein anschauliches Ergebnis der Entwicklung derselben.

Es sei zum Schlusse gestattet darzuthun, wie sich die einzelnen Culturstaaten passiv wie activ an der Entwicklung der elektrischen Bahnen beteiligt haben; passiv, indem sie das Feld der Entwicklung geboten haben, activ,

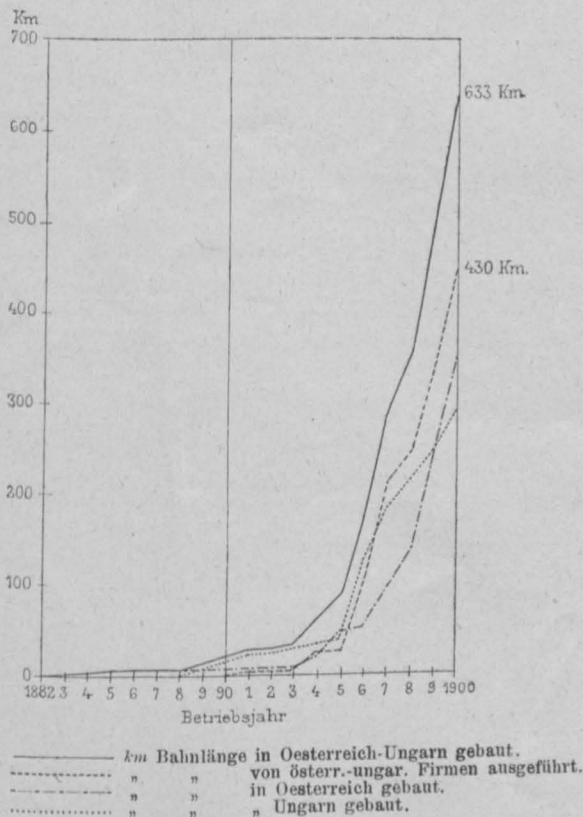


Fig. 8.

indem sie selbst die Entwicklung durch industrielle Thätigkeit förderten. Aus Fig. 5 und 6 kann man die kilometrische Länge der in den einzelnen Ländern in den Jahren 1880 bis 1900 ausgeführten elektrischen Bahnen entnehmen und daraus die große Ueberlegenheit Deutschlands erkennen, welches, stets vorausschreitend, im Jahre 1900 beinahe die Hälfte aller europäischen Bahnen aufweist.

Ganz besonders hat Deutschland die elektrischen Bahnen industriell gefördert, indem, wie aus Fig. 7 zu erkennen, von deutschen Firmen in Europa, andere Erdtheile gar nicht gerechnet, bis zum Jahre 1900 6000 km elektrische Bahnen ausgeführt wurden, so dass nahezu drei Fünftel aller europäischen elektrischen Bahnen von deutschen Firmen hergestellt wurden.

Weit weniger thätig war Oesterreich-Ungarn, welches nach Fig. 8 bis 1900 nur 633 km elektrische Bahnen besaß und hievon nur 430 km, also etwa den zehnten Theil

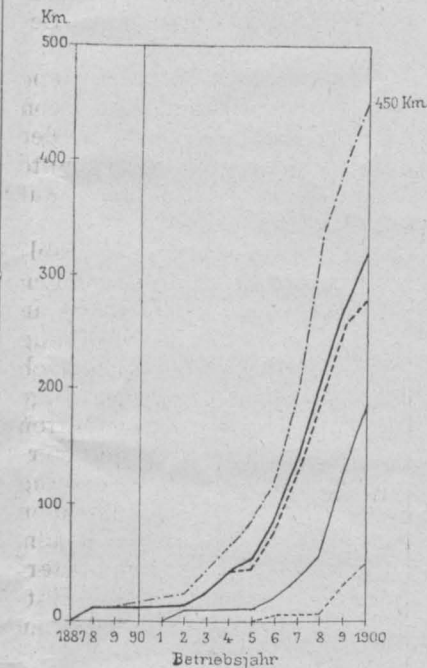


Fig. 9.

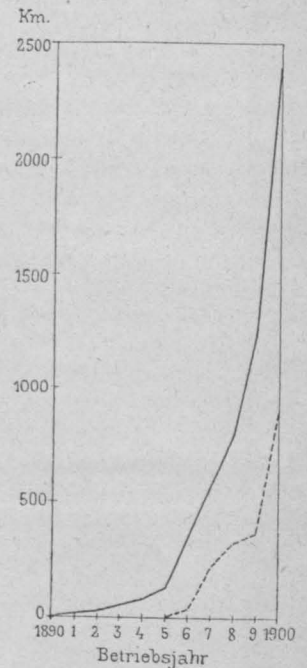


Fig. 10.

aller deutschen elektrischen Bahnen, durch inländische Firmen ausrüstete. Die österreichische elektrotechnische Industrie hat danach auf dem Gebiete der elektrischen Bahnen nur etwa den fünfzehnten Theil jener Leistung aufzuweisen, welche die deutsche elektrotechnische Industrie so gewaltig förderte. Aus Fig. 8 erkennt man auch, dass bis zum Jahre 1899 in Ungarn weit mehr Kilometer elektrischer Bahnen betrieben worden sind als in Oesterreich, und dass erst im Jahre 1900 die diesseitige Reichshälfte durch die Umwandlung der Wiener Tramway einen Vorsprung gewann.

Von allen europäischen Industriestaaten hat außer Deutschland nur die Schweiz exportierend gearbeitet, indem die elektrotechnische Industrie dieses kleinen Landes mehr Kilometer elektrischer Bahnen ausrüstete als jene Oesterreichs und fast eineinhalbmal so viel, als im eigenen Lande in Betrieb gebracht wurden.

In Russland entfaltete sich bisher auf dem Gebiete der elektrischen Bahnen trotz der daselbst obwaltenden gewiss sehr günstigen Verhältnisse eine sehr geringe Thätigkeit, denn, wie aus Fig. 9 ersichtlich ist, sind in diesem unermesslichen Reiche bis 1900 kaum 200 km elek-

trische Bahnen errichtet worden und kaum 50 km durch inländische Firmen ausgerüstet worden. Dieses Land bietet demnach zweifellos noch ein sehr weites Feld der Thätigkeit.

Die bis zum Jahre 1900 in Frankreich ausgeführten elektrischen Bahnen von zusammen nicht ganz 2500 km Länge (Fig. 10) wurden zum größeren Theile von ausländischen Firmen, und zwar vorwiegend mit amerikanischen Einrichtungen ausgerüstet; die Entwicklung der französischen Industrie hat aber gerade in dem letzten Jahre vor der Ausstellung einen gewaltigen Aufschwung genommen, so dass der Bedarf dieses Landes an elektrischen Bahnausrüstungen in Hinkunft wohl vorwiegend durch inländische Industrie gedeckt werden dürfte.

Wenn die vorstehend besprochenen Schaulinien auch nicht als streng zuverlässig betrachtet werden können, da sie nur nach den in den Zeitschriften erschienenen Veröffentlichungen zusammengestellt werden konnten, so geben sie doch ein annähernd zutreffendes und sehr übersicht-

liches Bild der Thätigkeit in den einzelnen Ländern und gestatten es gewiss, an dieselben vergleichende Betrachtungen zu knüpfen.

In den vorstehenden Darlegungen wurde die Entwicklung der elektrischen Bahnen in technischer Hinsicht, vom Standpunkte des Verkehrswesens und in industrieller Hinsicht dargethan, soweit sich dieselbe auf das abgelaufene Jahrhundert erstreckt.

Bedenkt man, dass diese Entwicklung in nur zwei Jahrzehnten vor sich gieng, und welch gewaltigen Umfang dieselbe in dieser Zeit erreichte, so wird man nicht leugnen können, dass die Geschichte der elektrischen Bahnen eines der hervorragenden Ruhmesblätter der Geschichte des abgelaufenen Jahrhunderts bedeute, und keinen Zweifel hegen können, dass die noch zum großen Theile dem künftigen Jahrhunderte vorbehaltene Entwicklung der elektrischen Bahnen auch dem kommenden Jahrhunderte ein weites Feld des Ruhmes und Erfolges offen lässt.

Über elektrische Kraftübertragung.

Vortrag, gehalten am 27. Jänner 1902 von Ingenieur **Friedrich Drexler.**

(Hiezu zwei Tafeln.)

Sehr geehrte Herren!

Eines der größten und interessantesten Kapitel der Elektrotechnik ist dasjenige der elektrischen Kraftübertragung. Für uns Ingenieure ist die elektrische Kraftübertragung noch wichtiger als die elektrische Beleuchtung, da die erstere in alle Zweige der Industrie, des Maschinenbaues und des Bauwesens so gewaltig eingegriffen hat, daß wir ihren Anwendungen schon überall begegnen.

Die Entwicklung der Kraftübertragung und Kraftverteilung ist in einem sehr raschen Tempo vor sich gegangen; die letzten zwanzig Jahre des abgelaufenen Jahrhunderts sind es gewesen, in denen sich dieser neue Industriezweig aus dem Stadium des bescheidenen Experimentes zu einer nie geträumten Höhe emporgeschwungen hat.

Insbesondere war es die Erfindung des Drehstromsystemes, welche der sich entwickelnden Kraftübertragung einen neuen Impuls gab und ihr die ganze Welt eroberte. Ein Glück war es zu nennen, daß diese nahezu gleichzeitige Erfindung mehrerer Konstrukteure der Hauptsache nach durch keine die Entwicklung hemmenden Patente geschützt war und infolgedessen die sämtlichen großen elektrotechnischen Fabriken an der Ausgestaltung dieser segensreichen und epochalen Erfindung mitarbeiten konnten.

Die erste elektrische Kraftübertragung zeigte Hippolyte Fontaine auf der Wiener Weltausstellung im Jahre 1873 mit zwei kleinen Gramme-Maschinen. Marcel Deprez war dagegen der erste, der anfangs der Achtzigerjahre Versuche auf größere Distanzen in Paris und in München unternahm. Der letztere Versuch fand im Jahre 1882 zwischen Miesbach und dem Münchener Ausstellungspalaste auf eine Entfernung von 57 km statt. Es wurde eine bestehende Telegraphenleitung benützt, welche eine Totallänge (hin und zurück) von 114 km besaß. Der erzielte Wirkungsgrad war nur ein sehr geringer, nämlich 25%, die verwendete Spannung 1300 Volt, welcher die Dynamos nach der damaligen Ausführung nicht Stand hielten; es sollte durch diesen Versuch nur die Möglichkeit gezeigt werden, Energie auf größere Entfernungen zu übertragen. Die weiteren Versuche Marcel Deprez' mit größeren Maschinen ergaben kein günstiges Resultat, da man damals noch nicht die Prinzipien kannte, nach welchen Dynamos gebaut werden müssen, um die Verluste möglichst klein zu machen. Erst Mitte der Achtzigerjahre wurden diese Prinzipien durch Hopkinson und Kapp festgestellt, und da war es Charles Brown von der Maschinenfabrik Oerlikon, welcher die erste praktisch verwertbare elektrische Kraftübertragung von 50 PS zwischen Kriegstetten und Solothurn übertragung von 50 PS zwischen Kriegstetten und Solothurn Betriebe einer Uhrenfabrik zuwege brachte. Die Entfernung war 8 km, der erzielte Wirkungsgrad 74%. Von dieser Zeit an wurden viele große Anlagen dieser Art,

hauptsächlich von der Maschinenfabrik Oerlikon, ausgeführt, wie denn überhaupt die Entwicklung der elektrischen Kraftübertragung von der Schweiz ausging, weil dieses Land der teureren Kohle wegen auf die Nutzbarmachung seiner großen Wasserkräfte angewiesen war.

Nachdem dann zu Ende der Achtzigerjahre die Anwendbarkeit des Drehfeldes durch Galileo Ferraris gezeigt und die praktische Ausgestaltung des Drehstromsystemes, namentlich durch die Berliner Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft durchgeführt wurde, war es diese Firma, welche im Vereine mit der Maschinenfabrik Oerlikon auf der Frankfurter Ausstellung 1891 einen Versuch im allergrößten Maßstabe zeigte, der die Möglichkeit der Übertragung großer Kräfte auf sehr große Distanzen unter Anwendung hochgespannter Ströme erwies. Es war dies die bekannte Kraftübertragung Lauffen-Frankfurt von 300 PS auf 175 km. Der Versuch gelang vollkommen und ergab an den Klemmen der Sekundärtransformatoren einen Wirkungsgrad von 74%. Die Drähte waren bloß 4 mm stark, die verwendete Spannung betrug 12.500 Volt und wurde versuchsweise sogar auf 25.000 Volt erhöht. Seit der Frankfurter Ausstellung hat sich die elektrische Kraftübertragung rasch entwickelt und verbreitet.

Wir wollen nun auf das Wesen einer Kraftübertragung im allgemeinen näher eingehen.

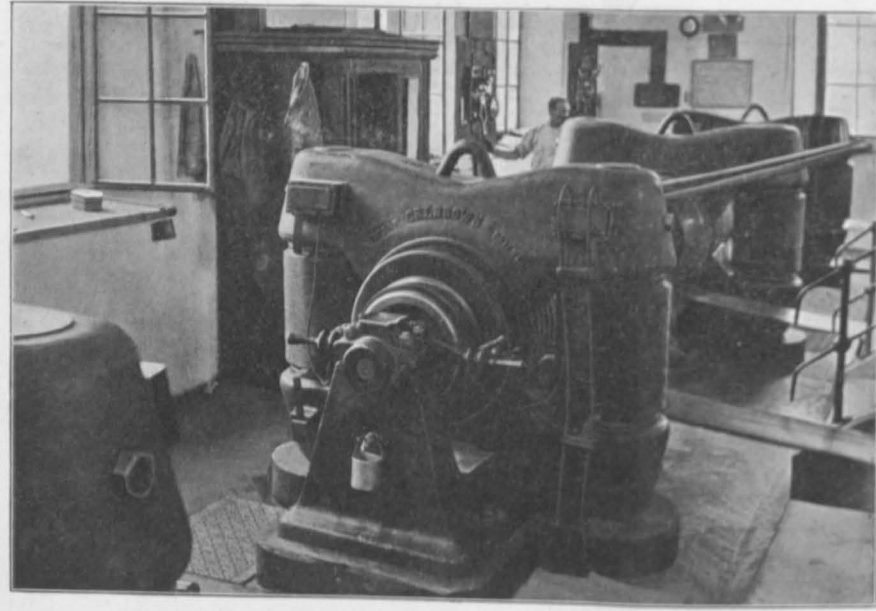
Mit Ausnahme derjenigen einfachsten Fälle, wo die Übertragung durch Riemen, Seile und Zahnräder auf relativ kleine Entfernung stattfindet, können wir bei allen Kraftübertragungsanlagen drei wesentliche Teile unterscheiden:

1. Den Mechanismus zur Kraftaufnahme,
2. das Organ zur Überführung der Kraft (die Leitung),
3. den Mechanismus zur Kraftabgabe.

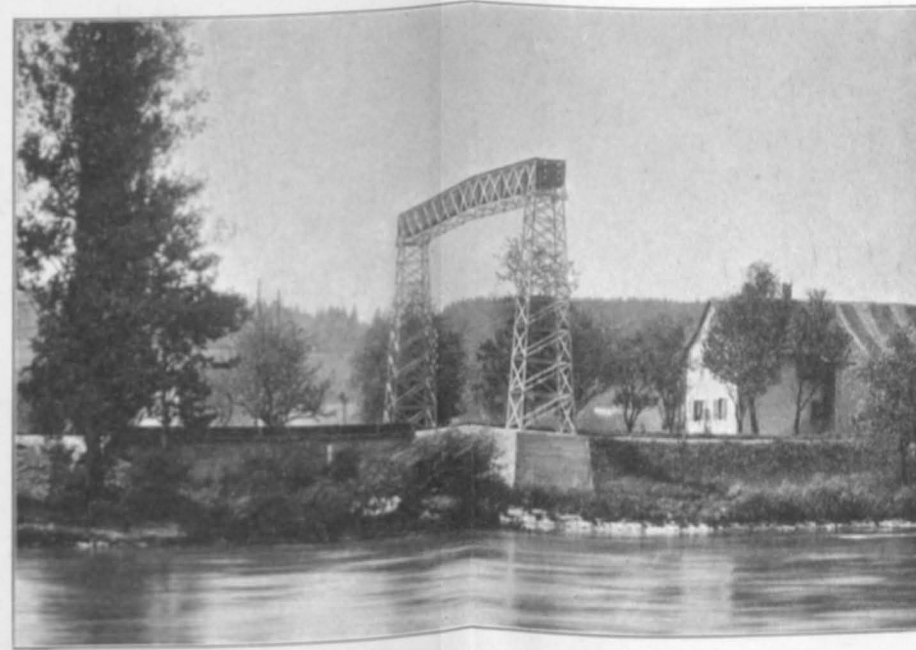
Die Einrichtung dieser drei Hauptteile richtet sich stets nach der Art des Mittels, welches wir zur Übertragung der Kraft benützen; wir können Druckluft, gespanntes Wasser oder Elektrizität in Anwendung bringen. Und wenn wir eine solche Einrichtung näher untersuchen, so finden wir, daß es die Umkehrbarkeit gewisser Mechanismen ist, welche uns die Übertragung einer Arbeit ermöglicht.

Denken wir uns ein Wasserschöpfrad durch irgend eine Betriebskraft gedreht; das Rad schöpft Wasser in eine höher gelegene Rinne, welche es mit geringem Gefälle auf ein zweites, ganz gleich gebautes Rad leitet; dieses letztere dreht sich infolge des mit ihm niedersinkenden Wassers und ist imstande, eine bestimmte Leistung an seiner Welle abzugeben. Das Gleiche kann man mit zwei Zentrifugalpumpen erreichen, von denen die eine angetrieben wird, und welche das Wasser der zweiten durch eine Rohrleitung zuführt; diese wird sich dann drehen und ähnlich wie eine Turbine wirken. Kolbenpumpen mit gesteuerten Ventilen sind ebenfalls

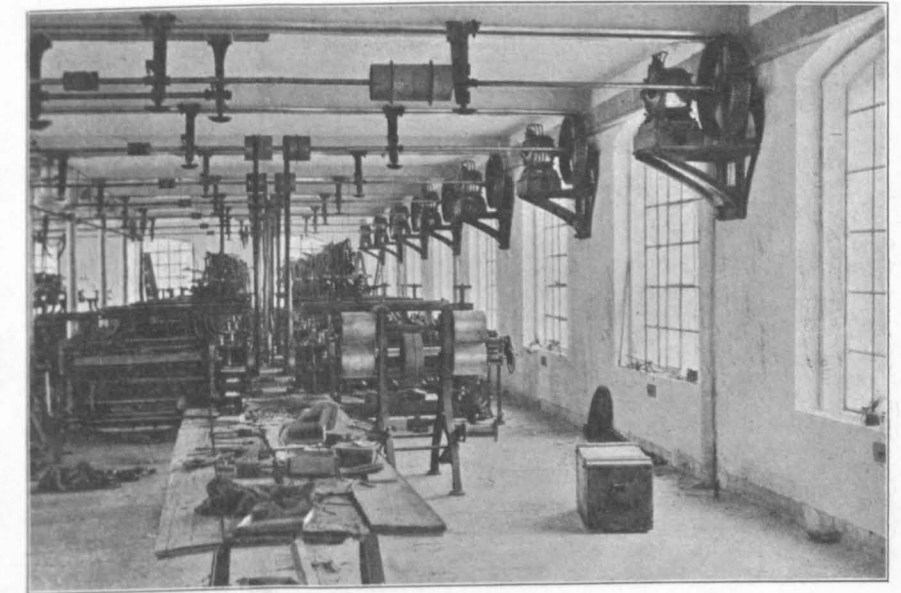
F. DREXLER: Elektrische Kraftübertragung.



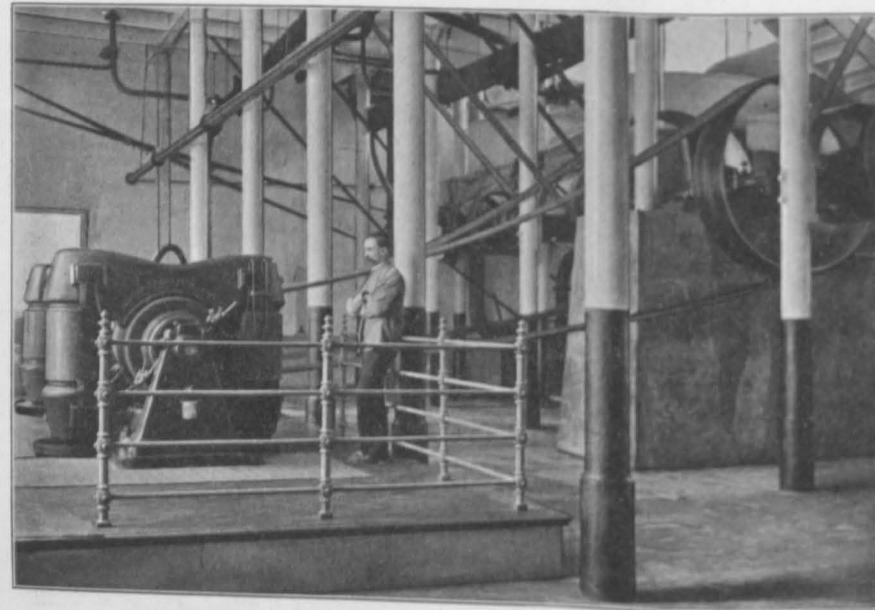
Primärstation der Papierfabrik Steyermühl. (Örlikon.)



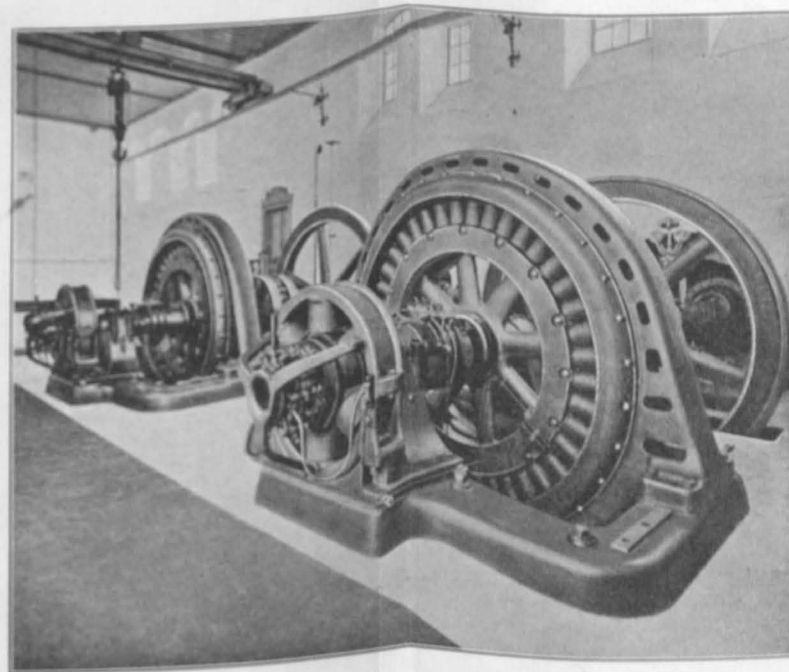
Kreuzung einer Hochspannungs-Leitung mit einer Bahn.



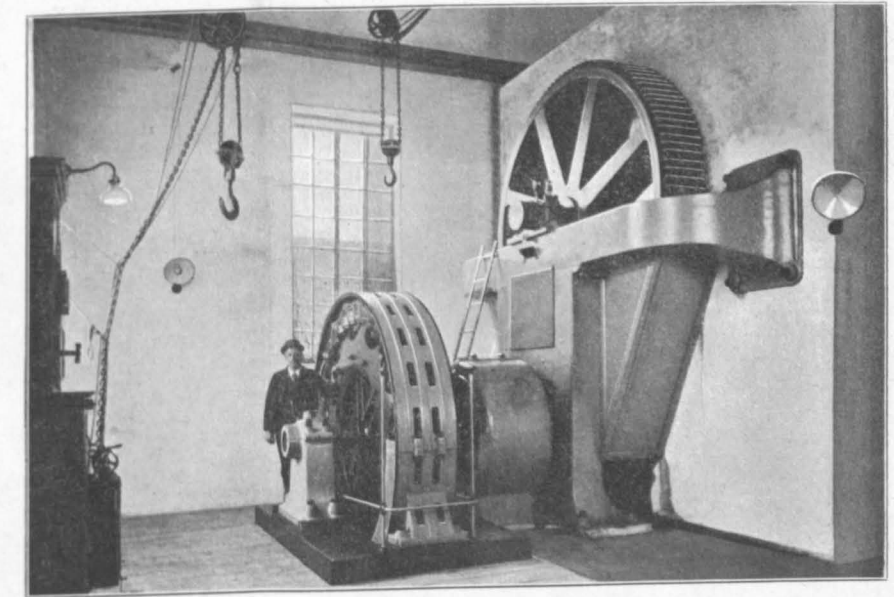
Elektrischer Transmissions-Antrieb eines Websaales. (Örlikon.)



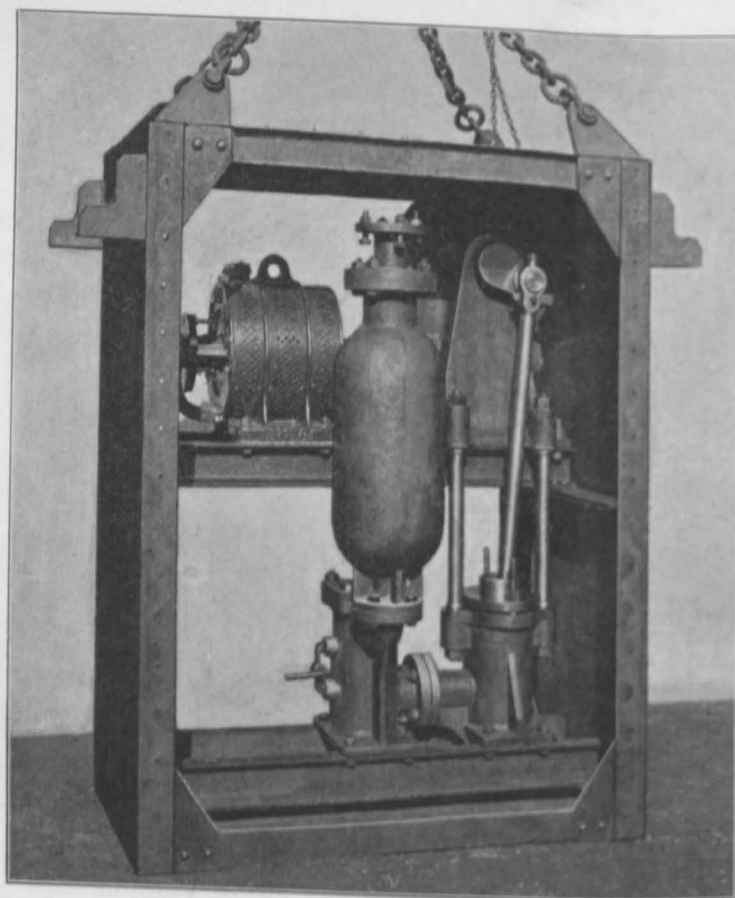
Sekundärstation der Papierfabrik Steyermühl. (Örlikon.)



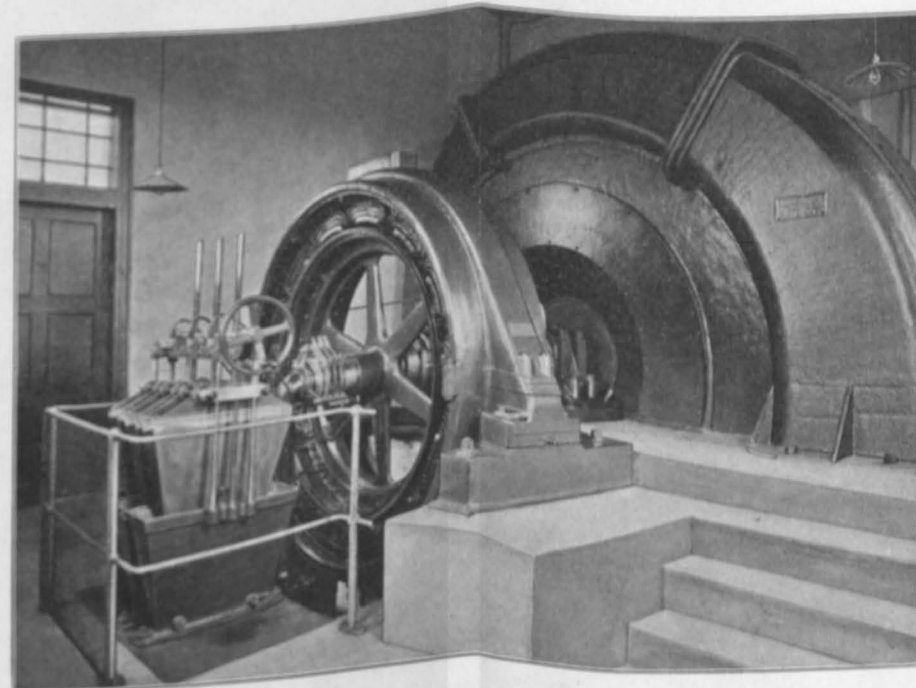
Elektrizitätswerk Wels. (Öst. Union Elektr.-Ges.)



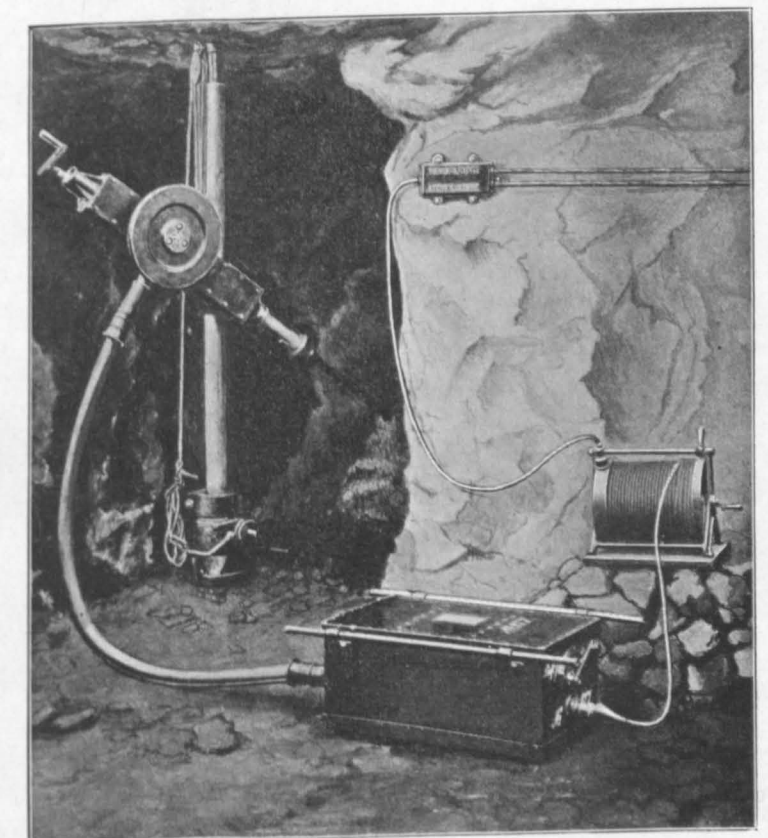
Primärstation der Baumwollspinnerei Kleinmünchen. (Örlikon.)



Elektrische Abteufpumpe. (Siemens & Halske A.-G.)

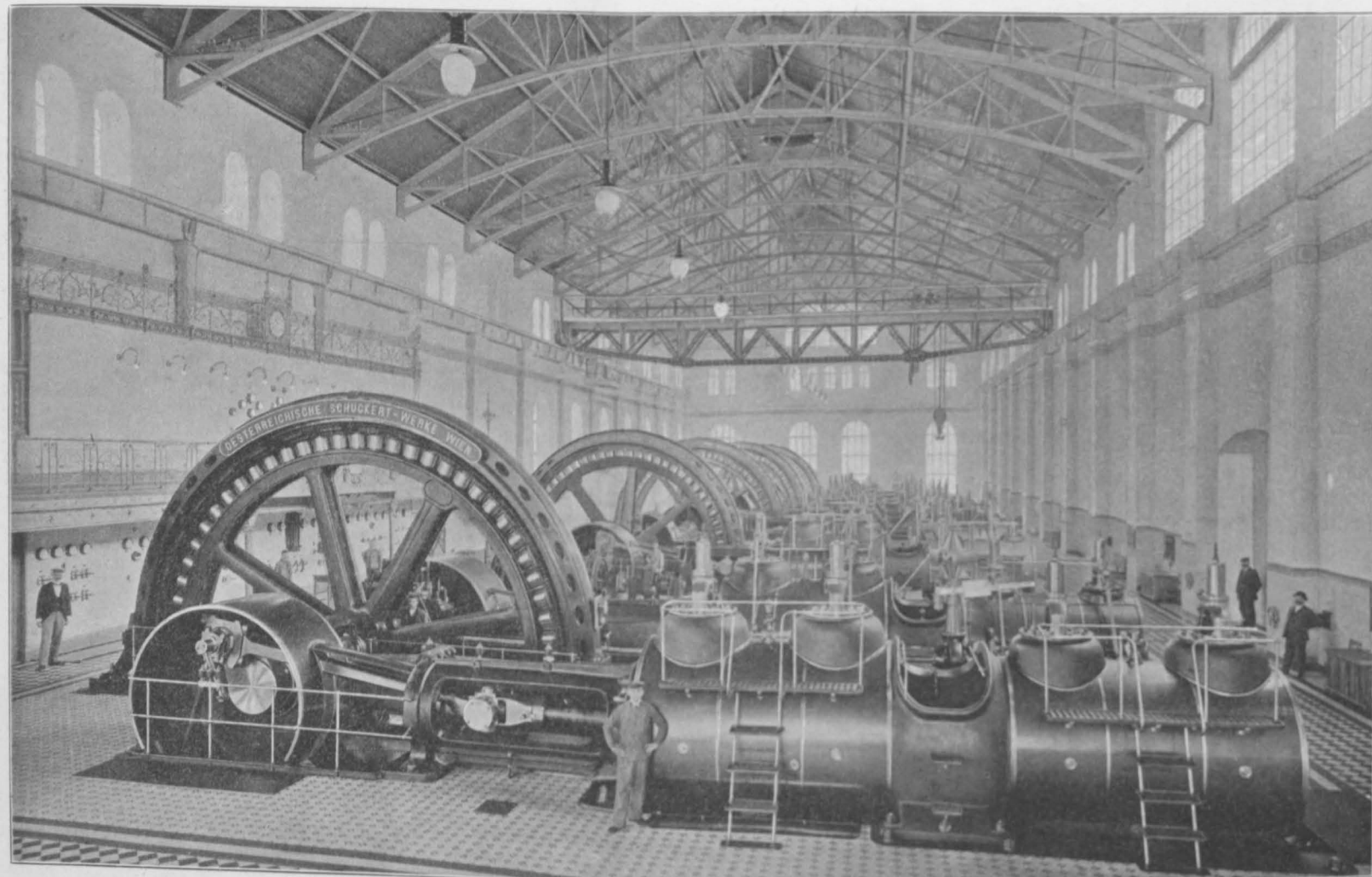


Elektrischer Grubventilator. (Siemens & Halske A.-G.)



Elektrische Bohrmaschine. (Siemens & Halske A.-G.)

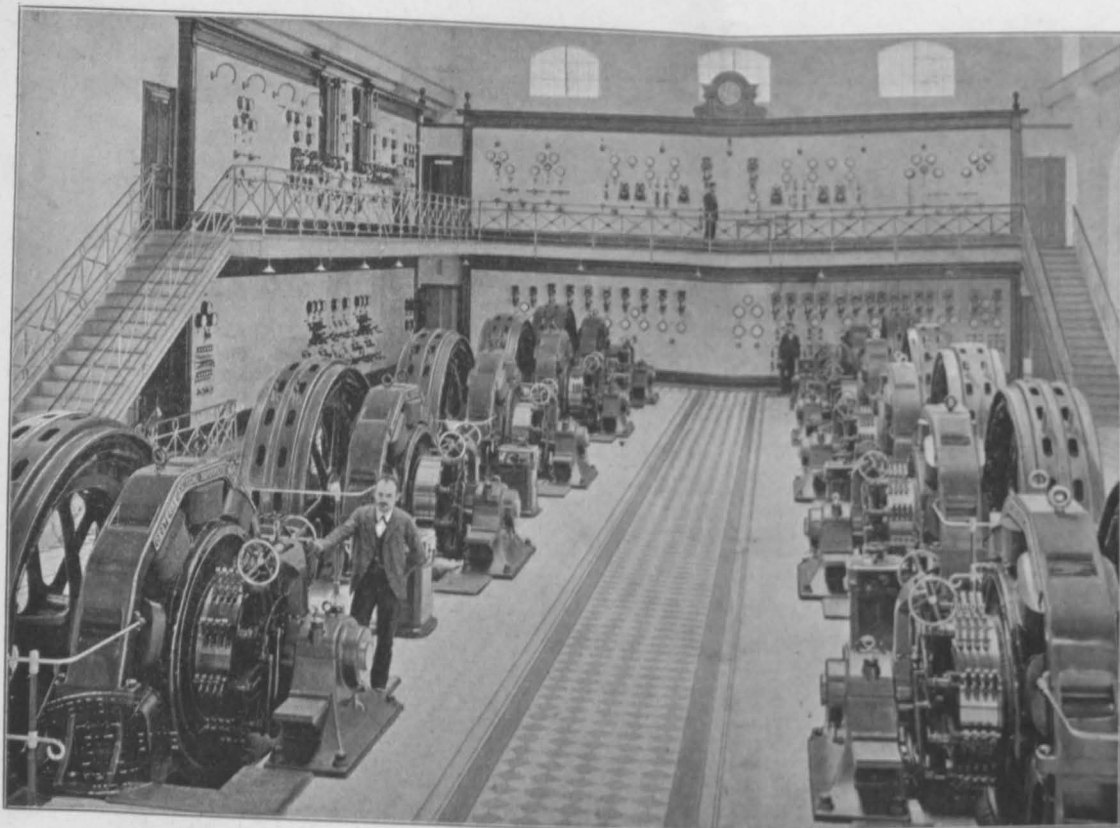
F. DREXLER: Elektrische Kraftübertragung.



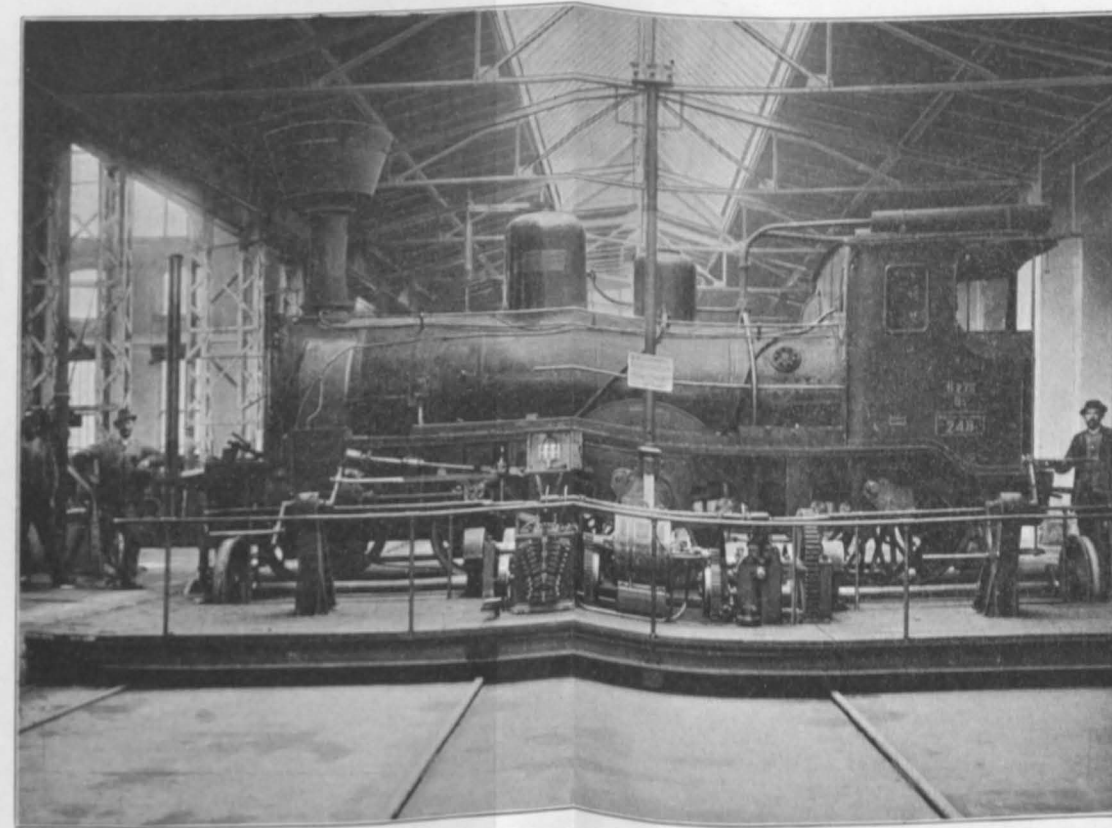
Städtisches Elektrizitätswerk der Gemeinde Wien. (Öst. Schuckertwerke.)



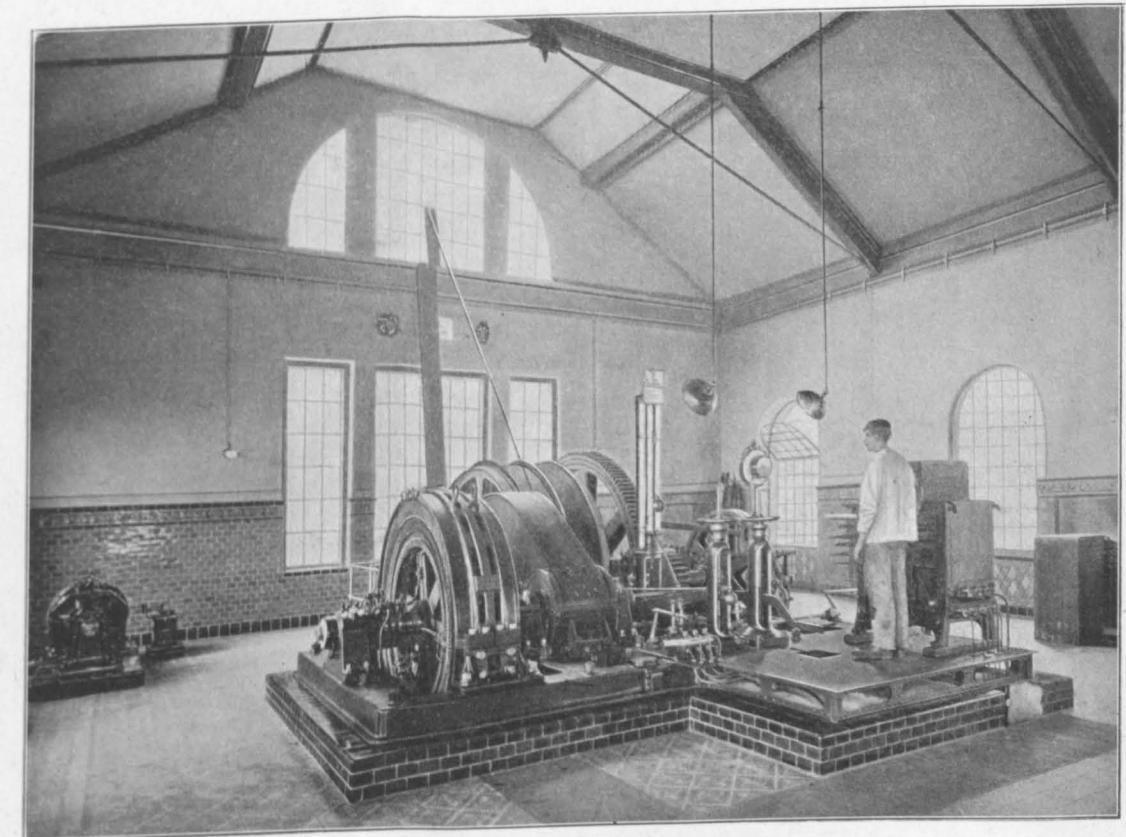
Elektrische Laufkräne in den Leopoldauer Werkstätten der Siemens & Halske A.-G.



Unterstation Mariahilf der Gemeinde Wien. (Öst. Schuckertwerke.)



Elektrische Lokomotiv-Schiebebühne. (Siemens & Halske A.-G.)



Elektrische Fördermaschine. (Öst. Schuckertwerke.)

umkehrbare Mechanismen; die eine Pumpe liefert das Druckwasser, die zweite wirkt durch dieses als Motor. In diesen Fällen ist das Wasser das übertragende Mittel, jedoch können Pumpenmechanismen auch mittels Luft wirken. Am leichtesten läßt sich die Umkehrbarkeit an zwei Ventilatoren zeigen. (Vorführung des Experimentes.)

Alle diese Beispiele, bei welchen das übertragende Mittel sich in einer und derselben Richtung fortbewegt, bilden die Analogie mit dem elektrischen Gleichstrom.

Wenn wir jedoch zwei Pumpenzylinder durch ein Rohr miteinander verbinden, und wir bewegen den Kolben in dem einen Zylinder auf und ab, so wird sich zufolge des wechselnden Wasser- oder Luftdruckes auch der Kolben im zweiten Zylinder in entgegengesetztem Sinne ab- und aufbewegen; wir haben hier eine mechanische Analogie mit dem elektrischen Wechselstrom.

Ganz ebenso vollkommen umkehrbare Mechanismen sind die Dynamomaschinen; verbinden wir zwei Dynamos durch eine Drahtleitung miteinander, so wird sich bei Inbetriebsetzung der einen die andere ebenfalls drehen und wird nach Maßgabe der der ersteren zugeführten Energie mehr oder weniger leisten können.

Wir nennen die mechanisch angetriebene Dynamo die Primärmaschine, den Generator oder Stromerzeuger, die treibende Dynamo die Sekundärmaschine oder den Motor.

Generator, Leitung und Motor bilden sonach die wesentlichsten Bestandteile einer einfachen Kraftübertragungs-Anlage.

Im Generator wird die mechanische Energie in elektrische Energie umgewandelt, diese in der Leitung an den entfernten Ort fortgeführt und im Motor wieder in mechanische Energie zurückverwandelt.

Diese Umwandlungen gehen aber natürlich nicht ohne gewisse Verluste vor sich; teils sind es Verluste rein mechanischer Natur, wie die Reibung in den Lagern, die Reibung der Bürsten am Kollektor; teils Verluste elektrischer und magnetischer Natur, die durch den Widerstand der Drähte in den Maschinen und in der Leitung sowie durch die Ummagnetisierung der Eisenmasse der Maschinen bedingt sind.

Das Verhältnis der an den Klemmen einer Dynamo gewonnenen elektrischen Arbeit (in Watt) zu der an der Welle aufgewendeten mechanischen Arbeit in Pferdekraften (zu je 736 Watt) ergibt uns den Wirkungsgrad oder das Güteverhältnis der Dynamo. Heute versteht man es, Dynamos mittlerer Größe mit 90% Wirkungsgrad zu bauen; ganz große Maschinen von mehreren Tausenden von Pferdestärken besitzen bis 95% Wirkungsgrad, dagegen ganz kleine Dynamos oder Motoren 70% und darunter haben. Man sieht, daß bei großen Dynamos der Wirkungsgrad ein sehr guter ist und wohl kaum mehr höher getrieben werden kann.

Das Verhältnis der am Ende der Leitung verfügbaren Watt zu den in die Leitung hineingesendeten bildet den Wirkungsgrad der Leitung. In der Regel wird dieser in den Grenzen zwischen 95 und 85% gehalten.

Der Wirkungsgrad der gesamten Übertragung ist demnach das Produkt aus den Wirkungsgraden der beiden Maschinen (Generator und Motor) und dem der Leitung.

Wie viel Verlust man in die Leitung verlegen kann, hängt von den Kosten derselben und von den Kosten der Betriebskraft ab. Ist die Primärkraftquelle eine Dampfmaschine, so wird man lieber eine etwas teurere Leitung in den Kauf nehmen, um dafür am Ende derselben eine größere Betriebskraft wiederzugewinnen. Bei billig arbeitenden Wasserkraften kann man sich einen größeren Verlust in der Leitung gefallen lassen und dafür an Kosten sparen.

Die Dimensionierung der Leitung ist also lediglich eine Kostenfrage.

Wir besitzen jedoch ein Mittel, um die Verluste in den Leitungen herabzudrücken und bei gutem Wirkungsgrade die Kosten in mäßigen Grenzen zu halten; es ist dies die Erhöhung der elektrischen Spannung. Man kann bei einer gegebenen Leitungslänge und Energiemenge durch Verdopplung der Spannung den Leitungsquerschnitt, also das Kupfergewicht schon auf die Hälfte reduzieren, ohne perzentuell mehr an Kraft zu verlieren; man verwendet daher besonders bei Übertragungen auf große Distanzen möglichst hohe Spannungen. Bei Entfernungen von etwa 25 km werden in Europa Spannungen von 10.000 bis 15.000 Volts angewendet; in Amerika, wo man gegenwärtig große Anlagen auf mehr als 300 km ausführt, geht man auf 60—70.000 Volt.

Man hört heute noch manchmal den Ausspruch, daß die elektrische Kraftübertragung ihrer großen Verluste wegen unökonomisch sei; es ist dies unrichtig, denn man ist heute in der Lage, jede noch so ausgedehnte Anlage ohne übermäßige Kosten mit einem Wirkungsgrade zu bauen, welcher nicht unter 70% zu sein braucht.

Außer dem Wirkungsgrade ist auch die Betriebstüchtigkeit der Dynamos und Motoren von größter Wichtigkeit. In einem praktischen Fabriksbetriebe kommen durch das Ein- und Ausrücken der Arbeitsmaschinen fortwährend plötzliche Stöße und Belastungsschwankungen vor, welche die elektrische Kraftanlage ohne Schaden vertragen muß; zeitweilige Überlastungen von 20% der normalen Leistungsfähigkeit müssen ohneweiters ausgehalten werden können.

Heute werden solche Anlagen von allen größeren Firmen gebaut; um aber auf dieses Entwicklungsstadium zu kommen, war es nötig, daß die Konstrukteure auch tüchtige Maschinenbauer wurden, was in den ersten Anfängen der Elektrotechnik nicht der Fall war.

Bei der elektrischen Kraftübertragung müssen wir mehrere Fälle unterscheiden, je nachdem die Kraft im ganzen transportiert und an einem Punkte abgegeben werden soll, oder ob eine Verteilung der Kraft an mehrere Punkte stattfinden soll.

Wir können also z. B.

1. eine Wasserkraft auf elektrischem Wege im ganzen an einen entfernten Ort übertragen und dort wieder im ganzen an die Haupttransmission einer Fabrik abgeben;

2. eine Kraft im ganzen fortleiten und am Ende der Leitung an mehrere Kraftabgabestellen verteilen, z. B. an mehrere Gewerbetreibende einer Stadt;

3. können wir aber schon von der Primärstation aus eine Verteilung der Kraft an mehrere Leitungen vornehmen, welche nach verschiedenen Richtungen auseinandergehen und können die Energie an den Enden dieser Leitungen wieder an mehrere Motoren verteilen. Wir können also z. B. von einer großen Wasserkraft aus Leitungen zu mehreren im Umkreise gelegenen Städten oder Industrieorten führen und dort die Kraft an verschiedene Konsumenten verteilen, wie dies beispielsweise in Rheinfelden der Fall ist, wo 17.000 PS im Umkreise von 20 km verteilt werden.

Bei Projektierung solcher Anlagen muß aber auch in Bezug auf das Stromsystem die richtige Wahl getroffen werden.

Wie wir bereits wissen, können wir in unseren Dynamos Gleichstrom oder Wechselstrom erzeugen. Wie dies geschieht, ist bereits in früheren Vorträgen erklärt worden, ich will dies daher nur kurz wiederholen.

Zufolge der elektrodynamischen Induktion entsteht in einem Leiter, der an einem Magneten vorbeibewegt wird

oder umgekehrt, ein elektrischer Strom, der bei der Annäherung in der einen, bei der Entfernung in der anderen Richtung verläuft; einen solchen Strom nennen wir einen Wechselstrom.

Sorgen wir aber dafür, daß gleichzeitig mit der Annäherung und Entfernung des Leiters vom Magnete auch die Verbindungen des Leiters mit dem äußeren Stromkreise jedesmal vertauscht werden, so fließt der Strom im äußeren Kreise immer in derselben Richtung, und einen solchen Strom nennen wir Gleichstrom.

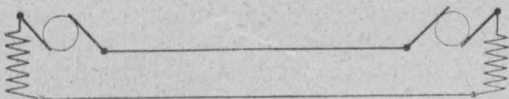
Wir sehen also, daß jede Vorrichtung, welche Ströme durch Induktion zu erzeugen vermag, von vornherein stets nur Wechselströme liefert, und daß zur Gleichrichtung dieser noch ein Organ, nämlich der Kommutator oder Kollektor notwendig ist, den wir an jeder Gleichstrommaschine finden.

Von diesem Kollektor kann der Strom nur durch Metallbürsten oder Kohlenkontakte abgenommen werden, welche auf ihm schleifen und, da sie bewegliche Leitungsteile sind, durch Funkenbildung zu Störungen Anlaß geben können. Es werden deshalb Gleichstrom-Generatoren und Motoren gegenwärtig schon weniger zur Kraftübertragung benützt und nur dort angewendet, wo man ihrer speziellen Eigentümlichkeiten wegen kein anderes Stromsystem verwenden kann.

Eine Gleichstrommaschine ohne Kollektor und Bürsten zu bauen, ist heute noch ein ungelöstes Problem; dagegen werden Stromerzeuger und Motoren für Wechselstrom vielfach ohne gleitende Kontakte gebaut.

Wir wollen uns nun nach dieser kleinen Abschweifung in das Gebiet des Dynamomaschinenbaues mit den verschiedenen Arten der elektrischen Kraftübertragung befassen.

Der einfachste Fall einer Gleichstrom-Kraftübertragung ist der, bei welchem wir bloß einen Generator und einen Motor haben, wo also die Kraft ungeteilt von einem Orte zum anderen transportiert werden soll. Man verwendet hiezu Dynamos mit Serienschaltung und geht aus konstruktiven und betriebstechnischen Gründen nicht über 2000 Volt in einer Maschine hinaus.



Schema einer Serienkraftübertragung.

Eine solche Anlage ist sehr einfach, kann aber wegen der relativ niederen Spannung höchstens bis zu 7—8 km Verwendung finden. Durch geeignete Konstruktion der Dynamos kann man erreichen, daß die Sekundär-Maschine bei allen Belastungen von Leerlauf bis Vollbelastung mit gleichbleibender Geschwindigkeit rotiert, vorausgesetzt, daß die Primärmaschine mit konstanter Geschwindigkeit angetrieben werde.

Handelt es sich um die Verteilung der Kraft auf mehrere Motoren, die von einander unabhängig sein sollen, so wendet man als Generator eine Compound- oder Nebenschlußmaschine an und als Motoren gewöhnlich solche mit Nebenschlußschaltung, da diese dann bei wechselnder Belastung mit nahezu konstanter Tourenzahl laufen.

Bei elektrischen Bahnen wendet man wegen der großen Anzugskraft die beim Anfahren der Wagen erforderlich ist, Motoren mit Serienschaltung an; hierüber wird Herr Professor H o c h e n e g g an einem der nächsten Abende ausführlich sprechen.

Bei solchen Anlagen, wo viele kleine Nebenschlußmotoren zur Verwendung gelangen, kann man die Spannung aus konstruktiven Rücksichten nur niedrig (etwa bis zu

440 Volt) nehmen. Es ist daher auch der Umkreis, über den sich eine solche Kraftverteilung mit Gleichstrom erstreckt, nur ein beschränkter.

In Wien wird z. B. von der Zentrale Mariahilf und Neubad Strom für die Motoren in dieser Weise abgegeben.

Man sieht, daß man nur auf relativ kleine Entfernungen mit Gleichstrom auskommt. Wo aber große Entfernungen ins Spiel kommen, muß man mit der Spannung weit hinaufgehen, auf viele Tausende, ja Zehntausende von Volts, und dazu eignet sich praktisch nur ein Wechselstromsystem.

Der Wechselstrom besitzt die wertvolle Eigenschaft, daß er sich ohne gleitende Kontakte, ohne Bürsten etc. von feststehenden Maschinenteilen ableiten läßt; daß er sich ferner in vollkommen ruhenden Transformatoren zu jeder beliebigen Spannung auf- oder abwärts umwandeln läßt. Diese Transformatoren erfordern absolut keine Wartung, es ist daher auch jedwede Gefahr für das Personale ausgeschlossen.

Bei einer Kraftübertragung durch Wechselstrom erzeugt man die hochgespannten Ströme entweder direkt im Generator, wenn es sich nicht um gar zu große Entfernungen handelt. Spannungen bis zu 15.000 Volts erzeugt man direkt in der Maschine. Man reicht damit für Entfernungen bis 25 km aus.

Ein Beispiel hierfür ist die jetzt von Siemens & Halske gebaute Anlage am Traunfall mit 10.000 Volt.

Sind noch größere Entfernungen zu überwinden, so erzeugt man im Generator niedrig gespannte Ströme und wandelt sie gleich in der Primärstation selbst durch Transformatoren in hochgespannte um. Es werden in solchen Fällen Ströme von nur etwa 2000 Volt erzeugt und auf 10, 20, 30.000 Volts je nach Bedarf hinauftransformiert.

Eine solche Anlage wird gegenwärtig in Oberösterreich von der Österr. Union Elektrizitäts-Gesellschaft ausgeführt zur Übertragung von 300 PS von Wels in die Nettingsdorfer Papierfabrik. Der in den Drehstrom-Generatoren erzeugte Strom besitzt eine Spannung von 3000 Volt und wird in einer neben der Zentrale aufgestellten Transformatorstation auf 10.000 Volt hinauftransformiert; mit dieser hohen Spannung durchläuft der Strom die 28 km lange Fernleitung bis Nettingsdorf, wo er in einem 300pferdigen Hochspannungsmotor direkt zur Verwendung gelangt.

Häufig werden so hochgespannte Ströme an der Sekundärstation wieder in niedriggespannte umgewandelt, insbesondere wenn es sich um Speisung kleiner Motoren handelt, welche für so hohe Spannungen nicht gebaut werden können.

Die Fortleitung so hochgespannter Ströme erfordert naturgemäß gewisse Maßnahmen, welche sich teils auf die Ökonomie der Anlage, teils auf die Sicherheit des Lebens beziehen.

Was die Ökonomie anbelangt, so ist es klar, daß man die Isolation von Freileitungen ganz vorzüglich machen muß, um außer den nicht zu umgehenden Verlusten nicht noch Verluste durch Ableitung zu haben. Bei feuchtem und bei Regenwetter beschlagen sich die Porzellanisolatoren mit einer Feuchtigkeitsschicht, welche in Gegenden mit viel Staub und Rauch die Bildung einer Schmutzschicht einleitet, die dann das ursprünglich gute Isolationsvermögen der Porzellanlocken bedeutend herabsetzt. Früher wendete man Isolatoren an, welche im Innern eine oder mehrere Ölrinnen enthielten; diese bewährten sich jedoch nicht, da das Öl auch verstaubte und der Hohlraum der Isolatoren allen möglichen Insekten zum Unterschlupf diente. Gegenwärtig gibt man den Isolatoren eine solche Form, daß der Übergangsweg vom Drahte bis zur Eisenstütze durch Anordnung mehrerer ineinanderliegender Porzellanlocken ein

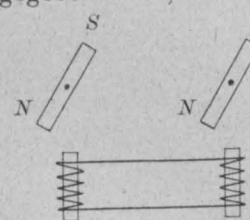
möglichst langer werde. Auch macht man die Glocken von relativ großem Durchmesser, so daß der Rand möglichst weit von der Stütze entfernt ist. Die Stützen selbst fertigt man für ganz hohe Spannungen auch aus Porzellan oder aus imprägniertem Hartholze, um die Randentladungen gegen die Stütze zu verhüten. Die Durchmesser solcher Isolatoren sind manchmal schon ganz bedeutende; es gibt auch solche

er aus dem Takte, sobald er etwas mehr als normal belastet wird, und bleibt stehen. Diese schlechten Eigenschaften konnten den synchronen einphasigen Wechselstrom-Motor nie zu einem industriell brauchbaren Motor machen.



Hochspannungs-Isolator.

Heute baut man für solche Kraftverteilungsnetze, aus denen nur einfacher (einphasiger) Wechselstrom abgegeben wird, und die

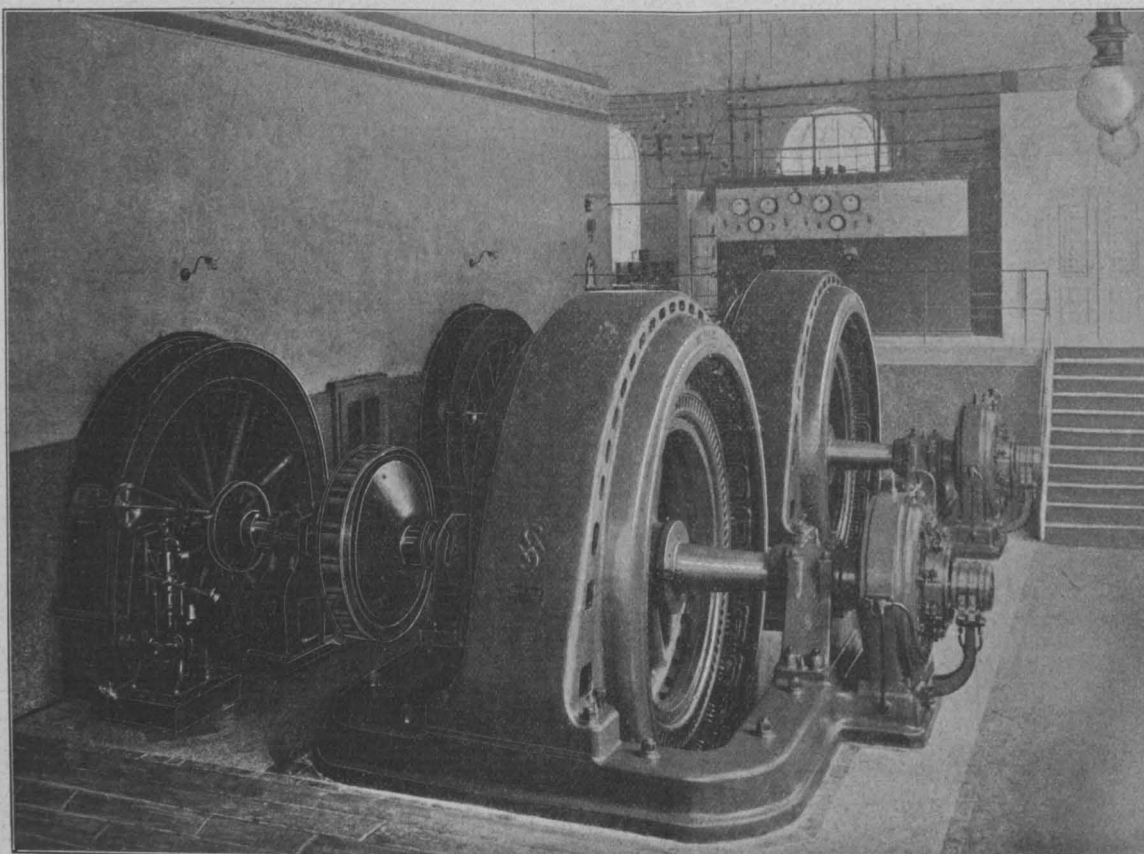


Schema eines Synchron-Motors.

hauptsächlich dem Lichtkonsume dienen, die sogenannten Asynchron-Motoren, welche von der Wechselzahl des Wechselstromes unabhängig sind und eine bedeutende Verbesserung

darstellen; immerhin sind auch diese nicht für alle in der Industrie vorkommenden Fälle (z. B. für Aufzüge) anwendbar, da sie keine Anzugskraft besitzen und vorerst leer angelassen werden müssen, bevor sie Arbeit leisten können.

Man hat daher die Anwendung des einfachen (einphasigen) Wechselstromes zu Motoren verlassen und ist zu



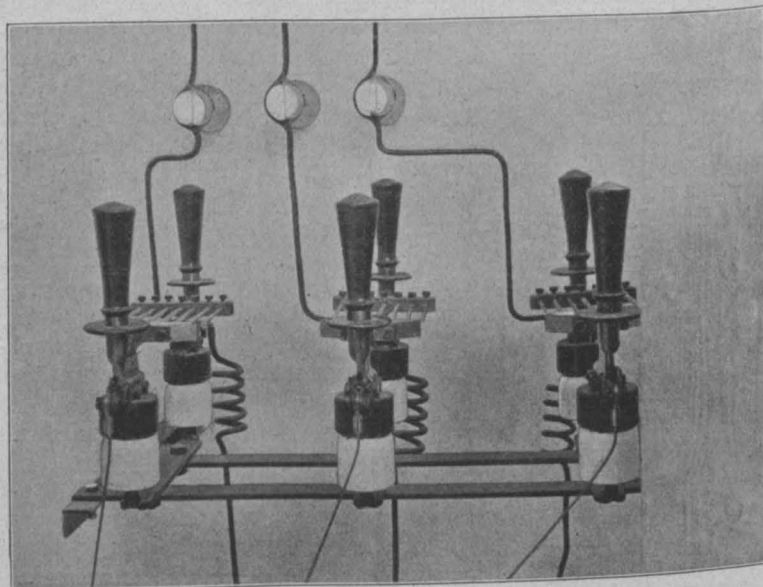
Traunfallwerk. (Siemens & Halske A.-G.)

mit nahezu 0,5 m Durchmesser, die allerdings einem ganz speziellen Zwecke dienen.

Was die persönliche Sicherheit anbelangt, so werden Hochspannungsleitungen, welche parallel mit verkehrsreichen Straßen verlaufen oder solche kreuzen, mit Schutzvorrichtungen versehen, die entweder aus Schutznetzen bestehen, oder man verwendet zur Erde abgeleitete Fanggabeln knapp neben den Isolatoren, auf welche sich ein gerissener Draht darauflegen muß, wenn er zur Erde fällt; durch die Fanggabel ist er dann sicher mit der Erde verbunden und unschädlich gemacht.

Der Schutz solcher über große Landstrecken verlaufender Fernleitungen gegen Blitzgefahr ist auch eine sehr wichtige Sache. Die nebenstehende Abbildung zeigt eine Vorrichtung, welche atmosphärische Entladungen für die Leitungen und die darangeschalteten Maschinen, Transformatoren u. s. w. unschädlich macht und zur Erde ableitet.

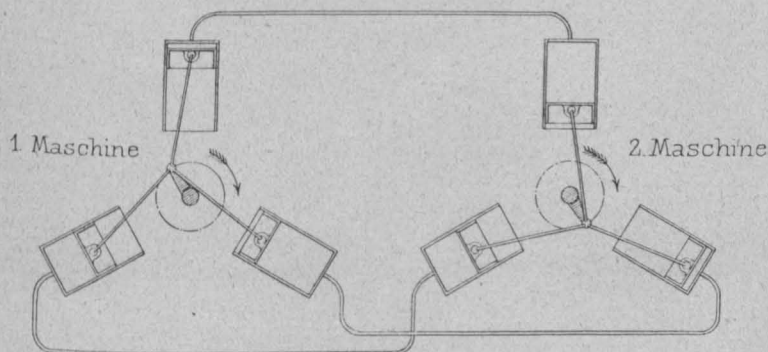
Die Kraftübertragung mittels einfachen Wechselstromes hat im Anfange viel mehr Schwierigkeiten bereitet als die mit Gleichstrom. Man baute zuerst sogenannte Synchron-Motoren, welche darauf beruhten, daß ein Magnet sich an Spulen vorbeibewegte, welche von einem Wechselstrom durchflossen waren. Es ist einleuchtend, daß ein solcher Motor nur dann Arbeit verrichten kann, wenn das Vorbeilaufen der Magnetpole vor den Spulen genau im gleichen Takte (also synchron) mit den Pulsationen des Wechselstromes stattfindet. Ein solcher Motor muß, nachdem er eingeschaltet ist, durch Ziehen am Riemen oder durch andere Mittel zum Anlaufen gebracht werden; auch fällt



Blitzschutz-Vorrichtung.

dem mehrphasigen Wechselstrom übergegangen. Das Mehrphasenstrom- oder Drehstromsystem eignet sich ganz besonders für Zwecke der Kraftübertragung, indem es die Vorteile des Gleich- und Wechselstromes vereinigt, ohne die Nachteile beider zu besitzen.

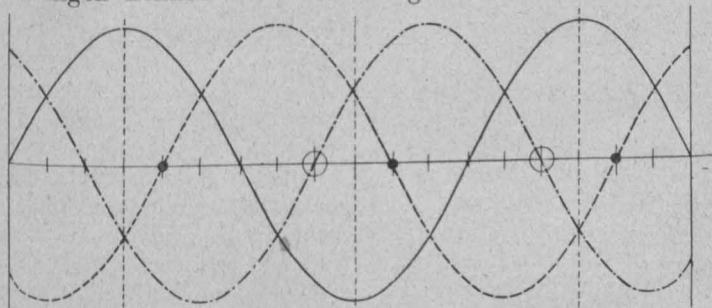
Beim Drehstromsysteme werden mindestens zwei, in der Regel aber drei Wechselströme derart zur vereinigten Wirkung gebracht, daß ihre Schwingungen zu verschiedenen Zeiten beginnen und auch im weiteren Verlaufe diese Zeitintervalle beibehalten.



Mechanische Analogie des Drehstrom-Systemes.

Wir nehmen hier wieder die früher gebrauchte pneumatische Analogie zu Hilfe und denken uns zwei Dreizylindermaschinen, deren gleichliegende Zylinder durch Rohrleitungen miteinander verbunden sind. Wenn die eine der beiden Maschinen gedreht wird, so erzeugen die Kolben dieser Maschine in den Zylindern, in den mit ihnen verbundenen Rohren und in den Zylindern der zweiten Maschine abwechselnd Verdichtungen und Verdünnungen, welche in Sinne der Drehung in einem Winkelabstande von 120° rhythmisch aufeinanderfolgen. Diese pulsierenden Drücke versetzen die zweite Maschine in Umdrehung und entsprechen genau den drei Wechselströmen der Drehstrom-Maschine. Vertauschen wir den Anschluß zweier Rohrleitungen an der zweiten Maschine, so wird sich diese, bei gleichbleibender Drehrichtung der ersten, nach der anderen Seite drehen; auch in dieser Beziehung ist die Analogie mit dem Drehstrom vollkommen, da die Drehrichtung eines Drehstrom-Motors umgekehrt werden kann, wenn man zwei seiner Zuleitungsdrähte vertauscht.

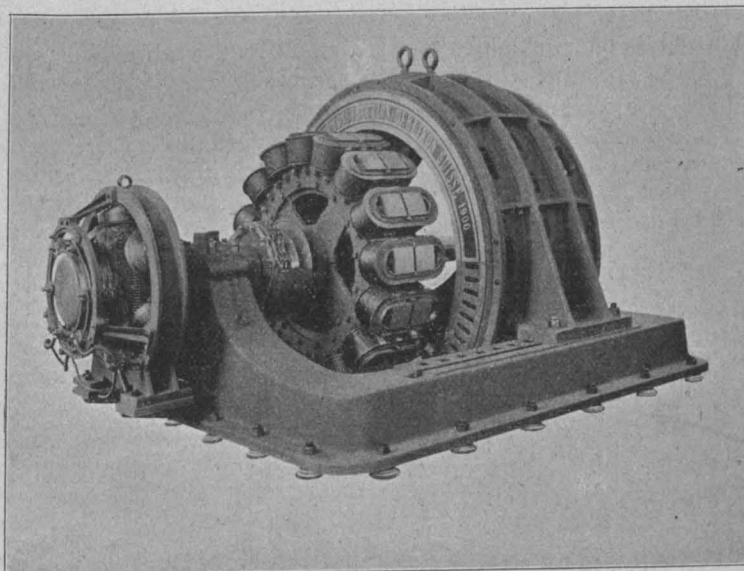
Denken wir uns eine aus drei gleichen einfachen Wechselstrom-Maschinen kombinierte Maschine, bei welcher die drei rotierenden Magnete auf einer gemeinsamen Welle so aufgekeilt werden, daß sie um je 120° verdreht sind, so werden wir aus den drei feststehenden Teilen der Maschine drei Wechselströme abnehmen können, deren Perioden zeitlich um 120° aufeinanderfolgen; die hierzu nötigen sechs Leitungen können in drei vereingigt werden.



Drehstrom-Schema.

In Wirklichkeit sind die obenerwähnten drei Wechselstrom-Maschinen konstruktiv in eine Maschine vereingigt, und ihre rotierenden Magnete sind keine permanenten, sondern Elektromagnete, welche durch eine kleine, gewöhnlich an die Drehstrom-Maschine angebaute Gleichstrom-dynamo erregt werden.

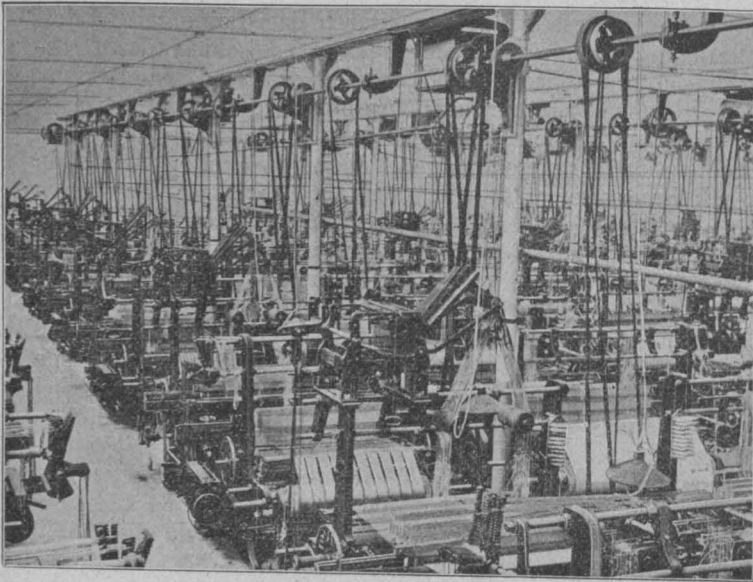
Wenn diese Ströme nun durch drei Leitungen in drei ähnliche Spulengruppen der Sekundärmaschine (des Drehstrom-Motors) eintreten, so werden die Pole derselben in der gleichen rhythmischen Aufeinanderfolge stark magnetisiert, und es entsteht ein Drehfeld, welches den in ihm drehbar angeordneten Magnet oder bewickelten Anker in Umdrehung versetzt, wie dies im Vortrage des Herrn Dr. J. Sahulka bereits näher erklärt wurde. Ein Hauptvorteil der Drehstrom-Motoren besteht darin, daß sie auf dem rotierenden Teile keine Stromzuführungen benötigen und durch den Wegfall von beweglichen Kontakten eine große Betriebssicherheit gewähren. Kleinere Motore erhalten auf dem rotierenden Teile gewöhnlich ganz kurz geschlossene Windungen (Kurzschluß-Anker). Größere und solche, bei welchen auch eine Tourenregulierung verlangt wird, erhalten glatte Schleifringe, welche mit Anlaß- oder Regulierwiderständen verbunden sind, die aber nicht, wie dies bei den Gleichstromkollektoren der Fall ist, eine sorgsame Wartung erfordern und kaum zu Funkenbildung Anlaß geben können. Die Umdrehung so konstruierter Drehstrom-Motoren erfolgt unabhängig von dem rhythmischen Pulsieren



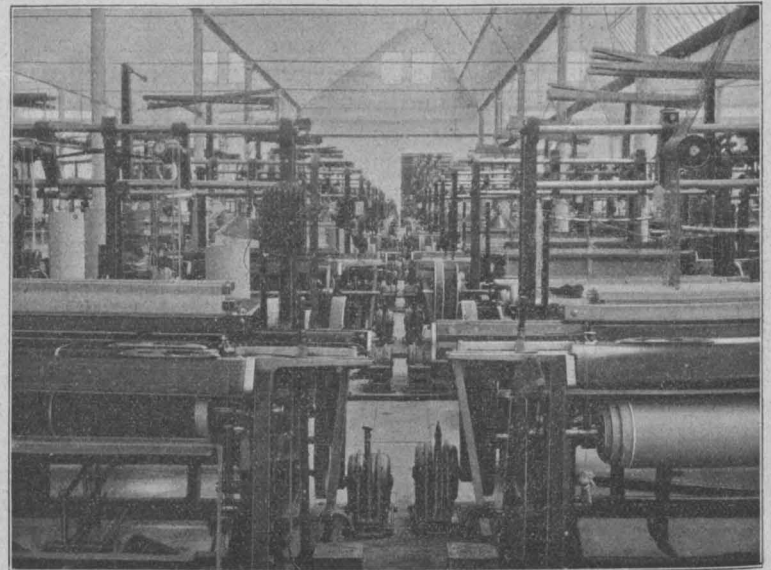
Drehstrom-Generator der Maschinenfabrik Örlikon.

der zugeleiteten Ströme (asynchrone Motoren) und entwickeln dieselben, ähnlich den Gleichstrom-Motoren, eine bedeutende Zugkraft. Sie können in beliebiger Anzahl parallel an ein Verteilungsnetz geschaltet werden, welches mit konstanter Spannung gespeist wird, und arbeiten dadurch vollkommen unabhängig voneinander.

Die guten Eigenschaften der Drehstrom-Motoren machen sie daher in erster Linie für Kraftverteilung über ganze Distrikte, in Städten und Fabrikskomplexen geeignet; in letzteren Fällen ersetzen sie vorteilhaft die oft langen und kraftverzehrenden Wellen-, Zahnräder- und Seiltransmissionen. Die Leitungen, welche z. B. durch einen Komplex von Arbeitsräumen gelegt werden, beanspruchen sehr wenig Raum und als ruhende Körper keinerlei Wartung; sie lassen sich an Stellen unterbringen, wo sie nicht störend wirken, und nehmen, insbesondere wenn sie im Fußboden untergebracht sind, im Gegensatz zu Wellen- und Riementransmissionen kein Licht weg. In großen Maschinenwerkstätten fällt auch noch der große Vorteil in die Wagschale, daß oberhalb der Arbeitsmaschinen der ganze Raum bis zur Decke freibleibt und durch den Laufkran bestrichen werden kann. Der Umstand, daß gleichzeitig nur diejenigen Motoren laufen, deren Betriebskraft für die betreffenden Arbeitsmaschinen benötigt wird, ist ein weiterer Vorteil der elektrischen Kraftverteilung gegenüber den alten Transmissionen,



Seidenwebsaal mit Riemenbetrieb.



Seidenwebsaal mit elektrischem Einzelantrieb.

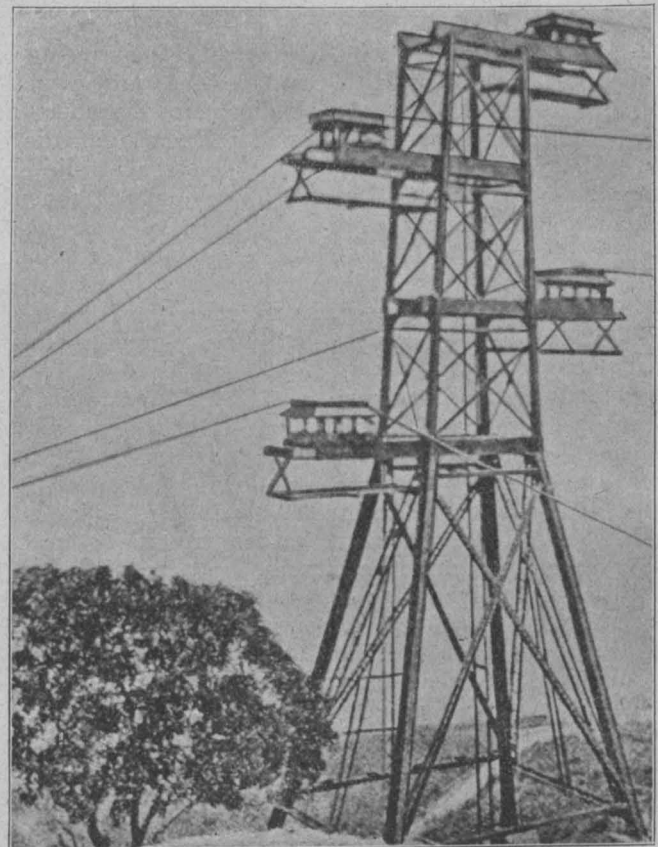
welche stets fortlaufen müssen und Kraft verbrauchen, ob alle oder nur wenige Arbeitsmaschinen im Betriebe sind.

Je intermittierender der Betrieb von Arbeitsmaschinen ist, desto mehr treten alle diese Vorteile zutage. Der extremste Fall dürfte in dieser Beziehung wohl in Seidenwebereien eintreten, wo gleichzeitig stets nur 50—60% der Stühle im Betriebe sind. Neu zu erbauende Etablissements dieser Art erhalten heute nur mehr Einzelantrieb der Seidenwebstühle durch Elektromotoren von $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{3}$ PS, welche unmittelbar neben den Stühlen aufgestellt sind und durch unter dem Fußboden verlaufende Drahtleitungen gespeist werden. Den Unterschied im Aussehen eines Seidenwebsaales mit Riemenbetrieb und mit elektrischem Einzelantrieb veranschaulichen am besten obige Abbildungen.

Die auf den Tafeln ersichtlichen Abbildungen zeigen mannigfache Anwendungen elektrischer Kraftübertragung.

Gegenwärtig wird wohl das Drehstromsystem für Kraftverteilungen am meisten und, wenn es sich dabei noch um Überwindung großer Entfernungen handelt, ausschließlich angewendet. Ganz besonders großartig sind die Anlagen, welche in Amerika durchgeführt werden; beispielsweise die Anlage am Niagara fall, welche bisher Turbinen und Generatoren mit 50.000 PS besaß und gegenwärtig um weitere 55.000 PS vergrößert wird. Das Werk wird dann eine Gesamtzahl von 21 Turbinen zu 5000 PS enthalten und somit eine Kapazität von 105.000 PS besitzen. Das Gefälle beträgt 44 m. Das Wasserrecht der Niagara Falls Power Co. beläuft sich jedoch auf 200.000 PS, so daß durch den gegenwärtigen Ausbau erst die Hälfte der verfügbaren Leistung nutzbar gemacht ist. Von diesen 105.000 PS werden in nächster Zeit: für elektrische Kraftübertragung und Bahnen 25.000 PS, für Licht und Heizung 10.000 PS, für chemische Industrien, Carborundum, Aluminium, Calciumcarbid, Graphit, Soda, Alkalien, Phosphor und dergl. 38.000 PS, zusammen 73.000 PS verwertet.

Die längste elektrische Kraftübertragung wird jetzt in Californien mit einer Kraftstation von 25.000 PS erbaut. Dieselbe führt von Colgate am Yubaflusse über die Stadt Oakland nach Redwood in einer Länge von 350 km, wird dann noch bis Burlingame und San Francisco fortgesetzt, so daß die Gesamtlänge 390 km betragen wird. Die hierbei zur Verwendung gelangende Spannung ist mit 60.000 Volt festgesetzt. Die Fernleitung ist aus Sicherheitsrücksichten doppelt gemacht und besteht aus Aluminiumkabeln auf 18 m hohen Zedermasten. Die Leitung übersetzt das Flußtal der Strait of Carquinez in einer freien Spannweite von 1350 m von einem Stützpunkte zum anderen; es ist dies die größte bisher



Strait of Carquinez; Stützturm.

existierende Spannweite. Zu dieser Überspannung werden Stahlseile von 22 mm Φ verwendet, deren jedes bei starkem Winde einen Zug von 12 t auszuhalten hat; die Seile schweben 63 m hoch über dem Hochwasser, so daß die höchsten Schiffe darunter durchfahren können. Ganz besonders interessante Details bildet die Verankerung dieser Seile und die Isolierung derselben bei 60.000 Volt gegen die Erde; die Beschreibung dieser Details würde hier jedoch zu weit führen.

Es wäre lebhaft zu wünschen, daß die Verwendung der elektrischen Kraftübertragung auch bei uns weiter um sich griffe; die vielen ungenützten Wasserkräfte unserer schönen österreichischen Alpen sind ein Nationalvermögen, über welches nicht leicht ein anderes Land verfügt. Möge es uns noch vergönnt sein, dieselben in den Dienst des Vollbahnbetriebes gestellt zu sehen!

Über Elektrochemie.

Vortrag, gehalten am 3. März 1902 von Ober-Ingenieur **Viktor Engelhardt**.

Hochgeehrte Herren!

Es ist für mich mit einer gewissen Schwierigkeit verbunden, mein Thema heute vor Ihnen, hochgeehrte Herren, zu behandeln. Diese Schwierigkeit fußt auf verschiedenen Umständen. Die eine Ursache liegt darin, daß ich vor nicht zu ferner Zeit von der gleichen Stelle aus diesen Gegenstand zu behandeln hatte, als mir von meinen engeren Fachkollegen der ehrenvolle Auftrag zuteil wurde, sie in der Serie von Jubelvorträgen, die anlässlich des 50jährigen Bestandes unseres Vereines abgehalten wurden, zu vertreten. Die seither verflossene Zeit ist keine so lange, als daß sich wesentlich neue Gesichtspunkte ergeben hätten, und folgt für mich daraus die unabweisliche Notwendigkeit, manches schon damals Vorgebrachte heute zu wiederholen. Eine zweite Schwierigkeit entspringt aus der Fülle des Materials, welches sich bei noch so gedrängter Darstellung kaum in den Rahmen eines einzelnen Vortrages einzwängen läßt. Eigentlich müßte ich Ihnen, um nach allen Richtungen hin dem Stoffe gerecht zu werden, einen Überblick über die historische Entwicklung meines Spezialfaches und über die theoretischen Grundlagen desselben geben, die wichtigsten elektrochemischen Verfahren, welche heute schon praktische Anwendung finden, von ihrer theoretischen und technischen Seite beschreiben, Sie mit dem Rüstzeug der elektrochemischen Technik, also mit der Apparatur wenigstens von allgemeinen Gesichtspunkten aus bekannt machen und endlich die kommerzielle und statistische Seite des Gegenstandes in großen Zügen berühren.

Dies alles in gedrängter Kürze zu bringen, ist wohl kaum durchführbar und dürfte sich schon aus dem Grunde nicht empfehlen, weil wir heute gegenseitig von zwar befreundeten und eng verbündeten, aber trotzdem getrennten Lagern zu einander sprechen. Wenn ich heute als Elektrochemiker zu Elektrotechnikern oder, verallgemeinert, als Chemiker zu Maschinen-Ingenieuren spreche, so schreibt sich mir von selbst eine gewisse Auswahl in der Behandlung des Stoffes vor, und muß ich naturgemäß meine Ausführungen auf jene Teile des Gegenstandes in erster Linie konzentrieren, welche auf der Grenze der beiden Gebiete liegen und gegenseitige Berührungspunkte bieten. Ich werde also die historische und theoretische Seite und die rein chemischen Fragen weniger eingehend behandeln als die Sie jedenfalls mehr interessierenden mechanisch-konstruktiven Teile des Gegenstandes, die Gruppierung und Ausführung der einzelnen Verfahren von diesem Gesichtspunkte aus sowie endlich die befruchtenden Einflüsse der angewandten Elektrochemie auf den Maschinen- und Apparatenbau im allgemeinen und die Elektrotechnik im besonderen. Dadurch ergibt sich von selbst die Notwendigkeit, auf eine statistische Besprechung der elektrochemischen Industrie einzugehen.

Die historische Entwicklung der Elektrochemie im allgemeinen und ihres angewandten Teiles im besonderen hängt mit drei epochemachenden Glanzpunkten in der Ausbildung der Stromquellen enge zusammen.

Der Eintritt in das neunzehnte Jahrhundert brachte uns die Volta'sche Säule. Unserem heutigen, mit allen erdenklichen Hilfsmitteln des Laboratoriums vertrauten und nach dieser Richtung sehr verwöhnten Zeitalter ist es kaum mehr möglich, zu dem richtigen Bewußtsein zu kommen, welchen Aufruhr in der chemischen-physikalischen Welt diese Errungenschaft hervorrufen mußte. Beobachtung folgte auf Beobachtung, Erkenntnis auf Erkenntnis, und die hervorragendsten Namen der damaligen Zeit sind mit den Arbeiten, die die Volta'sche Säule ermöglichte, aufs engste verbunden. Die glänzende Experimentierkunst Davys, dessen Tätigkeit und Erfolge in der Entdeckung der elektrolytisch abgeschiedenen Alkalimetalle ihren Gipfelpunkt erreichten, machte damals die elektrochemische Forschung zur Herrscherin in den Laboratorien. Wir haben also in der Volta'schen Säule den Grundstein für das Gebäude elektrochemischer und speziell theoretischer Forschung älterer Schule zu sehen, an welchem Gebäude Berzelius, Becquerel, Wöhler und Bunsen als hervorragende Baumeister mit einer ganzen Reihe von Fachgenossen emsig gearbeitet haben. Die Volta'sche Säule entwickelte sich zum nassen Primärelement, das im Daniell'schen Becher niedergeschlagene Kupfer zeigte den ablösbaren und mikroskopisch genauen Abdruck des Kupferpoles. Mit dieser im Jahre 1836 gemachten Beobachtung De la Rives und der Erkenntnis ihrer praktischen Verwertbarkeit durch Jacobi im Jahre 1839 war der erste Schritt der Elektrochemie vom Boden der Theorie zur Praxis gemacht, die Galvanoplastik war als gewerbliche Anwendung begründet.

Das letzte Drittel des neunzehnten Jahrhunderts brachte in den Jahren 1867—1872 den zweiten großen Wendepunkt. Die Einführung des dynamoelektrischen Prinzips durch Siemens und die Verwendung der ersten von Gramme und Siemens & Halske für galvanoplastische sowie für metallurgische Raffinierzwecke gebauten Maschinen bewies die Möglichkeit, elektrische Energie von beliebiger Stärke und unter ökonomisch verwertbaren Erzeugungsbedingungen für industrielle Anwendungen ins Auge zu fassen. Die elektrochemische Technik beginnt ihre Entwicklung. Dieselbe wird zunächst vom Gleichstrom beherrscht, das Anwendungsgebiet gewinnt stetig an Umfang, beschränkt sich aber lange Zeit auf die rein elektrolytische Zerlegung gelöster oder geschmolzener chemischer Verbindungen.

Der rastlose Forschungstrieb des Elektrotechnikers bringt uns gegen Ende des neunzehnten Jahrhunderts die elektrische Kraftübertragung und dadurch die Möglichkeit,

auch entlegene Energiequellen nutzbringend zu verwerten. Die damit Hand in Hand gehenden Fortschritte im Baue von Wechsel- und Drehstromgeneratoren kennzeichnen den dritten großen Wendepunkt der technischen Elektrochemie, das Auftreten elektrothermischer Verfahren und die industrielle Anwendung eines neuen elektrochemischen Werkzeuges, des elektrischen Ofens.

Unter elektrochemischen Vorgängen verstehen wir technisch gesprochen im großen und ganzen sämtliche Veränderungen chemischer Natur, welche durch den elektrischen Strom verursacht werden, gleichgiltig ob dieselben direkt oder indirekt erfolgen.

In der vorgebrachten, nur skizzenhaften historischen Übersicht sind schon durch die Art der Stromquelle zwei große Gruppen von elektrochemischen Vorgängen bezeichnet, es sind dies die rein elektrolytischen Prozesse in gelösten oder geschmolzenen Elektrolyten und die elektrothermischen Verfahren. In neuerer Zeit gewinnt eine dritte Gruppe allmählich an Bedeutung. Dieselbe gründet sich auf die chemischen Erscheinungen, welche bei Durchtritt von Elektrizität in Form von Funken- oder Glimmentladung durch Gase auftreten können.

Mit diesen drei Gruppen von Anwendungsarten wollen wir uns nun eingehender beschäftigen.

Die Elektrolyse, also die Zerlegung gelöster oder geschmolzener chemischer Verbindungen, und zwar beinahe ausnahmslos durch Gleichstrom, folgt vor allem dem in den Dreißigerjahren des verflossenen Jahrhunderts aufgestellten Faraday'schen Gesetze. Dasselbe ist bis zum heutigen Tage ungeschwächt in Kraft geblieben und stellt fest, daß durch den gleichen galvanischen Strom in gleichen Zeiten äquivalente Mengen der Elektrolyte zersetzt werden, und daß die Mengen der an den Elektroden abgeschiedenen Stoffe im Verhältnis ihrer Äquivalentgewichte stehen.

Diesem Gesetze kann man einen noch allgemeineren Ausdruck geben, wenn man nach Kohlrausch den Quotienten: Molekül durch Anzahl Valenzen als elektrochemisches Molekül bezeichnet. Das Faraday'sche Gesetz lautet dann: Jedes elektrochemische Molekül bedarf zu seiner Zerlegung die gleiche Elektrizitätsmenge.

Über die Art des Stromdurchganges durch den Elektrolyten, also über den theoretischen Vorgang bei der Elektrolyse, haben die Ansichten im Laufe des vergangenen Jahrhunderts allerdings mehrfach gewechselt.

Meinem eingangs ausgeführten Programme getreu, will ich Sie nicht durch eine eingehende Besprechung der verschiedenen Theorien ermüden, sondern nur kurz erwähnen, daß zu Anfang des neunzehnten Jahrhunderts die erste Theorie über elektrolytische Vorgänge von Grotthius aufgestellt wurde und jahrzehntelang aufrecht erhalten blieb. Nach dieser Theorie wird bei Stromdurchgang die eine Elektrode negativ, die andere positiv geladen. Gleichzeitig nahm Grotthius eine Ladung der Atome im Elektrolyten an, so daß z. B. bei der Zersetzung des Wassers die Wasserstoffatome positiv und die Sauerstoffatome negativ werden. Durch die Anziehung, welche die Elektroden ausüben, ordnen sich die Wassermoleküle und wenden die Wasserstoffseite der negativen, die Sauerstoffseite der positiven Elektrode zu. Ist die elektromotorische Kraft genügend groß, so werden bei den den Elektroden zunächst liegenden Wassermolekülen die entsprechenden Atome durch Ausgleichung der verschiedenen polaren Ladungen mit der Elektrode frei. Der Molekülrest vereinigt sich mit dem entgegengesetzt polaren Atom des nächsten Moleküls zu einem neuen

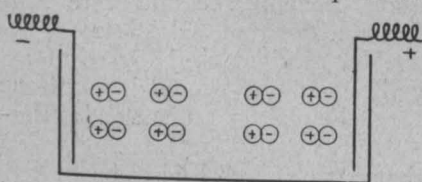


Abb. 1.

Molekül, dieses erfährt eine Drehung und der Vorgang geht in der gleichen Weise weiter. (Abb. 1.)

Zahlreiche einschlägige Arbeiten, speziell von Daniell und Berzelius, erschütterten allmählich die Theorie von Grotthius. Ihren Todesstoß erhielt sie durch Clausius, der zuerst darauf hinwies, daß die Grotthius'sche Annahme, daß die Zerlegung des Moleküls an eine bestimmte elektromotorische Kraft gebunden sei, mit dem Experimente in Widerspruch stehe. Es wurde nachgewiesen, daß bei geeigneten Arbeitsbedingungen, z. B. in der Anordnung Silber-Silbernitrat-Silber, schon bei einem minimalen Energieaufwande eine Zersetzung des Nitrates eintritt und das Silber von der Anode zur Kathode wandert. Das Festhalten am Affinitätsgesetze hinderte vielleicht Clausius, schon damals direkt zur heutigen Iontheorie zu gelangen.

Er stellte sich nur vor, daß die positiven und negativen Atome nicht fest verbunden, sondern im Schwingungszustande seien. Diese Schwingungen könnten nun so lebhaft werden, daß ein positives Atom zu dem negativen des benachbarten Moleküls in günstigere Lage kommen könne als zu dem des eigenen und dann mit ersterem weiter-schwinde. Es würde also dann ein fortwährender Austausch zwischen den positiven und negativen Teilchen der einzelnen Moleküle stattfinden. Die Konsequenz dieser Theorie ist nicht, wie bei Grotthius, die Zerlegung des Moleküls, sondern eine Regelung und Beschleunigung der Bewegung der geladenen Teilchen nach den entgegengesetzt geladenen Elektroden hin.

Doch auch die Clausius'sche Theorie war nicht imstande, auf die Dauer für alle Erscheinungen genügende Erklärung zu geben. Speziell die Arbeiten Hittorfs über die Wanderung der Ionen und die relativen Geschwindigkeiten ihrer Fortbewegung sowie die Arbeiten von Kohlrausch über die Leitfähigkeit der Elektrolyte verlangten nach neuen Erklärungen. Auf Grund der Ergebnisse der neuesten Forschung trat dann im Jahre 1887 an Stelle der Theorie von Clausius diejenige von Arrhenius, die Theorie der freien Ionen. Auf dieser Theorie haben Van 't Hoff, Ostwald, Nernst und Le Blanc das heutige moderne Gebäude der theoretischen Elektrochemie aufgebaut. Diese Theorie macht sich von den Anschauungen über die chemische Affinität unabhängig und fußt auf der elektrolytischen Dissoziation der Lösungen. Nach der Theorie von Arrhenius ist es nicht erst Arbeit des Stromes, die Moleküle im Elektrolyten in die Ionen zu spalten, sondern es sind die Elektrolyte in der wässrigen Lösung bereits in ihre beiden, mit den betreffenden elektrischen Ladungen behafteten Ionen dissoziiert. Es wird ferner angenommen, daß in der Lösung eines Elektrolyten die Ionen sich zwischen den Wassermolekülen regellos hin- und herbewegen, hingegen bestimmte Bahnen einschlagen, sobald zwischen zwei, in die Lösung eingesenkten Elektroden eine Potentialdifferenz besteht. Die Stromarbeit bei der Elektrolyse ist also die Überwindung des Widerstandes, welchen die Wassermoleküle der freien Bewegung der Ionen entgegensetzen. Es ist daher nach dieser Theorie die Stromleitung einer elektrolytischen Lösung von dem Vorhandensein freier Ionen abhängig.

Diesen neuesten Ansichten über die Elektrolyse angepasst, würde also das Faraday'sche Gesetz in der Ostwald'schen Formulierung lauten: „Alle Elektrizitätsbewegung erfolgt im Elektrolyten nur unter gleichzeitiger Bewegung der Ionen, u. zw. so, daß mit gleichen Elektrizitätsmengen sich chemisch äquivalente Mengen der verschiedenen Ionen bewegen“. Es hätten also dann äquivalente Mengen verschiedener Ionen gleichen Fassungsraum für elektrische Energie.

Auch für den technischen Elektrochemiker ist das Faraday'sche Gesetz von großer Bedeutung und ermöglicht ihm vor allem, die Stromausbeute eines elektrochemischen Vorganges zu berechnen.

Für die Beurteilung der praktischen Durchführbarkeit eines elektrolytischen Verfahrens ist jedoch auch die anzuwendende Zersetzungsspannung von Wichtigkeit, indem dieselbe in Verbindung mit der Stromausbeute den Energieverbrauch eines Verfahrens bedingt. Da nun in der Praxis aber auch den Stromdichten, den Apparattendimensionen, den Temperaturverhältnissen und Konzentrationen des Elektrolyten entscheidender Einfluß auf die Arbeitsbedingungen zukommt, so wird nur in den seltensten Fällen mit der theoretischen Zersetzungsspannung gearbeitet, dieselbe ist in der Regel eine wesentlich höhere, und hat die theoretische Zersetzungsspannung für den Praktiker nur den Wert, ihm ein Urteil über die Energieausnutzung eines Verfahrens zu ermöglichen. Für solche Zwecke bedient man sich heute noch mit Vorliebe der Thomson'schen Regel, wenn auch nachgewiesen ist, daß dieselbe nicht absolut zutrifft. Diese Regel beruht bekanntlich auf dem Satze von der Erhaltung der Energie und setzt die zur Zerlegung erforderliche elektrische Energie der Bildungswärme gleich.

Endlich ist die Leitfähigkeit der Elektrolyte und deren Abhängigkeit von der Temperatur für die Arbeitsbedingungen elektrochemischer Verfahren von einschneidender Bedeutung, und hat nach dieser Richtung Kohlrausch ein erschöpfendes Zahlenmaterial geliefert und in seinem Buche über die Leitfähigkeit der Elektrolyte niedergelegt.

Wenn ich nun zunächst zur Besprechung der in der Technik angewendeten rein elektrolytischen Verfahren übergehe, so möchte ich gerne vorausschieken, daß ich, wenn ich dem allgemein üblichen Vorgange folgen wollte, diese Verfahren in metallurgische, also auf die Gewinnung von Metallen hinzielende, und in solche zur Gewinnung chemischer Verbindungen einteilen und in den beiden Gruppen die Besprechung in der Reihenfolge der chemischen Systematik vornehmen müßte. Wie ich mir aber zu Beginn meiner Mitteilungen zu bemerken erlaubte, glaube ich, daß für Sie, meine Herren, die chemische Seite der Verfahren nicht von demselben Interesse sein dürfte wie die mechanisch-konstruktive. Ich will also versuchen, eine Einteilung der Verfahren nach der anzuwendenden Apparatur vorzunehmen, wenn auch diese Einteilung dem Chemiker vielleicht etwas paradox vorkommen mag.

Die diesbezügliche Gruppierung der elektrischen Verfahren ist aus der Tabelle I zu ersehen.

Von diesem Gesichtspunkte ausgehend, wären also die elektrolytischen Verfahren zunächst in zwei Hauptgruppen einzuteilen, von denen die eine sich der in Wasser gelösten, die zweite der geschmolzenen Elektrolyte bedient.

Die Elektrolyse gelöster Elektrolyte wird entweder in der Weise vorgenommen, daß der elektrische Apparat durch eine poröse, dem Stromdurchgange möglichst geringen, der Diffusion jedoch möglichst hohen Widerstand bietende, nicht leitende Scheidewand in zwei getrennte Elektrodenräume geteilt wird, oder diese Scheidewand wird nicht angewendet. Technisch gesprochen haben wir also Verfahren zu unterscheiden, die gelöste Elektrolyte mit oder ohne Diaphragma zersetzen.

Wenden wir uns zunächst dem Verfahren ohne Diaphragma zu. Wir haben es also bei solchen, ganz allgemein gesprochen, mit einem mit dem Elektrolyten gefüllten Gefaße zu tun, in welchem zwei Leiter erster Klasse in Platten- oder Stabform oder anderen, dem betreffenden Zwecke angepaßten räumlichen Dimensionen in den Elektrolyten eintauchen. (Abb. 2.)

Wir haben auch hier wieder zwei allgemeine Anwendungsformen zu unterscheiden, nämlich ob der positive Pol, die Anode, während des elektrolyti-

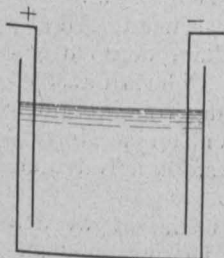


Abb. 2.

Tabelle I. Elektrolytische Verfahren.

Elektrolyte	Ohne Diaphragma		Mit Diaphragma		
	Geschmolz.	Gelöst.	Mit einem durchlässigen Diaphragma	Mit zwei durchlässigen Diaphragmen	
Ohne Diaphragma	Unlösliche Anode	Zerleg. v. Halogenverb.	Chlor an der Anode	Magnesium	
		Zerlegung von Oxyden oder Hydroxyden	Zerlegung eines geschmolzenen Hydroxydes	Natrium nach Castner	
			Zerleg. eines in einer geschmolzenen Verbindg. gelösten Oxydes	Aluminium nach	Hérault Hall Minet
		Lösliche Anode	Unveränd. Elektrolyt, Einf. Überführung des Anodenmetalles an die Kathode	Ohne Nebenprodukte an der Anode	Galvanoplastik Galvanostegie Herstellung von Metallgegenständen
			Veränderter Elektrolyt, Bildung von unlösl. Verb. des Anodenmetalls	Mit Nebenprodukten an der Anode	Raffination von Rohmetallen (Cu, Pb, Ag, Au) Weißblechzinnung
				Ohne Metallfällung an der Kathode	Schwefelkadmium Bleiweiß
	Unlösliche Anode	Wechselwirkung von Anion und Kation	Kalt in neutraler Lösung	Elektrische Bleiche	
			Warm in alkalischer Lösung	Chlorate Bromate	
		Metallfällg. a.d. Kathode, Säurezuwachs im Elektrolyten	Metallgewinnung	Kupfer aus Zementwässern Zink aus Sulfatlösungen	
			Galvanostegie (zum Teil)	Vergoldung (z. Teil)	
		Unlösliche Anode	Amalgambildung an der Kathode	Ohne Sekundärelektrode	Chlor und Alkali nach Castner
				Mit Sekundärelektrode	Chlor und Alkali nach Kellner
Mit Diaphragma	Unlösliche Anode	Gasgewg. an beiden Elektroden	—	Bleiweiß nach Brown	
		Freies Halogen an der Anode	Metallfällung an der Kathode	Wasserzersetzung nach Schmidt	
			Sonstige Vorgänge	Zink nach Höpfner Quecksilber nach Siemens & Halske	
		Oxydationsprozesse an der Anode	Metallfällung an der Kathode	Chlor und Alkali nach Elektron und Bitterfeld	
			Sonstige Vorgänge	Kupfer nach Höpfner Kupfer nach Siemens & Halske	
				Chromatregeneration Permanganat Persulfate Perkarbonate	
	Unlösliche Anode	Elektrolyt a. d. Elektroden	—	Zink nach Dieffenbach	
		Elektrolyt i. Mittelraum	—	Reinigung von Zuckersäften	
		Trennung von Gasen	Nichtleitende Scheidewand	Wasserzersetzung nach	Schoop Schuckert Hazard Flammand
			Leitende Scheidewand	Wasserzersetzung nach	Garuti Siemens- Brothers
			Schichtg. i. Elektrolyten	—	Chlor und Alkali nach Aussig
		Unlösliche Anode	Zerleg. v. Halogenverb.	Chlor an der Anode	Magnesium
Zerlegung eines geschmolzenen Hydroxydes	Natrium nach Castner				
Zerleg. eines in einer geschmolzenen Verbindg. gelösten Oxydes	Aluminium nach			Hérault Hall Minet	
Lösliche Anode	Unveränd. Elektrolyt, Einf. Überführung des Anodenmetalles an die Kathode		Ohne Nebenprodukte an der Anode	Galvanoplastik Galvanostegie Herstellung von Metallgegenständen	
	Veränderter Elektrolyt, Bildung von unlösl. Verb. des Anodenmetalls		Mit Nebenprodukten an der Anode	Raffination von Rohmetallen (Cu, Pb, Ag, Au) Weißblechzinnung	
			Ohne Metallfällung an der Kathode	Schwefelkadmium Bleiweiß	

schen Vorganges in Lösung geht, sich also chemisch an dem Vorgange beteiligt oder nicht. Wir sprechen also dann von Verfahren mit löslichen oder unlöslichen Anoden.

Die Elektrolyse mit löslichen Anoden ohne Diaphragma ist so ziemlich der einfachste Fall. Wenn wir z. B. die Anordnung $Cu | Cu SO_4 | Cu$ anwenden, so geht Kupfer von der Anode in Lösung und wird auf der Kathode niedergeschlagen. Der Elektrolyt als solcher bleibt also theoretisch unverändert. Derartige einfache elektrolytische

Systeme werden sowohl gewerblich als im großindustriellen Umfange angewendet.

Wie bereits erwähnt, ist die älteste derartige Anwendung die Galvanoplastik, bei welcher ein leitender oder leitend gemachter Gegenstand behufs Reproduktion desselben mit einer ablösbaren Schichte eines Metalles elektrolytisch überzogen wird. Das Charakteristische dieses Vorganges liegt also darin, daß ein Niederschlag von einer für weitere mechanische Beanspruchungen genügenden Dicke herzustellen ist, und daß dieser Niederschlag abhebbar sein muß. Die vielfachen Anwendungen der Galvanoplastik für dekorative oder Vervielfältigungszwecke sind Ihnen ja allen, meine Herren, so bekannt, daß ich darauf nicht näher einzugehen brauche.

Gewissermaßen eine Abart der Galvanoplastik, bei welcher es sich gewöhnlich nur um einen einzigen negativen Abdruck eines mehr oder weniger flachen Gegenstandes handelt, bildet die elektrolytische Darstellung von direkt verkäuflichen Gegenständen, also z. B. die Herstellung von Metallfolien, von Metallröhren nach dem Elmore-Verfahren, von Geschirren nach Nußbaum u. s. w. Als Beispiel können die Herren z. B. hier einen nach letzterem Verfahren hergestellten Kupferkessel samt dem dazugehörigen Modell sehen.

Soll der Niederschlag auf dem zu überziehenden Gegenstande festhaften, sei es um demselben entweder eine andere Farbe oder eine größere Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse oder aus dekorativen Gründen ein schöneres Ansehen zu geben, so haben wir es mit einer anderen gewerblichen Anwendung der Elektrolyse, der Galvanostegie, zu tun. Heute wird schon eine ganze Reihe von Metallen in der Galvanostegie angewendet. Es gehört also hieher die Vernickelung, Versilberung, Verzinnung, Verkupferung, Verstählung, Verzinkung, Verzinnung u. s. w. Diese Anwendungen haben für gewisse Metalle, wie z. B. Nickel, Gold, Silber, die älteren Methoden nahezu vollständig verdrängt, und auch bei der Verzinnung und Verzinkung, die bei der älteren Methode des Eintauchens in die geschmolzenen Metallbäder ziemliche Metallverluste bedingt, gewinnt die Elektrolyse immer mehr an Boden.

Bei all den besprochenen gewerblichen Anwendungen handelt es sich lediglich darum, ein bereits in reinem Zustande angewendetes Anodenmetall in gleicher Reinheit an die Kathode für einen bestimmten Zweck zu übertragen. Ein analoger Vorgang ist aber auch einzuhalten, wenn durch Elektrolyse ein unreineres Metall an der Anode in einen reineren, einen höheren Verkaufswert darstellenden Kathodenniederschlag übergeführt werden soll. Solche Verfahren bezeichnen wir als elektrolytische Raffinationsprozesse. Der Elektrolyt wird bei denselben so gewählt, daß die Verunreinigungen des Rohmetalles zum weitaus größten Teil als Schlamm an der Anode zurückbleiben. In der Regel werden Rohmetalle elektrolytisch raffiniert, welche geringe Mengen von wertvolleren Metallen enthalten, und bei welchen der Wert des Anodenschlammes, welcher abfällt, die Kosten der Raffination ganz oder zum größten Teile deckt. Der bekannteste und im größten Umfange angewendete derartige Raffinationsprozeß ist die Gewinnung des Elektrolytkupfers. Bei derselben wird Gold und Silber im Anodenschlamm gewonnen und reinstes Kupfer kathodisch gefällt. Als Elektrolyt dient saure Kupfersulfatlösung. In den vorliegenden Mustern sehen Sie, meine Herren, Proben von Anodenkupfer, Anodenschlamm und Elektrolytkupfer aus der Witkowitz Raffinerie.

Analoge Raffinationsprozesse werden auch bei anderen Metallen angewendet, so z. B. bei goldhaltigem Silber mit salpetersaurem Elektrolyten, wobei das Gold, bei platinhaltigem Gold in Chloridlösung, wobei das Platin, und bei silberhaltigem Blei in Plumbat- oder Acetatlösung, wobei

das Silber im Anodenschlamm gewonnen wird. Die Raffination von Rohmetallen, welche keine edelmetallhaltigen Schlämme geben, so z. B. des Rohzinks, Rohnickels u. s. w., haben bisher keine nennenswerten Erfolge zu verzeichnen. Zu den elektrolytischen Raffinationsprozessen wäre auch die Weißblechentzinnung zu zählen, bei welcher entweder in schwefelsaurer oder Stannatlösung der dünne, 3—5% betragende Zinnüberzug elektrolytisch wiedergewonnen und gleichzeitig die für den Hochofenbetrieb unverwendbaren Abfälle für die Eisengewinnung als willkommenes Material wieder verwertbar werden.

Bei einer kleinen Gruppe von elektrolytischen Verfahren mit löslichen Anoden ohne Diaphragma wird das in Lösung gehende Anodenmetall nicht an die Kathode übertragen, sondern geht mit dem Elektrolyten unlösliche Verbindungen ein. So werden z. B. bei dem im Transvaal sehr verbreiteten Siemens'schen Goldextraktionsverfahren die das Freigold enthaltenden Tailings mit sehr verdünnter Cyankaliumlösung zur Auslaugung des Goldes behandelt und die resultierenden Doppelcyanide des Goldes und Kaliums elektrolytisch unter Anwendung von Eisenanoden zersetzt. Es fällt Gold an der Kathode metallisch aus, während das Eisen mit dem Elektrolyten unlösliche Verbindungen eingeht, die dem Berlinerblau ähnlich zusammengesetzt sind und wieder auf Cyankalium verarbeitet werden. Nach analogen Verfahren, jedoch ohne Metallfällung an der Kathode werden einzelne unlösliche Metallsulfide, z. B. Schwefelkadmium, hergestellt, wenn man das betreffende Metall als Anode in einer Schwefelalkalilösung unter Anwendung einer beliebigen Kathode in Lösung bringt. Das betreffende Metallsulfid fällt dann aus. Auch Karbonate, z. B. Bleiweiß, stellt man nach ähnlichen Verfahren her.

Etwas anders liegen die Verhältnisse bei unlöslichen Anoden, wenn also das Anodenmaterial nicht in Lösung geht, also an dem chemischen Prozesse nicht teilnimmt, sondern nur die Stromleitung vermittelt. Die Materialien, aus welchen solche unlösliche Anoden hergestellt werden, richten sich nach der Zusammensetzung des Elektrolyten. Bei der Elektrolyse von Chloriden verwendet man entweder Platin, rein oder iridiumhaltig, in Blech- oder Drahtform oder künstliche Kohle in Platten oder Stangen. Bei schwefelsauren Lösungen wird ebenfalls Kohle oder reines Blei, eventuell Hartblei verwendet, für alkalische Elektrolyte können in manchen Fällen Eisenanoden mit Erfolg verwendet werden.

Eine charakteristische Gruppe von in diese Kategorie fallenden Verfahren bildet einen Teil jener elektrochemischen Fabrikationsmethoden, welche auf der Zersetzung der Alkalichloride beruhen. Wird z. B. Chlornatrium elektrolytisch mit unlöslichen Anoden zersetzt, so entsteht an der Anode Chlor, an der Kathode Ätznatron. Bei Abwesenheit eines Diaphragmas vereinigen sich diese Produkte wieder zu neuen Verbindungen. Wird der Elektrolyt neutral und kühl gehalten, so ist das Resultat dieser Wechselwirkung die Bildung von Natriumhypochlorit, einer stark bleichenden Verbindung, die infolge ihrer technischen Vorteile bei der Behandlung von vegetabilischen Fasern heute dem Chlorkalk sehr starke Konkurrenz bereitet. Wir haben es also dann mit der sogenannten elektrischen Bleiche zu tun. Wird der Elektrolyt alkalisch gehalten und erwärmt, so ist das Hauptprodukt das entsprechende Alkalichlorat, und bildet dieses Verfahren die Grundlage der heutigen schon sehr ausgebreiteten elektrolytischen Chloratindustrie. Analog geht der Vorgang bei der Zersetzung von Bromiden oder Jodiden vor sich, und kann ich Ihnen, meine Herren, hier z. B. eine Probe von elektrolytisch dargestelltem Natriumbromat zeigen.

Doch auch bei manchen Metallsulfatlösungen werden Verfahren mit unlöslichen Anoden ohne Diaphragma angewendet. So können z. B. die natürlich vorkommenden

kupferhaltigen, sogenannten Zementwasser auf Kupfer verarbeitet werden, oder es wird aus oxydischen, zinkhaltigen Materialien durch Laugung mit Schwefelsäure gewonnenes Zinksulfat zerlegt.

In beiden Fällen erhält man den entsprechenden Metallniederschlag an der Kathode, während an der Anode sich Schwefelsäure anreichert, also nach der Fällung ein metallarmer, aber stark schwefelsaurer Elektrolyt resultiert. Derselbe wird bei der Fällung von Zementwässern verloren gegeben, bei Fällung von Zinksalzen zur Extraktion neuen oxydischen Materiales verwendet.

In nur seltenen Fällen wird mit unlöslichen Anoden auch bei der elektrolytischen Vergoldung gearbeitet, wenn das Anlagekapital für die Goldanoden gescheut wird. Es verarmt dann der Elektrolyt an seinem Metallgehalte und muß auf rein chemischem Wege erneuert werden.

Dies wären im großen und ganzen die bisher in der Technik eingeführten elektrolytischen Verfahren mit wässrigen Elektrolyten, welche ohne Diaphragma arbeiten.

Ehe wir zu den Diaphragmaprozessen übergehen, wäre eine Gruppe von Verfahren zu erwähnen, welche zwar ohne Diaphragma arbeiten, aber doch gewissermaßen einen Übergang zu den Diaphragmenverfahren bilden. Ich meine die Verfahren mit Quecksilberkathoden.

Solche Verfahren dienen bisher technisch nur zur Zerlegung von Alkalichloriden, und zwar zur getrennten Darstellung der an den Elektroden auftretenden Produkte. Wird ein Alkalichlorid mit unlöslicher Anode und Quecksilber als Kathode elektrolytisch zerlegt, so entweicht an der Anode Chlorgas, an der Kathode vereinigt sich das Alkalimetall mit dem Quecksilber zu dem entsprechenden Alkali amalgam. Dieses Amalgam wird dann außerhalb des elektrolytischen Vorganges durch Zersetzung mit Wasser in das entsprechende Alkalihydrat und reines Quecksilber, welches in den Prozeß zurückkehrt, zerlegt, das anodisch gewonnene Chlor jedoch auf Chlorkalk verarbeitet. (Abb. 3.) Nach derartigen Verfahren arbeitet heute schon ein beträchtlicher Teil der ausgedehnten elektrolytischen Chlor- und Alkaliindustrie. In den diesbezüglichen, in der Praxis eingeführten Methoden, von denen wohl nur die von Castner und Kellner, in neuerer Zeit auch dasjenige von Rhodin, in Frage kommen, tritt nur insofern eine Differenzierung ein, als bei dem Castner-Verfahren die Amalgamzer-

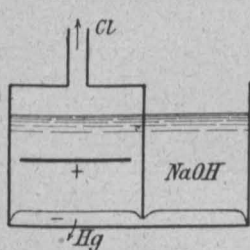


Abb. 3.

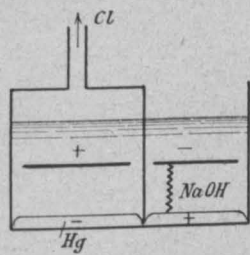


Abb. 4.

setzung rein chemisch durch Wasser erfolgt, während Kellner diese Zersetzung durch Anbringung einer mit dem Alkali amalgam kurzgeschlossenen Sekundärkathode aus Eisen unterstützt, also gewissermaßen ein kurzgeschlossenes Primärelement $\text{Na Hg} | \text{Na O H} | \text{Fe}$ etabliert.

(Abb. 4.) Die vorliegenden Proben von Ätznatron und Chlorkalk sind nach dem Kellner-Verfahren hergestellt und stammen von der Anlage des Syndikates Dr. Kellner in Jaice.

Wir kommen nun zu der zweiten großen Gruppe von elektrolytischen Verfahren, welche mit gelösten Elektrolyten arbeiten, zu den sogenannten Diaphragmenprozessen.

Wie bereits erwähnt, verstehen wir unter elektrolytischen Diaphragmen poröse Scheidewände aus nichtleitendem Material, welche zwischen den Elektroden angebracht werden. (Abb. 5.) Da diese Diaphragmen eine Trennung der durch den elektrolytischen Vorgang sich verschieden verändernden Flüssigkeiten an den Elektroden bewirken sollen, so wird stets angestrebt, dieselben aus solchen Materialien herzustellen, welche von dem Elektrolyten möglichst wenig angegriffen werden, dem Stromdurchgang geringen Widerstand entgegensetzen, aber die Diffusion möglichst verhindern. Von solchen Materialien kommen bisher für die Praxis hauptsächlich in Betracht: Tonplatten,

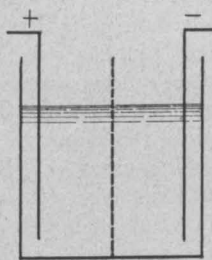


Abb. 5.

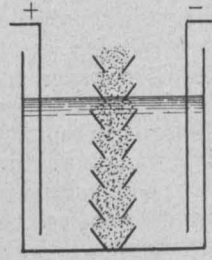


Abb. 6.

Pergamentpapier, nitrierte Cellulose, Zementplatten, gegossene Seife, Holz, Baumwollgewebe, Asbestpappe. Diese Materialien werden hie und da noch mit anderen Materialien behufs Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse imprägniert. In einzelnen Fällen wird auch die im Elektrolyten gelöste Verbindung in fester Form durch ein unlösliches, nichtleitendes Gerüste in Gestalt einer senkrechten Wand eingefüllt, so daß ein Salzdiaphragma entsteht, welches auch gleichzeitig die Nachsättigung bewirkt. (Abb. 6.)

In weitaus den meisten Fällen wird nur ein Diaphragma zwischen den Elektroden angewendet, nur ausnahmsweise deren zwei, worauf ich später ganz kurz zurückkommen werde.

Lösliche Anoden kommen bei Diaphragmenverfahren nahezu gar nicht zur Anwendung. Mir ist momentan nach dieser Richtung nur ein Verfahren, der Brown'sche Bleiweißprozeß, in Erinnerung, bei welchem beide Elektrodenräume mit Salpeterlösung gefüllt sind, im Anodenraume durch Lösung der Bleianoden Bleinitrat, im Kathodenraume die äquivalente Menge Ätznatron entsteht. Durch Vermischung der Lösungen außerhalb des Elektrolyseurs fällt Bleihydrat aus, welches rein chemisch auf Bleiweiß weiter verarbeitet wird.

Alle anderen Diaphragmenverfahren arbeiten mit unlöslichen Anoden. Der einfachste Fall ist der, daß an beiden Elektroden gasförmige Produkte gewonnen werden und das Diaphragma nur den Zweck hat, mechanisch eine Mischung der Gase zu verhindern. Hieher gehört ein Teil der elektrolytischen Wasserzersetzung-Apparate, welche die getrennte Darstellung von Wasserstoff und Sauerstoff zum Zwecke haben, also die Verfahren von Schmidt, Renard, Latchinoff und anderen, von welchen heute nur mehr das erstere Verfahren praktisch Anwendung findet.

Eine zweite Gruppe von Diaphragmenverfahren mit unlöslichen Anoden entwickelt am positiven Pole freies Halogen, z. B. Chlor oder Brom, und hat das Diaphragma den Zweck, eine Einwirkung dieses Halogens auf das Kathodenprodukt zu verhindern. Bei einem Teile solcher Verfahren ist das Kathodenprodukt ein Metall. Bei dem Höpfner'schen Zinkverfahren wird z. B. eine Zinkchloridlösung mit Diaphragmen zersetzt. Das an der Anode entweichende Chlor wird auf Chlorkalk verarbeitet, an der Kathode fällt Zink aus. Derartiges Zink gehört heute zu den reinsten Handelsmarken, und sehen die Herren hier

eine Probe solchen ungeschmolzenen Elektrolytzinks aus den Werken von Brunner, Mond & Co. in Northwich.

Bei dem Quecksilberverfahren von Siemens & Halske wird eine Lösung von Quecksilberbromid in Bromnatrium zerlegt. Der Elektrolyt im Anodenraume reichert sich an freiem Brom an, welches zur Laugung neuen Rohmaterials verwendet wird, im Kathodenraume wird Quecksilber niedergeschlagen.

In beiden Fällen würde, wenn kein Diaphragma vorhanden wäre, das Halogen der Anode auf den Kathoden niederschlag chemisch einwirken.

Das Kathodenprodukt kann aber auch eine in Lösung bleibende chemische Verbindung sein. Zersetzen wir ein Alkalichlorid mit unlöslicher Anode und Diaphragma, so erhalten wir wieder an der Anode Chlorgas, an der Kathode eine Lösung des Alkalihydrates neben unzersetztem Chlorid. Auf diesem Prinzip beruht ein anderer Teil der heute in ausgedehntem Maße betriebenen elektrolytischen Chlor- und Alkaliindustrie, und haben speziell die Verfahren von Elektron und Bitterfeld Eingang gefunden. Die Herren sehen hier sechs Proben aus der nach solchen Verfahren arbeitenden Anlage der Chemischen Fabrik Griesheim-Elektron in Griesheim bei Frankfurt a. M., und zwar Ätzkali, Ätznatron, Pottasche, rohe und technisch reine Ätzkalilauge und Chlorkalk.

Bei einer dritten Gruppe von Verfahren mit unlöslicher Anode entsteht an letzterer Sauerstoff, der aber nicht in freiem Zustande gasförmig entweicht, sondern zu chemischen Oxydationsvorgängen im Anodenraume verwendet wird. Solche Verfahren stellen in der Regel chemische Kreislaufprozesse dar. Zu erwähnen wären von metallurgischen Verfahren die Kupfergewinnungsprozesse von Höpfner, von Siemens & Halske und die Höpfner'sche Nickelgewinnung, von sonstigen die elektrolytische Chromatregeneration der Höchster Farbwerke, die Darstellung der Permanganate, Perkarbonate und Persulfate. Als Beispiel kann ich Ihnen, meine Herren, Nickel und Kupfer aus der nach Höpfner'schem Verfahren arbeitenden Anlage der Elektrometallurgischen Gesellschaft in Papenburg a. d. Ems vorführen.

Die Verwendung zweier paralleler Diaphragmen zwischen den Elektroden (Abb. 7), in welchem Falle dann drei getrennte Räume entstehen, kommt nur in den seltensten Fällen vor, und zwar entweder, wenn es sich darum handelt, zwischen den eigentlichen Elektrodenräumen, also im Raume zwischen den beiden Diaphragmen, eine Flüssigkeit zirkulieren zu lassen, wodurch eine Diffusion zwischen den beiden Elektrodenräumen, wie z. B. beim Dieffenbach'schen Zinkverfahren, noch weitgehender vermieden werden soll als durch Anwendung eines Diaphragmas allein, oder wenn die eigentlich zu behandelnde Flüssigkeit aus speziellen chemischen Gründen nicht mit den Elektroden in Berührung kommen soll. Wenn z. B. der Diffusionsaft der Zuckerrübe in die mittlere, elektrodenlose Kammer gebracht wird, so beteiligt sich der Zucker nicht an der Elektrolyse, wohl aber wandern die verunreinigenden Salze und sonstigen Melassebildner elektrolytisch an die entsprechenden Elektroden, die Zuckerlösung im Mittelraume wird also ärmer an Fremdstoffen.

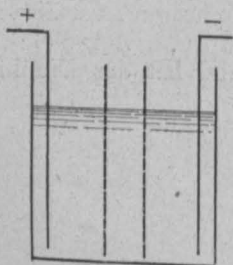


Abb. 7.

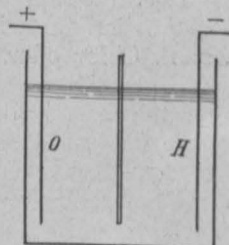


Abb. 8.

Bei all den besprochenen Diaphragmenprozessen haben wir es mit porösen, für den Strom also durchlässigen Scheidewänden zu tun, welche also die Elektrodenräume vollständig voneinander trennen.

In einigen Fällen werden aber auch undurchlässige Scheidewände benützt, die dann natürlich nicht den ganzen Querschnitt des elektrolytischen Zersetzungsgefäßes absperrern dürfen, sondern einen Spalt, gewöhnlich am Boden, für den Stromdurchgang frei lassen. (Abb. 8.) Wenn wir es also hier zwar nicht mit Diaphragmen im eigentlichen Sinne des Wortes zu tun haben, so sind derartige Verfahren doch noch am ehesten zu den Diaphragmenprozessen zu zählen. Solche Scheidewände dienen gewöhnlich nur zur mechanischen Trennung von gasförmigen Produkten der Elektrolyse und werden z. B. bei der elektrolytischen Wasserzersetzung angewendet. Die Scheidewände können sowohl aus nichtleitendem Material, z. B. Hartgummi oder glasiertem Ton, wie bei den Apparaten von Schuckert, Schoop und Hazard-Flammand, oder aus Metallblechen oder Netzen, wie bei den Apparaten von Garuti oder Siemens Brothers, ausgeführt werden. Im letzteren Falle muß natürlich die Betriebsspannung kleiner sein als die doppelte theoretische Zersetzungsspannung, da sonst eine bipolare Schaltung der metallenen Scheidewand eintreten würde.

Außer der Trennung von Gasen können aber solche undurchlässige Scheidewände auch Schichtungen im Elektrolyten, welche durch Dichtenunterschiede hervorgerufen werden, ermöglichen, und wäre als ein Beispiel das sogen. Aussiger Glockenverfahren für die elektrolytische Chlor- und Alkaligewinnung anzuführen, bei welchem die Anode in einer Glocke untergebracht ist, welche das entweichende Chlorgas abführt, während die Kathoden sich außerhalb der Glocke befinden, und das an denselben entstehende spezifisch schwerere Ätzkali sich auf dem Boden des Elektrolyseurs schichtet und abgezogen wird. (Abb. 9.)

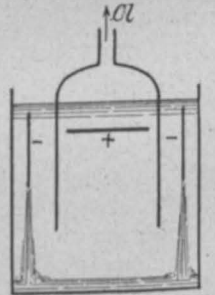


Abb. 9.

Eine bezüglich der Anzahl der Verfahren viel kleinere Gruppe bilden die elektrolytischen Methoden, welche geschmolzene Elektrolyte anwenden. Dieselben nehmen jedoch in Bezug auf den Produktionsumfang einen sehr wichtigen Platz in der elektrochemischen Industrie ein. Wir haben es hier in erster Linie mit der Gewinnung jener Metalle zu tun, welche sich aus wässrigen Lösungen nicht elektrolytisch abscheiden lassen, also mit den Alkali-, Erdalkali- und Erdmetallen, dem Kalium, Natrium Lithium, Calcium, Baryum, Strontium, Magnesium, Aluminium u. s. w. Von industrieller Bedeutung sind bisher nur das Natrium, Magnesium und Aluminium. Nahezu alle technischen Verfahren zur Gewinnung der genannten Metalle arbeiten ohne Diaphragma und mit unlöslichen Anoden.

Das Magnesium wird durch Elektrolyse des geschmolzenen Chlorides gewonnen, man erhält also Chlor als Nebenprodukt. Eine Probe Magnesiumpulver aus der Anlage in Griesheim liegt vor.

Zur Gewinnung des Natriums bedient man sich heute nahezu ausschließlich des Castner'schen Verfahrens, welches geschmolzenes Ätznatron zersetzt. Die vorliegende Probe von metallischem Natrium stammt aus den elektrochemischen Werken Rheinfelden.

Das Aluminium wird heute ausschließlich durch Zerlegung von reiner Tonerde gewonnen. Die letztere wird auf rein chemischem Wege aus dem sogenannten Bauxit oder Wocheinit gewonnen und in einem schmelzflüssigen Bade von Fluoriden der Elektrolyse unterworfen. Die diesbezüglichen heute in der Praxis angewendeten Verfahren wurden von Héroult, Hall, Kiliari und Minet aus-

gearbeitet. Die vorliegenden Proben von Aluminium in Barren, Granalien, Gries und Pulver stammen aus der Anlage Lend-Gastein der Aluminium-Industrie-A.-G. in Neuhausen.

Hiemit hätten wir in allgemeinen Zügen die eine große Abteilung von elektrochemischen Verfahren, die elektrolytischen Prozesse, besprochen.

Ehe wir uns der zweiten großen Abteilung, den elektrothermischen Prozessen, zuwenden, möchte ich noch mit wenigen Worten die bei manchen elektrolytischen Prozessen angewendete, sogenannte bipolare Schaltung besprechen.

Die Betriebsspannung bei den meisten elektrolytischen Verfahren ist eine verhältnismäßig niedrige, sie übersteigt nur selten 10 Volt und geht bei Raffinationsprozessen bis auf einige Zehntel Volt herunter. Man muß daher, wenn man zu halbwegs annehmbaren Spannungen bei der Betriebsdynamo kommen will, die einzelnen Apparateinheiten in Serie schalten. Es gibt dies natürlich viele zu überwachende Kontakte und ein ausgedehntes Leitungsnetz, was bei elektrochemischen Betrieben mit Rücksicht auf die gewöhnlich in der Atmosphäre enthaltenen Gase und Dämpfe keine Annehmlichkeit ist. Außerdem sind dadurch oft komplizierte Rohrleitungssysteme für Zufuhr des Elektrolyten, Abfuhr von gasförmigen oder flüssigen Produkten, Wasserersatz, Kühlwasser u. s. w. erforderlich. Bei vielen Verfahren läßt sich diese Anordnung nicht umgehen, und müssen die daraus erwachsenden Betriebsunannehmlichkeiten in den Kauf genommen werden. Bei manchen Verfahren hingegen, und zwar speziell bei solchen mit unlöslichen



Abb. 10.

Anoden, können die Elektroden direkt als Zellenwände ausgebildet werden, so daß dieselben dann direkt die Serienschaltung der Zellen bewirken. (Abb. 10.) Die beiden Elektrodenseiten haben dann natürlich entgegengesetzte Polarität. Diese bipolaren Elektroden werden entweder in die mit Nuten versehenen Elektrolyskästen eingeschoben

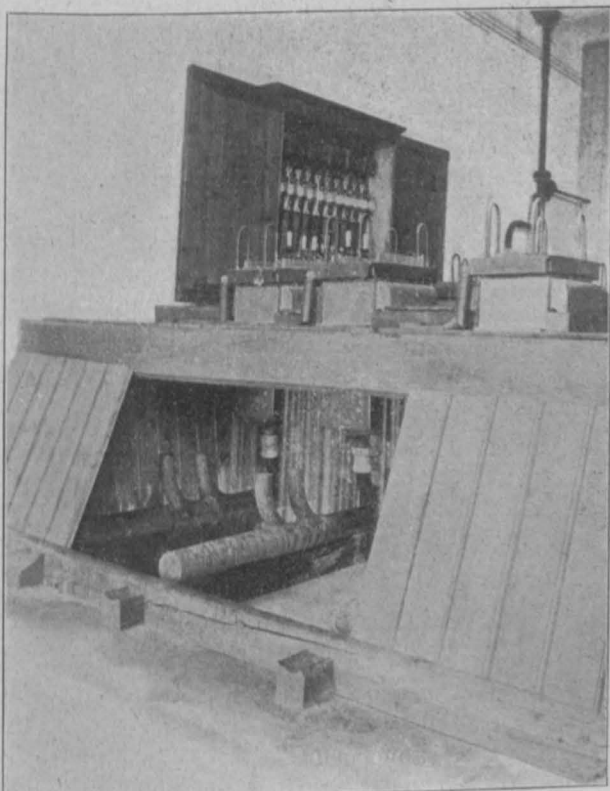


Abb. 12.

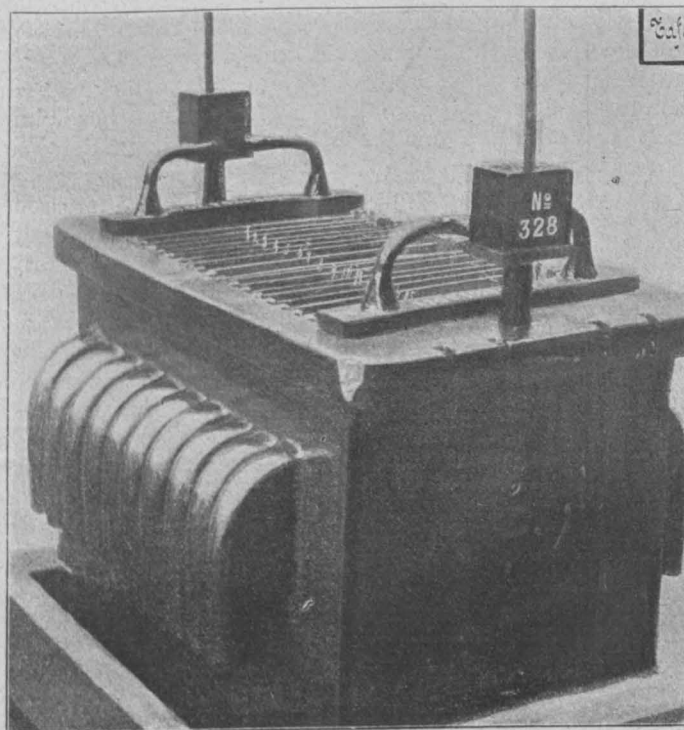


Abb. 11.

oder, getrennt durch isolierende Rahmen, eventuell Diaphragmen, in Form einer Filterpresse zusammengebaut. Als typische Beispiele zweier solcher Ausführungsformen sehen die Herren in Abb. 11 einen Elektrolyseur zur Herstellung von Bleichflüssigkeit nach System Kellner-Siemens & Halske, bei welchem mit Platiniridiumdraht umwickelte Glasplatten in Nuten eines Steinzeugkastens eingeschoben sind. Die Abb. 12 und 13 zeigen solche Apparate im Betriebe. Abb. 14 zeigt einen Wasserzersetzungsschmidt'schen Systemes, der dem Aussehen nach einer Filterpresse ganz ähnlich ist. Durch derartige Anordnungen, welche meist bei kleineren Betrieben zur Verwendung kommen, ist es möglich, elektrolytische Anlagen direkt an vorhandene Gleichstrom-Lichtleitungen anzuschließen.

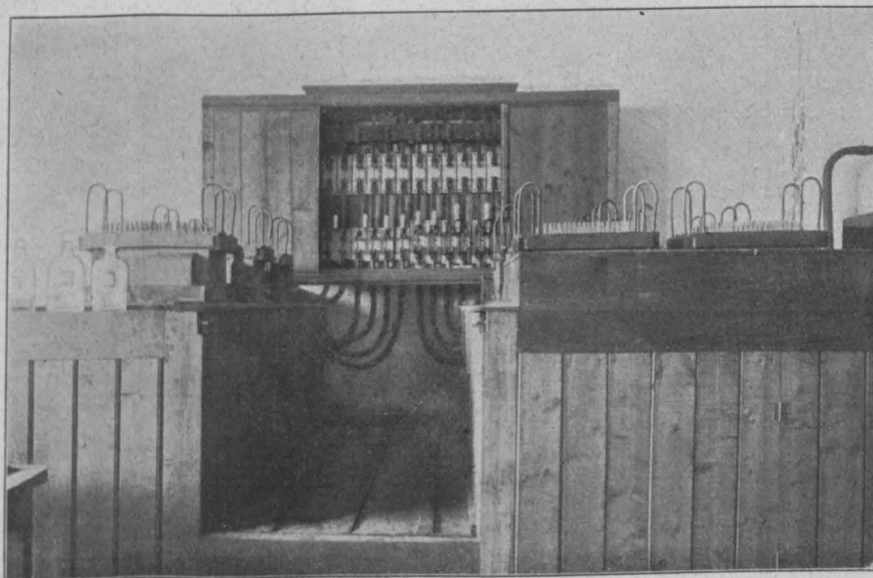


Abb. 13.

Nach dieser kurzen Abschweifung wollen wir zu der zweiten großen Abteilung von elektrochemischen Verfahren, den elektrothermischen Prozessen, übergehen.

Bei diesen Verfahren wird elektrische Energie in Wärme umgesetzt. Für derartige Prozesse hat also das

Faraday'sche Gesetz keine Giltigkeit. Bekanntlich ist die in einem Leiter auftretende Wärme $ei = wi^2$, wobei w den Widerstand des Leiters, i die Stromstärke, e die Spannungsdifferenz an den Enden des Leiters bezeichnet. Durch Multiplikation mit 0,236 erhält man dann den Wert in Gramm-Kalorien.

Während die elektrolytischen Prozesse nur im großen und ganzen neue Wege wiesen, um zu bereits bekannten Körpern zu gelangen, und die Darstellung neuer Körper, wie der Persulfate und Perkarbonate, Ausnahmefälle bildet, hat uns die Umsetzung von Elektrizität in Wärme eine neue Chemie der hohen Temperaturen eröffnet, ein Gebiet, welchem wir heute schon eine ganze Reihe neuer, teilweise auch industriell verwertbarer Körper verdanken. Das Gebiet liegt noch in weiten Grenzen unaufgeschlossen vor uns und läßt noch viele Erfolge erwarten.

Die Erfolge der elektrothermischen Versuche in theoretischer und praktischer Richtung lassen sich auf drei

transformatoren benutzen kann, was bei den Anlagekosten nicht unerheblich ins Gewicht fällt.

Die Chemie und technische Ausbildung der elektrothermischen Verfahren fällt eigentlich in die letzten zwei Dezennien des verflossenen Jahrhunderts. Man kann also von einer historischen Entwicklung hier noch kaum sprechen. In den Achtzigerjahren hat Borchers bei seinen Arbeiten über das Verhalten der Metalloxyde beim Erhitzen mit Kohle im Kurzschlußofen den Satz ausgesprochen, daß ihm die Reduktion sämtlicher Metalloxyde gelungen sei. Die Prioritätsansprüche, die Borchers aus diesem Satze ableitete, und auf Grund welcher er sich literarisch oft gegen die Patentwürdigkeit mancher elektrothermischer Spezialverfahren ausgesprochen, dürften meiner Ansicht und nach Ansicht vieler Fachgenossen wohl zu weit gegriffen sein. Die wissenschaftliche Detaillierung der chemischen Vorgänge, die sich bei 3000° C. und darüber abspielen, ist wohl in erster Linie das Verdienst Moissans. Diese Unter-

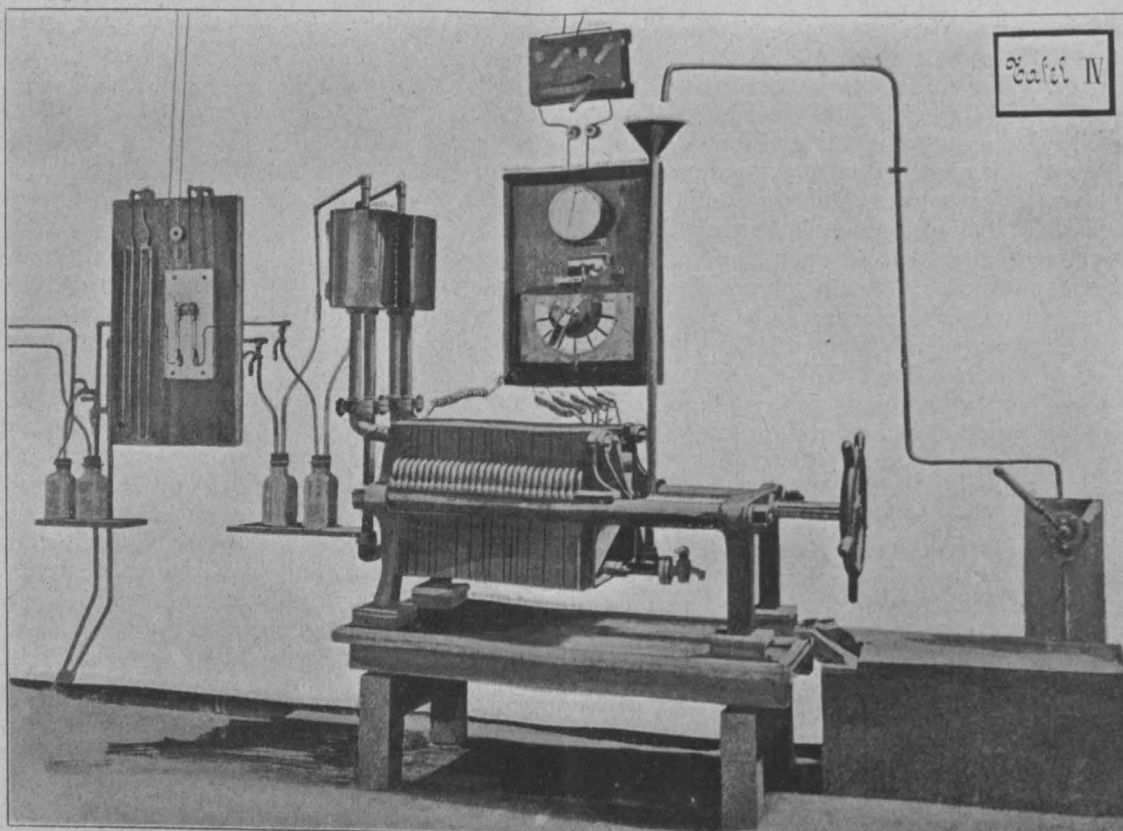


Abb. 14.

Fundamentalursachen zurückführen, welche Borchers in seinem Buche über den Bau und Betrieb elektrischer Öfen treffend in folgender Weise zusammenfaßt:

1. Kein anderes Erhitzungsmittel ermöglicht die Erreichung auch nur annähernd gleicher Wärmegrade.

2. Kein anderes Erhitzungsmittel gestattet die Konzentration fast beliebig großer Wärmemengen auf einen beliebig kleinen Raum.

3. Keine andere Erhitzungsmethode macht uns so unabhängig von den Einflüssen des Ofenbaumaterials, der Feuergase und anderer Schwächen der eigentlichen Feuerungstechnik.

Zu diesen Vorteilen kommt noch der fördernde Umstand hinzu, daß es für elektrothermische Verfahren in der Regel gleichgültig ist, ob Gleichstrom, Wechselstrom oder Drehstrom zur Anwendung gelangt, man also in jenen Fällen, wo die elektrochemische Anlage in größerer Entfernung von der Kraftzentrale gelegen ist, welcher Fall bei Wasserkraften oft eintritt, nicht an Gleichstromumformer gebunden ist, sondern einfache Wechsel- oder Gleichstrom-

suchungen wurden von Moissan und seinen Schülern in den Neunzigerjahren in rascher Aufeinanderfolge durchgeführt und in seinem Buche über den elektrischen Ofen zusammengefaßt.

Wir können die elektrothermischen Verfahren in zwei große Abteilungen trennen, die ich als Produktionsverfahren und Bearbeitungsverfahren bezeichnen möchte, je nachdem, ob es sich um die Herstellung von Körpern handelt, die eine von dem Rohmaterial verschiedene Zusammensetzung haben, oder aber ein Metall oder eine Verbindung durch den Strom nur mechanisch behandelt, z. B. geschmolzen, geschweißt oder gelötet werden soll.

Die elektrothermischen Produktionsverfahren können nach zwei grundverschiedenen Prinzipien durchgeführt werden. Das eine Prinzip beruht auf der Erhitzung von Leitern durch Ströme abnormaler Dichte, also auf der Widerstandserhitzung. Wir haben es also hier mit relativ niederen Spannungen und hohen Stromstärken zu tun. Die zu erhitzende Substanz kann selbst als Widerstand

in einen Stromkreis eingeschaltet sein oder sich in Berührung mit einem elektrisch geheizten Widerstande befinden. Das zweite Prinzip benützt die Lichtbogenerhitzung, arbeitet also mit verhältnismäßig hoher Spannung bei niedriger Stromstärke. Die zu erhitzende Substanz kann hierbei entweder einen oder beide Pole des Lichtbogens selbst bilden oder sich in einem durch den Lichtbogen erhitzten Raume befinden.

Einige in die Technik eingeführte elektrothermische Verfahren wollen wir nun ganz kurz besprechen, und habe ich Ihnen in Tabelle II zur leichteren Übersicht eine schematische Einteilung der elektrothermischen Verfahren zusammengestellt.

Tabelle II. Elektrothermische Verfahren.

Produktionsverfahren	Widerstandserhitzung		Elemente zu anderen Modifikationen	Graphitisieren von Elektroden Graphit nach Acheson Torfkohle nach Jepsen	
	direkte	indirekte			
Lichtbogenerhitzung	Verbindungen zu Elementen	—	—	wird praktisch nicht durchgeführt	
		—	Karborundum nach Acheson	—	
	Verbindungen zu anderen Verbindungen	—	—	Stahl aus Eisen nach Kjellin	—
		—	—	—	—
Metalle	—	—	Silizium Phosphor	—	
	—	—	Eisen schwer schmelzbare Metalle (Cr, Mn, Mo, Wo, Ur, Va, Ti)	—	
Metalle mit Metalloiden	—	—	Karbide, Boride, Silizide Phosphide Oxyde	—	
	—	—	Ferrochrom, Ferrotitan Ferrowolfram, Ferromangan Vanadinkupfer	—	
Schmelzen und Löten	—	—	—	Schweißen	
	Metalle	—	Der eine Pol vom zu bearbeitenden Gegenstand gebildet	Schmelzen und Löten	
		—	Der Gegenstand bildet keinen Pol des Lichtbogens	Schmelzen und Löten	
Verbindungen	—	—	—	Schmelzen von Glasflüssen und Porzellan	

Bei sämtlichen elektrothermischen Produktionsverfahren können wir nach der Art des herzustellenden Produktes nachstehende Gruppen unterscheiden:

1. Umwandlung eines Elementes in eine andere Modifikation.

2. Darstellung von Elementen, sowohl Metallen als Metalloiden, durch Reduktion ihrer Verbindungen mittels Kohlenstoffes.

3. Umwandlung von in der Regel sauerstoffhaltigen Verbindungen in andere Körper, wobei gewöhnlich der Sauerstoff durch ein Metall oder Metalloid ersetzt wird. Hieher gehört also einerseits die Herstellung von Legierungen der Schwermetalle mit Vanadin, Titan, Wolfram, Chrom, Mangan, Molybdän, Uran u. s. w., andererseits die Herstellung von Karbiden, Boriden, Siliziden, Phosphiden u. s. w.

Die Widerstandserhitzung wird heute fast ausschließlich direkt durchgeführt, indem, wie bereits erwähnt, der zu erhitzende Körper entweder selbst den Widerstand bildet oder mit einem elektrisch erhitzten Widerstande in Berührung ist. In neuerer Zeit sieht man

aus vielfachen Patentanmeldungen das Bestreben, eine Erhitzung in der Weise durchzuführen, daß der elektrische Ofen in der Art eines Transformators ausgebildet wird, bei welchem die zu erhitzende Masse die sekundäre Wicklung darstellt. Derartige Ausführungen hätten wohl manche Vorteile, insbesondere dadurch, daß das Schmelzgut der Einwirkung des Elektrodenmaterials vollständig entzogen werden könnte. Praktisch eingeführt sind aber solche Anordnungen bis heute mit Ausnahme einer Anlage in Schweden, welche nach Kjellin auf elektrothermischen Wege Stahl herstellt, noch nicht.

Ein Beispiel einer direkten Widerstandserhitzung, bei welcher ein Element in eine andere Modifikation übergeführt wird, bildet die Graphitisierung von Kohlenelektroden für elektrolytische Zwecke. Die künstlichen Kohlenstäbe werden hierbei in Kohlenpulver eingepackt und durch den Strom auf Rot- bis Weißglut erhitzt. Die Elektroden werden dadurch teilweise graphitisiert und zeigen dann eine größere Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse. Derartige Elektroden werden mit Vorteil bei elektrolytischen Vorgängen, welche energisch wirkende Anodenprodukte geben, z. B. bei der Chlor- und Alkali-Elektrolyse, angewendet.

Ein ähnlicher Vorgang ist die in neuester Zeit praktisch durchgeführte Umwandlung von Kohlenstoff in künstlichen Graphit nach dem Acheson-Verfahren. Acheson geht hierbei von der Tatsache aus, daß Karbide sich bei weiterer Erhitzung zersetzen und graphitischen Kohlenstoff als Rückstand geben. Da nun in allen Kohlenarten eine größere oder geringere Menge von Aschenbestandteilen vorhanden ist, so wird beim Erhitzen Karbidbildung eintreten. Diese geringen Karbidmengen zersetzen sich unter Bildung von Graphit, während die freigewordene Base zu neuer Karbidbildung mit amorphem Kohlenstoff Veranlassung gibt. Es wäre also dieses Verfahren ein mehr katalytischer Vorgang. Das Verfahren hat in Nordamerika praktische Einführung gefunden, und sehen die Herren in den vorliegenden Proben ein Stück Anthrazit und daraus dargestellten Graphit aus der Anlage der Acheson Graphite Co. in Niagarafalls. Zur Begründung seiner Theorie, daß die Graphitbildung infolge intermediärer Karbidbildung erfolge, sendete mir Acheson eine Probe Graphit, welche aus Siliziumkarbid, Karborundum, durch elektrische Erhitzung erhalten wurde. Wenn Sie dieses Stück, welches ich Ihnen auch mitgebracht habe, mit den ebenfalls vorliegenden Proben von kristallisiertem Karborundum vergleichen, so werden Sie sehen, daß das Graphitstück die Kristallform des Karborundums beibehalten hat, also die Annahme Achesons über die Art und Weise der Bildung wohl zutreffend sein dürfte.

Zu dieser Gruppe von Verfahren wäre wohl auch die Jepsen'sche elektrische Torfverkohlung zu zählen, bei welcher in elektrisch geheizten Retorten Torf in Torfkohle übergeführt, also aus einem minderwertigen Brennmaterial von 3500—4000 Kalorien ein höherwertiges mit 6000—6500 Kalorien gewonnen wird. Solche Torfkohle wird auch auf rein thermischem Wege, z. B. nach dem Ziegler'schen Verfahren, erzeugt und soll speziell als Ersatz für Holzkohle dienen, wofür sie infolge des geringen Aschen-, Schwefel- und Phosphorgehaltes speziell für metallurgische Zwecke wohl geeignet erscheint. Da wir es jedoch bei diesem Verfahren mehr mit einer Art trockener Destillation zu tun haben und die hierbei notwendige Temperatur nicht so hoch ist, daß die Anwendung des Stromes unbedingt erforderlich wäre, so ist ein solches Verfahren, strenge genommen, nicht eigentlich zu den elektrothermischen Prozessen zu zählen. In den vorliegenden Proben von Stichtorf, Preßtorf und durch elektrische Erhitzung erzeugter Torfkohle sehen die Herren Muster aus der Torfverkohlungsanlage von Jepsen in Stauffjorden in Norwegen.

Die Darstellung von Elementen aus ihren Verbindungen durch Reduktion mit Kohle im Widerstandsofen wird meines Wissens in der Praxis nicht durchgeführt, mir ist wenigstens momentan kein derartiger Fall in Erinnerung.

Auch für die Herstellung von chemischen Verbindungen hat der Widerstandsofen keine große Verbreitung gefunden. Für die Herstellung von Kalziumkarbid wurde er mehrfach vorgeschlagen, aber überall vom Lichtbogenofen verdrängt. Wohl wird aber das Siliziumkarbid, die als Karborundum allgemein bekannte Silizium-Kohlenstoff-Verbindung, im Widerstandsofen nach dem Acheson-Verfahren aus Kieselsäure und Kohle hergestellt. Die hohe Härte und die Widerstandsfähigkeit dieses Materials gegen chemische Einflüsse ist Ihnen, meine Herren, ja ebenso bekannt wie dessen Anwendungen. Ich kann Ihnen in den vorliegenden Mustern eine besonders schöne Druse aus den Werken der Car-

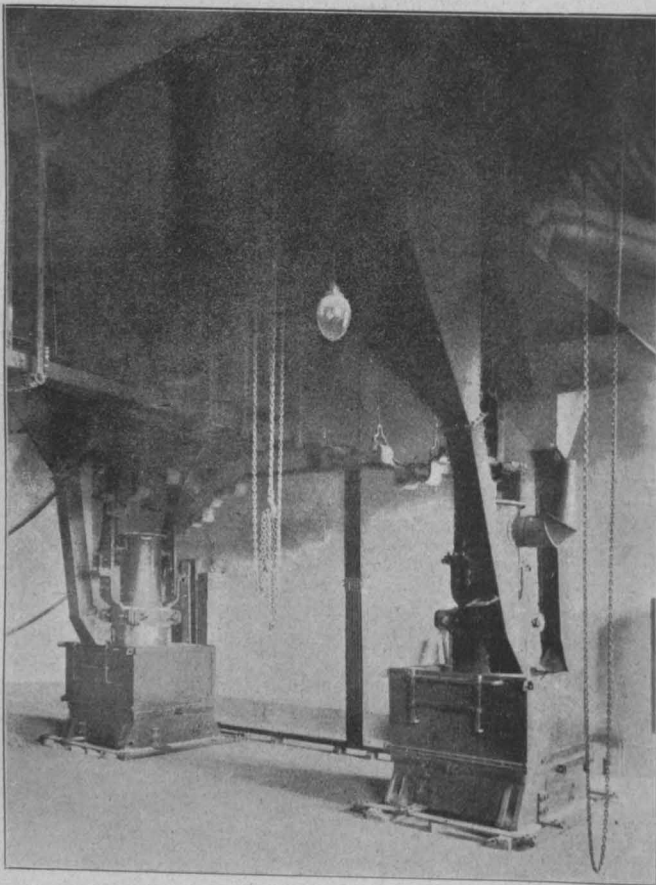


Abb. 15.

borundum Co. in Niagarafalls sowie eine Sammlung von Schleifpulvern verschiedenster Feinheit aus denselben Werken zeigen. Die vorliegende Sammlung von Schleifwerkzeugen aus Karborundum stammt aus den Karborundumwerken Benatek.

Eine viel größere Anzahl von elektrothermischen Verfahren arbeitet nach dem Prinzip der Lichtbogen-

erhitzung. Von Elementen wird z. B. der Phosphor heute schon in großen Mengen elektrothermisch durch Reduktion einer Mischung von Kalziumphosphat und Sand mit Kohle dargestellt.

Ein anderes Element, dessen Darstellung in größeren Mengen und kristallinen Massen erst der elektrische Ofen ermöglichte, ist das Silizium. In der vorliegenden Probe sehen die Herren reines Silizium, welches nach dem Scheid'schen Verfahren durch Reduktion von Silikaten mittels Kohle von der Fabrik Elektrometallurgischer Produkte in Frankfurt-Bockenheim dargestellt wurde.

Von Metallen wird heute versuchsweise das Eisen nach Stassano im elektrischen Ofen gewonnen. Ferner ermöglicht derselbe speziell die Darstellung schwer schmelzbarer Metalle, wie des Chroms, Mangans, Molybdäns, Wolframs, Urans, Vanadins und Titans. Für solche Metalle ist allerdings dem elektrischen Ofen in neuerer Zeit in dem Goldschmid'schen Verfahren, welches bekanntlich auf der Reduktion von Oxyden durch Aluminium beruht, ein ernsthafter, nicht zu unterschätzender Konkurrent entstanden.

Die ausgedehnteste Anwendung hat der elektrische Lichtbogenofen für die Herstellung von Verbindungen gefunden, bei welchen die Reduktionskohle an die Stelle des Sauerstoffes in ein Oxyd eintritt, also sogenannte Carbide oder Karbure erhalten werden. Das technisch wichtigste

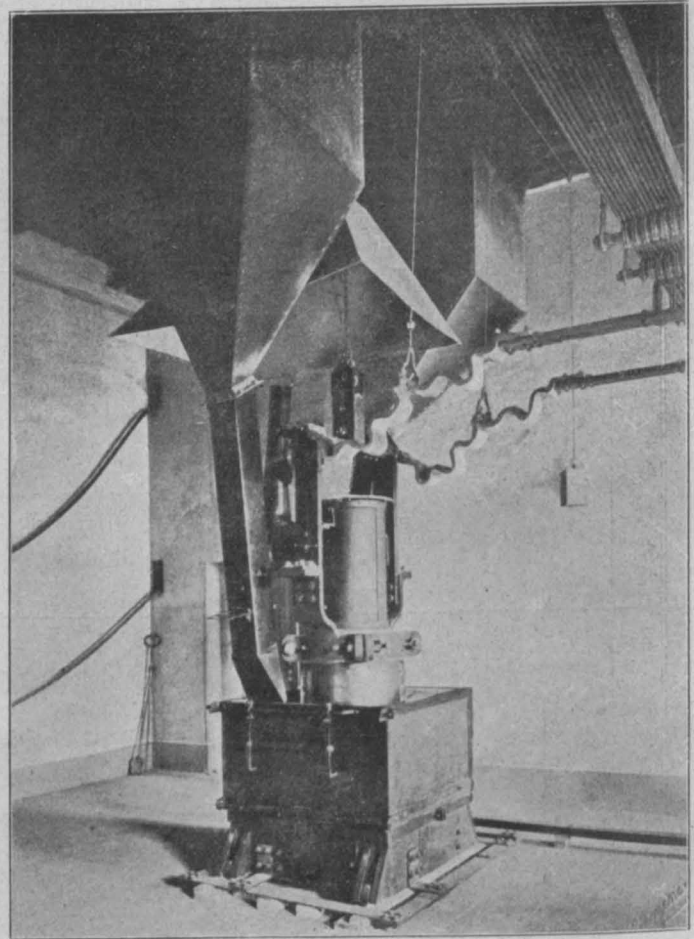


Abb. 16.

Karbid ist das als Ausgangsmaterial für das Azetylen bekannte Kalziumkarbid, welches durch elektrische Erhitzung eines Kalk-Kohle-Gemisches im elektrischen Ofen erzeugt wird. Eine Probe von Kalziumkarbid liegt vor, obwohl ich annehmen muß, daß Sie alle, meine Herren, schon diese Verbindung in Händen gehabt haben. Um Ihnen ein Bild von den für die Kalziumkarbidfabrikation dienenden Öfen geben zu können, habe ich Ihnen Ansichten aus einer mit Öfen System Siemens & Halske arbeitenden Anlage mitgebracht, welche in den Abb. 15 bis 20 dargestellt ist. Im Prinzip bestehen alle derartigen Öfen aus einer unteren tiegelförmigen und einer oberen stabförmigen, regulierbaren Elektrode. Im Detail unterscheiden sich solche Öfen je nach der Art der Regulierung der oberen Elektrode, ob von Hand oder automatisch, nach der Art der Entfernung des Endproduktes, ob durch Blockbildung oder durch Abstich, nach der Korngröße des Rohmaterialies, den Abzugsvorrichtungen für die Verbrennungsgase, doch würde mich ein näheres Eingehen auf derartige Details wohl zu weit führen.

Ein zweites technisch interessantes, ebenfalls im Lichtbogenofen dargestelltes Erdalkalidkarbid ist das Baryumkarbid. Dieses findet bisher keine direkte Verwendung, sondern dient als Zwischenprodukt für die Darstellung von Cyankalium. Wird über erhitztes Baryumkarbid nach dem Frank'schen Verfahren Stickstoff geleitet, so bildet sich Bariumcyanid, welches sich mit kohlen-saurem Kali, also Pottasche, glatt zu Cyankalium und Baryumkarbonat, welches letzteres in den Prozeß zurückkehrt, umsetzen läßt. Sie können hier Proben von nach diesem Verfahren gewonnenem Baryumkarbid und Cyankalium sehen, welche Proben mir von der Deutschen Gold- und Silberscheide-Anstalt in Frankfurt a. M. zur Verfügung gestellt wurden.

Analog den Karbiden läßt sich eine Reihe von Verbindungen darstellen, bei welchen der Sauerstoff des Metalloxydes durch ein anderes Metalloid ersetzt wird, also z. B. Silizide, wenn der Sauerstoff

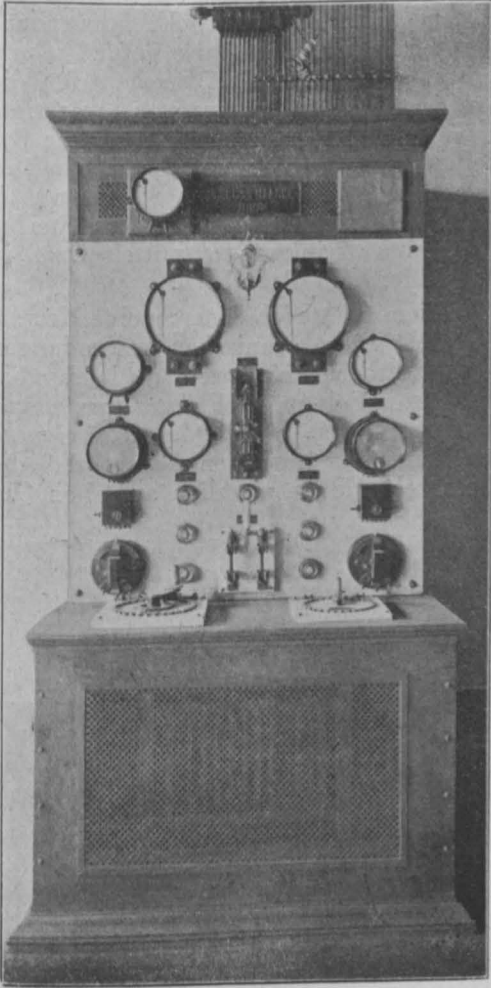


Abb. 17.

Verbindungen sind speziell die Silizide für die Hütten-technik von großer Wichtigkeit, und werden z. B. die Silizide des Eisens und Kupfers in technischem Maßstabe dargestellt.

In einzelnen Fällen wird im elektrischen Ofen auch eine Reduktion von Sauerstoffsalzen zu Oxyden durchgeführt. Wird z. B. nach dem Verfahren von Bradley und Jacobs Schwerspat mit Kohle im elektrischen Ofen behandelt, so wird eine zum größten Teile aus Baryumoxyd mit geringen Mengen Sulfid bestehende Schmelze erhalten. Diese Schmelze ist wasserlöslich und läßt sich leicht auf anderweitige Baryumsalze verarbeiten. Die vorliegende, nach diesem Verfahren hergestellte Probe von Baryumhydrat stammt aus der Anlage der Ampère-Electro-Chemical-Co. in Niagarafalls.

Endlich ermöglicht der Lichtbogenofen die Herstellung mancher Legierungen von billigen Schwermetallen mit

Vorträge über Elektrotechnik. VIII.

schwer schmelzbaren seltenen Metallen. Es ist dies ein Gebiet der Legierungstechnik, welches noch im Entstehungszustande ist, und bei welchem die Anwendungen solcher Legierungen im Hüttenwesen in den meisten Fällen sich derzeit noch im Versuchsstadium befinden. Von derartigen Legierungen seien erwähnt das Ferrochrom, Ferromangan, Ferrotitan, Vanadinkupfer u. s. w.

Bevor ich das Gebiet der elektrothermischen Verfahren verlasse, möchte ich nur noch wenige Worte über die früher von mir als elektrothermische Bearbeitungsverfahren bezeichneten Prozesse sagen.

Die Stromwärme kann auch zur rein mechanischen Behandlung von Metallen oder chemischen Verbindungen dienen. Es kann hier ebenfalls sowohl das Prinzip der Widerstandserhitzung als der Lichtbogenerhitzung zur Anwendung kommen. Werden z. B. zwei Metallstäbe, deren Enden nicht genau aufeinanderpassen und sich nicht dem ganzen Querschnitte nach berühren, in einen Stromkreis eingeschaltet, so werden bei entsprechender Stromdichte die Enden sich am stärksten erhitzen, endlich erweichen und

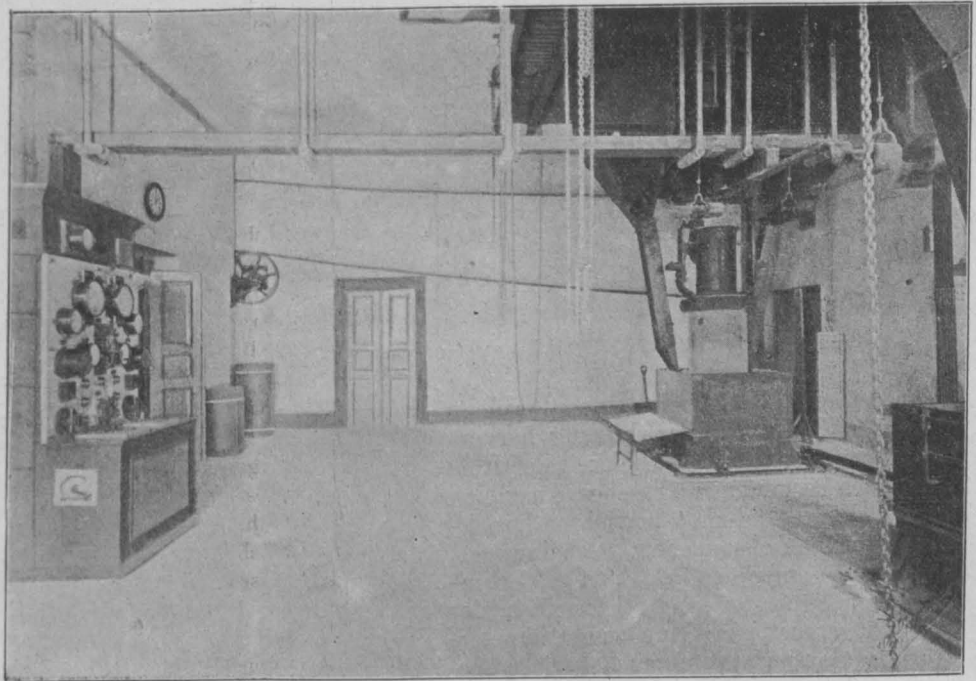


Abb. 18.

können dann zusammengeschweißt werden. In anderen Fällen macht man den zu behandelnden Metallgegenstand zum negativen Pol eines Lichtbogens, während ein Kohlestab als positiver Pol dient. Auf diese Weise können elektrische Löt- und Schmelzarbeiten ausgeführt werden. Bei einer dritten Anwendungsart wird ein zwischen Kohlestäben übergelagerter Lichtbogen durch einen Elektromagnet abgelenkt, so daß er wie die Stichflamme eines Lötrohres verwendet werden kann.

Auch beim Schmelzen chemischer Verbindungen beginnt man jetzt, in einzelnen Fällen die elektrische Heizung anzuwenden, und sei diesbezüglich nur kurz auf solche Versuche über das Schmelzen von Glasflüssen und Porzellan hingewiesen.

Wie ich Ihnen, meine Herren, am Eingange meiner Ausführungen mitteilte, gesellt sich zu den zwei großen, eben besprochenen Hauptabteilungen elektrochemischer Verfahren ein drittes, bisher nicht sehr ausgedehntes, aber grundverschiedenes Gebiet, nämlich die elektrochemischen Erscheinungen, welche beim Durchgange elektrischer Entladungen durch Gase auftreten. Es ist dies ein Gebiet, welches bis heute selbst in seinen theoretischen Grundlagen noch wenig durchforscht und im allgemeinen noch ziemlich

unklar ist. Es liegen zwar Beobachtungen vor, nach welchen man auch in Dämpfen, sowie in Elektrolyten, geladene Ionen annehmen könnte, die zu den entgegengesetzt polaren Elektroden wandern, andererseits scheinen aber die für den praktischen Elektrochemiker maßgebenden Fälle doch rein thermischer Natur zu sein. Die Gruppierung derartiger Verfahren zeigt Tabelle III.

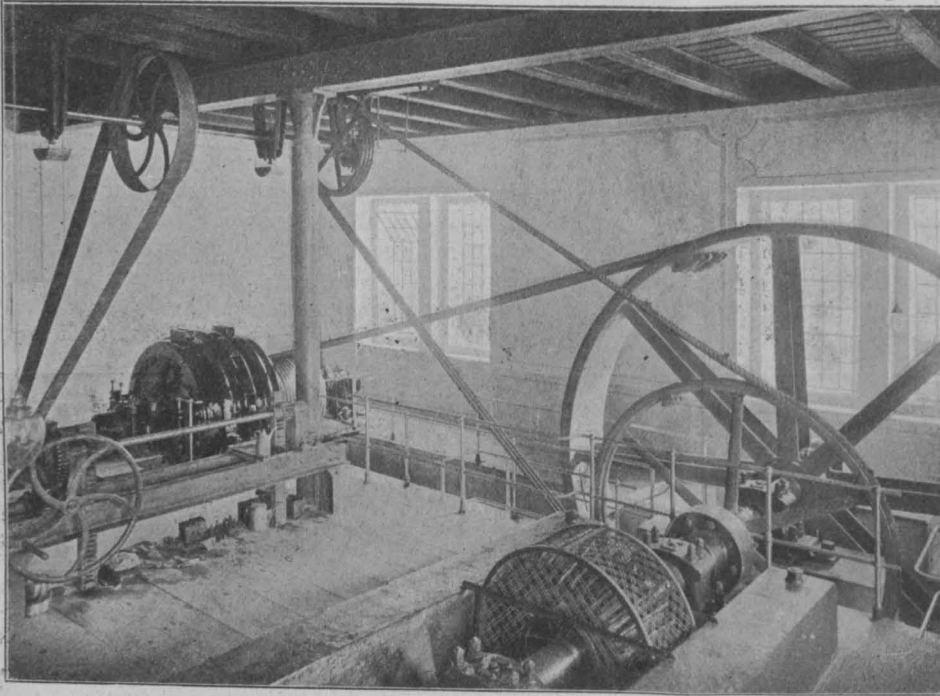


Abb. 19.

Bei der Funkenentladung, welche auf ihrer Bahn starke Erhitzung hervorruft, verhindert die Plötzlichkeit der Entladung einen genügend raschen Ausgleich der durch die Erhitzung bewirkten Drucksteigerung. Die chemischen Erscheinungen, die hierbei auftreten, z. B. die Verbindung von Sauerstoff und Stickstoff in der Luft zu salpetriger Säure und Salpetersäure, verlaufen also unter hoher Temperatur und hohem Drucke. Praktische Verwendung haben derartige Verfahren bisher wenigstens in ausgedehntem Maße nicht gefunden.

Auch bei der sogenannten Glimmentladung, welche also bei normalem Atmosphärendruck erfolgt, sind die chemischen Erscheinungen höchstwahrscheinlich auf thermische Ursachen, u. zw. speziell auf Bildung von Schichten von großer Temperaturdifferenz zurückzuführen. Das Verhalten vieler Gase bei der stillen Entladung wurde schon untersucht, so geht z. B. Azetylen in einen festen Kohlenwasserstoff über, Kohlenoxyd und Wasser-

stoff sowie Kohlensäure und Methan geben noch nicht näher definierte organische Säuren, Kohlenoxyd und Wasserdampf sowie Kohlensäure und Wasserstoff geben Ameisensäure, aus schwefliger Säure und Sauerstoff entsteht Schwefelsäure, aus Cyan und Wasserstoff Blausäure. Doch auch diese Wirkungen der Glimmentladung haben bisher keine praktische Verwendbarkeit ergeben. Der einzige

technisch wertvolle Fall ist bisher die unter dem Einflusse der Glimmentladung eintretende Umlagerung der Sauerstoffatome vom inaktiven Sauerstoff zum Ozon. Dieses Verfahren ist heute schon von mehrfacher Seite, wie von Otto, Abraham und Marmier, Siemens & Halske, konstruktiv durchgebildet, hat schon seit einer Reihe von Jahren für manche chemisch-technische Anwendungen beschränkten Eingang gefunden und scheint in neuerer Zeit speziell für die Sterilisation von Trinkwasser berechnete Hoffnungen zu erwecken. In dieser Beziehung verweise ich auf die in jüngster Zeit nach dem Systeme Siemens & Halske errichteten Anlagen zur Sterilisation von Trinkwasser mittels Ozon in Wiesbaden und Paderborn.

Hiemit hätte ich Ihnen, meine Herren, die wichtigsten technischen Anwendungen der Elektrochemie, soweit es in der beschränkten Zeit möglich war, kurz Revue passieren lassen. Sie werden daraus wohl den Eindruck gewonnen haben, daß die Elektrochemie so ziemlich auf allen Ge-

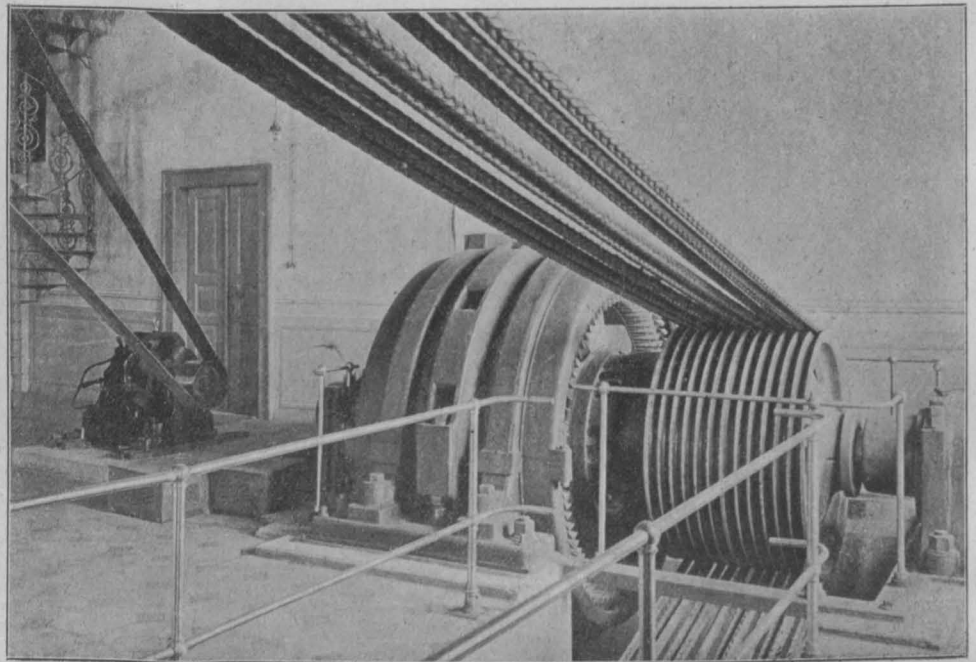


Abb. 20.

Tabelle III. Stromdurchgang durch Gase.

Funken-entladung	Vereinigung von Gasen zu festen Verbindungen	—	keine technische Anwendung
	Vereinigung von Gasen zu festen Verbindungen	—	keine technische Anwendung
Glimmentladung	Atomumlagerung	Ozon	verschiedene Oxydationsprozesse Trinkwassersterilisation

bieten der chemischen Industrie und der Metallurgie vorzudringen versucht hat. Bald hatte sie mehr, bald weniger Erfolg, teilweise hat sie chemische Verfahren ganz verdrängt, teilweise steht sie mit solchen im Konkurrenzkampfe, teilweise sind ihre Bemühungen noch ohne Erfolg.

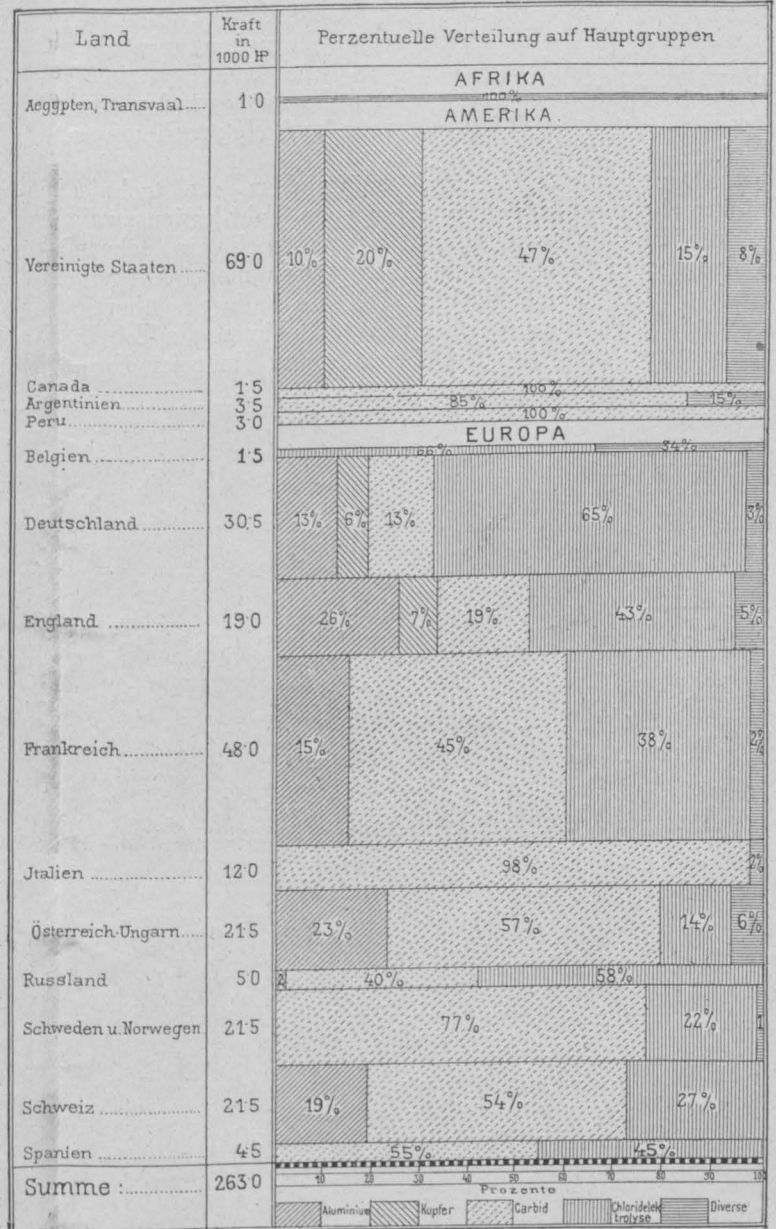
Um Ihnen noch ein übersichtliches Gesamtbild über das Vordringen der Elektrochemie geben zu können, habe ich Ihnen in Tabelle IV die 50 wichtigsten chemischen Elemente in alphabetischer Reihenfolge angeführt, welche heute als von industrieller Bedeutung bezeichnet werden

Tabelle IV. Darstellung der wichtigeren Elemente und Verbindungen.

Name	Element	Verbindungen	Name	Element	Verbindungen	Name	Element	Verbindungen
Aluminium			Kadmium			Selen		
Antimon			Kalium			Silber		
Arsen			Kobalt			Silizium		
Baryum			Kohlenstoff			Stickstoff		
Beryllium			Kupfer			Strontium		
Blei			Lithium			Tellur		
Bor			Magnesium			Thorium		
Brom			Mangan			Titan		
Kalzium			Molybdän			Uran		
Cer			Natrium			Vanadin		
Chlor			Nickel			Wasserstoff		
Chrom			Osmium			Wismut		
Eisen			Phosphor			Wolfram		
Fluor			Platin			Zink		
Gold			Quecksilber			Zinn		
Iridium			Sauerstoff			Zirkonium		
Jod			Schwefel					

rein elektrochemisch.
 gemischt.
 rein chemisch.

Tabelle VI.



können. Von den beiden Kolonnen neben den Namen der Elemente bezieht sich die erste auf die Darstellung der Elemente selbst, die zweite auf die Darstellung von Verbindungen dieser Elemente. Die schwarz schraffierten Flächen bezeichnen elektrochemische Verfahren. Die Flächen sind voll schraffiert in jenen Fällen, wo die Herstellung des Elementes nur auf elektrochemischem Wege technisch durchgeführt wird, und halb schraffiert, wo chemische und elektrochemische Verfahren gleichzeitig zur Anwendung kommen. Die weißen Flächen bezeichnen jene Fälle, wo elektrochemische Verfahren noch keinen Erfolg zu verzeichnen haben. Aus dieser Zusammenstellung können Sie, meine Herren, ersehen, daß von diesen 50 technisch wichtigen Elementen heute 9 oder so viel als 18%, nämlich das Aluminium, Beryllium, Bor, Fluor, Kalium, Lithium, Mag-

Tabelle V. Verteilung der elektrochemischen Industrie nach den erzeugten Produkten in Pferdestärken.

Land	Anzahl Anlagen	H+O	Si u. Silicide	P	C	Na	Al	Mg	Sn	Au u. Ag	Cu	Pb	Zn	Ni	Fe	Anorg. Farben	Ba Salze	N	Ca C ₂	Si C ₂	Chlor und Alkali	Chlorate	Bleiche	Zucker	Summe rund in 1000 PS		
Weltteil																											
Afrika																											
Transvaal	25	—	—	—	—	—	—	—	—	500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	600	0.5	
Ägypten	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	600	0.5
Amerika																											
Vereinigte Staaten	40	—	?	300	1000	600	7000	—	—	50	14.200	500	—	?	—	600	—	—	32.600	2000	7.100	2.000	1200	—	—	69.0	
Canada	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.000	—	—	—	—	—	400	3.5	
Argentinien	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.000	—	—	—	—	—	—	3.0	
Peru	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.000	—	—	—	400	1.5	
Europa																											
Belgien	5	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4.000	—	18.000	—	2000	—	—	30.5	
Deutschland	80	60	—	200	—	150	4000	?	200	30	2.022	—	?	?	?	—	—	—	3.600	—	8.000	—	200	—	19.0		
England	25	10	?	?	?	?	5000	?	?	—	1.350	—	1000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19.0	
Frankreich	47	70	?	—	—	?	7000	—	—	—	100	—	—	—	—	—	—	—	21.750	1250	5.700	12.000	300	—	48.0		
Holland	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	?	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12.0	
Italien	6	100	—	—	—	—	—	—	—	—	35	—	—	?	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21.5	
Öst.-Ungarn	26	—	600	—	—	—	5000	?	?	—	30	—	?	—	—	400	—	—	12.250	400	2.000	—	1000	—	—	5.0	
Rußland	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.000	—	2.700	—	200	—	5.0
Schwed. Norwegen	13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16.600	—	—	4.000	800	200	—	21.5	
Schweiz	18	58	?	—	—	—	4000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11.650	—	2.200	3.700	50	—	—	21.5	
Spanien	3	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.500	—	2.100	—	—	—	—	4.5
Summe	305	351	600	500	1000	750	32.000	?	200	580	17.867	500	1000	?	?	?	1000	?	126.200	3650	48.800	21.700	5750	1800	—	263.0	
In Prozenten zirka		0.13	0.21	0.17	0.37	0.27	12.14	—	0.07	0.22	6.77	0.18	0.37	—	—	—	0.37	—	47.87	1.37	18.45	8.20	2.17	0.67	—	100.0	

nesium, Natrium und Silizium, nur auf elektrochemischem Wege dargestellt werden. Bei weiteren 17 Elementen = weiteren 34% sind elektrochemische neben rein chemischen, bzw. metallurgischen Verfahren technisch im Gebrauche. Die Verbindungen dieser Elemente werden bei 22 derselben, also bei 44%, teilweise auf elektrochemischem Wege erzeugt.

Der relative Umfang, in welchem die technische Elektrochemie bei den verschiedenen Fabrikationszweigen in die Produktion eingreift, ist natürlich ein sehr verschiedener und läßt sich aus dieser Zusammenstellung nicht ersehen. Um Ihnen darüber auch ein halbwegs übersichtliches Bild geben zu können, habe ich Ihnen die Tabelle V zusammengestellt, aus welcher Sie den Energieverbrauch

bedingt wurden. Im großen und ganzen wird Ihnen aber diese tabellarische Zusammenstellung doch ein halbwegs richtiges Bild geben.

Sie ersehen daraus, daß die elektrochemische Industrie heute rund 300 größere Fabrikationsbetriebe mit einem Kraftaufwande von ca. 263.000 PS umfaßt, so daß im Durchschnitt nahezu 1000 PS auf einen Betrieb entfallen würden. Obenan steht die Kalziumkarbidindustrie mit rund 48% der Energiemenge; daran schließt sich die elektrolytische Zerlegung der Alkalichloride, welche für die Chlor- und Alkaliproduktion rund 18,5%, für die Chloratdarstellung über 8%, für die elektrische Bleiche über 2%, in Summe also rund 29% der Gesamtenergie beansprucht. Hieran reiht sich die Darstellung des Alu-

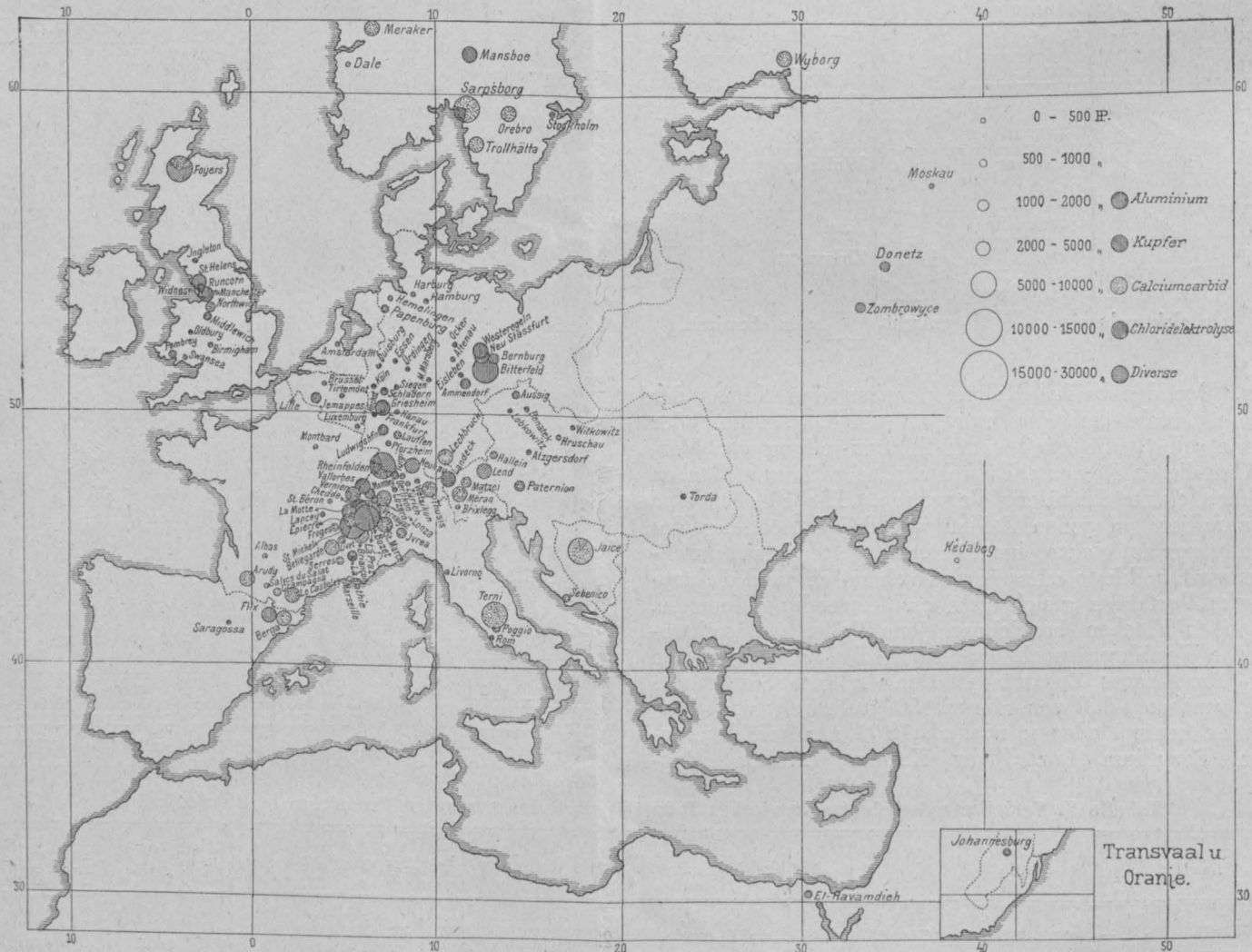


Abb. 21.

der einzelnen elektrochemischen Produktionszweige approximativ entnehmen können. Eine solche Zusammenstellung kann natürlich nicht absolut genau sein. Einerseits konnten die gewerblichen Anwendungen, wie z. B. die Galvanoplastik und Galvanostegie, darin nicht Aufnahme finden, denn wenn diese Gebiete auch in einer Unzahl von kleinen Anlagen einen ganz respektablen Kraftkonsum vorstellen, so fehlt darüber doch jede statistische Aufzeichnung. Andererseits fehlen auch über manche kleinere Produktionsverfahren nähere Angaben über den Umfang derselben, welche Fälle ich in der Tabelle durch ein Fragezeichen kenntlich gemacht habe. Endlich schwanken bei manchen Produktionszweigen die in Betrieb befindlichen Energiemengen mit der fallenden und steigenden Konjunktur. Dies gilt insbesondere von der Kalziumkarbidfabrikation, welche, wie Ihnen ja bekannt ist, derzeit mit ungünstigen Absatzverhältnissen zu kämpfen hat, wodurch vielfache Betriebseinschränkungen

miniums mit rund 12% und die Kupferraffination mit zirka 7%. Mit Ausnahme der Karborundumerzeugung, welche nicht ganz 1,5% der Gesamtenergie verwendet, beanspruchen alle anderen kleineren elektrochemischen Fabrikationszweige relativ geringe Energiemengen, zusammen ca. 3-4%.

Wie sich der Kraftverbrauch auf die einzelnen Länder verteilt, ersehen Sie, meine Herren, am besten aus der schematischen Darstellung in Tabelle VI, in welcher die relative Höhe der einzelnen Bänder den Kraftaufwand vorstellt. Sie ersehen daraus, daß die Vereinigten Staaten mit ca. 69.000 PS an erster Stelle stehen, hieran reiht sich Frankreich mit ca. 48.000 PS. Deutschland steht mit über 30.000 PS an dritter Stelle. Es folgen dann Österreich-Ungarn, die Schweiz und Schweden und Norwegen mit gleichen Energiemengen von je über 21.000 PS.

Die einzelnen Stricharten in den Querbändern bezeichnen

die prozentuelle Verteilung der wichtigsten elektrochemischen Fabrikationszweige in den einzelnen Ländern. Ich habe darin mit linksschrägen Linien die Aluminiumdarstellung, mit rechtsschrägen Schraffen die Kupferraffinerie, mit unterbrochenen schrägen Linien die Karbidfabrikation, mit senkrechten Schraffen die elektrolytische Zerlegung der Chloralkalien bezeichnet, während alle übrigen elektrochemischen Verfahren in den horizontal schraffierten Feldern zusammengefaßt erscheinen. Es ist daraus zu ersehen, daß die Kupferraffinerie ihre Hauptanwendung in den Vereinigten Staaten gefunden hat, gegenüber relativ geringer Ausdehnung in England, Frankreich, Rußland und Deutschland. An der Fabrikation des Aluminiums sind die Vereinigten Staaten, Deutschland, England, Frankreich, Österreich und die Schweiz

sehen, daß die elektrochemische Industrie sich in der Regel auf gewisse Kraftzentren konzentriert hat. Zwei solche Zentren, die mit Dampfkraft arbeiten, sind einerseits die Chlor- und Alkalianlagen in Bitterfeld, Bernburg, Neu-Staßfurt, Westeregeln und Ammendorf, welche auf Braunkohlen- und Salzlagern liegen, andererseits die Alkalianlagen, einige Kupferraffinerien und diverse kleinere Anlagen im Industriebezirke von Manchester. Außerdem finden wir eine Reihe von Dampfanlagen längs des Mittel- und Unterrheins und zerstreut in Belgien, Holland, Rußland und im nördlichen Teile unserer Monarchie.

Die Wasserkraftanlagen ziehen im weiten Bogen von den französischen Seealpen durch die Schweiz, Oberitalien, Südbayern und Tirol bis Kärnten und sind besonders in

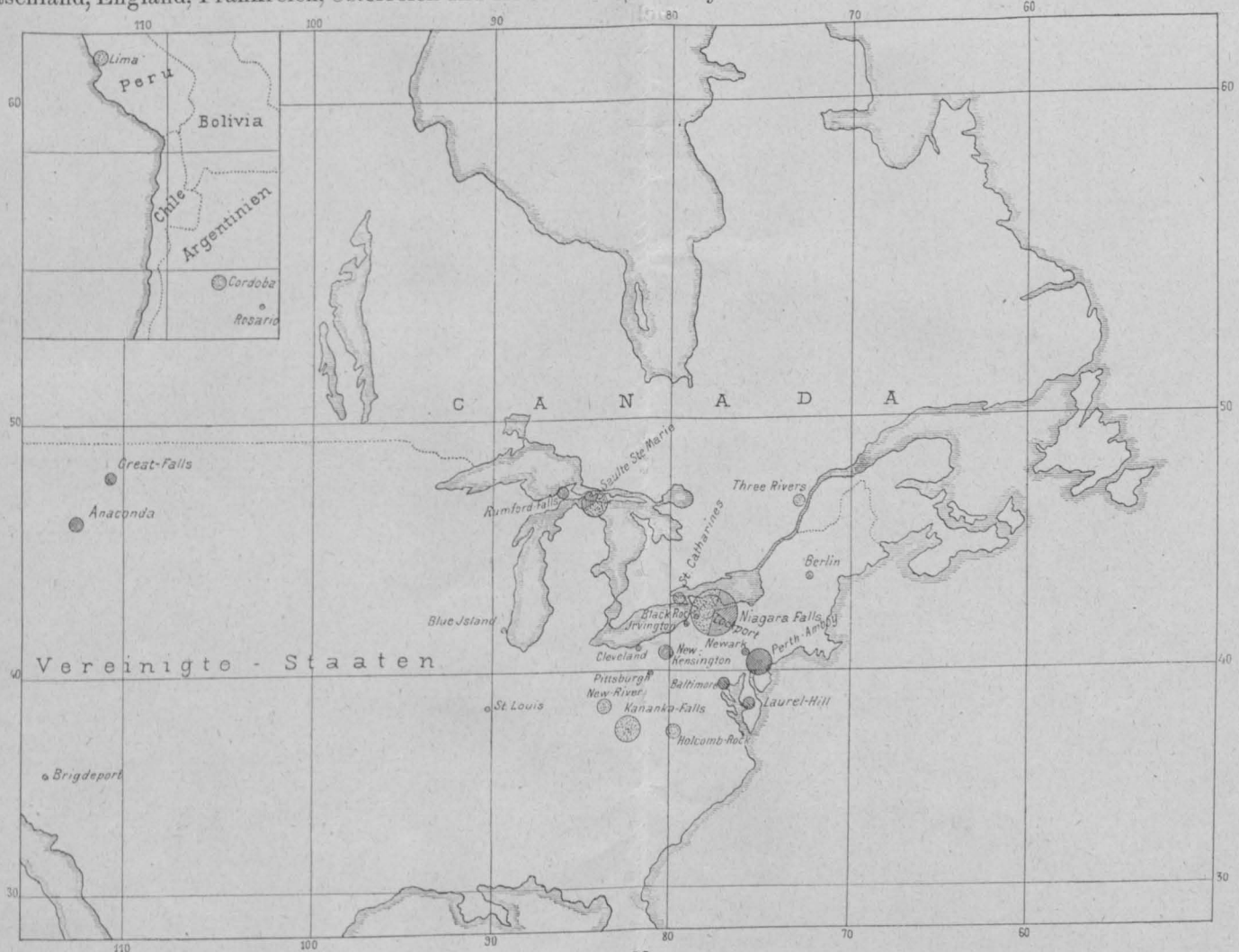


Abb. 22.

ziemlich gleichmäßig beteiligt. Die Karbidfabrikation und die Chloridelektrolyse bilden so ziemlich in allen Ländern den größten Teil der elektrochemischen Produktion. Die sonstigen verschiedenen Verfahren von geringerem Produktionsumfange haben besonders in den Vereinigten Staaten Aufnahme gefunden.

Die meisten elektrochemischen Verfahren sind für ihre rationelle Durchführung an billige Strompreise gebunden. Wir finden daher, daß die meisten Anlagen mit Wasserkraft arbeiten. Man wird nicht viel irren, wenn man annimmt, daß 90% der für elektrochemische Zwecke verbrauchten Energie von Wasserkraft geliefert werden und höchstens 10% auf Dampfkraft entfallen. Wenn Sie, meine Herren, die Abb. 21 und 22 näher betrachten, in welchen ich Ihnen die wichtigsten elektrochemischen Anlagen, und zwar mit der gleichen Linienbezeichnung für die Produktion wie in Tabelle VI eingezeichnet habe, so werden Sie

Savoyen nahe aneinander gerückt und konzentriert. Ein zweites Zentrum ist in den Pyrenäen sowohl auf französischer als spanischer Seite im Entstehen begriffen. Ein drittes Zentrum stellen die zwei großen Anlagen am Oberrhein, Rheinfelden und Neuhausen, vor. Vereinzelt größere Wasserkraftzentralen für elektrochemische Zwecke haben wir dann noch in Schottland, Schweden, Norwegen, Italien und im südlichen Teile unserer Monarchie, in Bosnien und Dalmatien.

In Nordamerika konzentriert sich die elektrochemische Industrie in den nordöstlichen Staaten der Union und dem angrenzenden Gebiete von Canada, und zwar speziell um die großen Kraftzentralen an den großen Seen, von denen die am Niagarafall heute schon zirka 30.000 PS allein für elektrochemische Zwecke abgibt. In den westlichen Staaten beschränkt sich die elektrochemische Industrie auf einige Kupferraffinationsanlagen.

Das rasche Anwachsen des Kraftbedarfes für elektrochemische Anlagen ist ohne Zweifel von förderndem Einfluß auf den Wasserbau und die Turbinenfabrikation gewesen. Auch die Elektrotechnik und speziell der Dynamobau verdankt der Elektrochemie manche Anregung; wurden doch in vielen Fällen Gleichstromdynamos von abnormalen Stromstärken bei niederer Spannung benötigt, andererseits durch den Umstand, daß elektrochemische Verfahren mit wenigen Ausnahmen ununterbrochen im Betriebe sein müssen, die weitestgehenden Anforderungen an die Generatoren gestellt. Auch viele andere Industrien, wie die Ton- und Steinzeugindustrie, die Gummifabriken, die Herstellung

künstlicher Kohlen, die Platinindustrie, wurden durch die Elektrochemie vor neue, der Lösung würdige Aufgaben gestellt.

So möchte ich denn meine heutigen Ausführungen mit dem Wunsche schließen, daß es auch ferner so bleiben möge, und daß speziell die Elektrotechnik und die Chemie auf elektrochemischem Gebiete immer neue gegenseitige Berührungspunkte und Anregungen finden mögen, auf daß beide Disziplinen auf eine immer wachsende ersprißliche Tätigkeit und zunehmende gemeinschaftliche Erfolge zurückblicken können.

8
 9
 10
 11
 12
 13
 14
 15
 16
 17
 18
 19
 20
 21
 22
 23
 24
 25
 26
 27
 28
 29
 30
 31
 32
 33
 34
 35
 36
 37
 38
 39
 40
 41
 42
 43
 44
 45
 46
 47
 48
 49
 50
 51
 52
 53
 54
 55
 56
 57
 58
 59
 60
 61
 62
 63
 64
 65
 66
 67
 68
 69
 70
 71
 72
 73
 74
 75
 76
 77
 78
 79
 80
 81
 82
 83
 84
 85
 86
 87
 88
 89
 90
 91
 92
 93
 94
 95
 96
 97
 98
 99
 100

Telegraphie und Telephonie.

Vortrag, gehalten am 17. März 1902 von Ober-Baurat **Barth Edler v. Wehrenalp.**

Nachdem wir im Laufe der früheren Vorträge an der Hand bewährter Führer das so ausgedehnte Gebiet der Starkstromtechnik durchwandert haben, gestatten Sie mir, Ihre Aufmerksamkeit heute auf die nicht minder staunenswerte Entwicklung der Schwachstromtechnik zu lenken. Was letztere als Pionier der praktischen Elektrotechnik seinerzeit namentlich in Bezug auf die Fernleitung elektrischer Ströme mühsam errungen hat, ist später der Starkstromtechnik zugute gekommen; viele Enttäuschungen, kostspielige und langwierige Versuche sind ihr dadurch erspart geblieben, daß sie schon von allem Anfange an auf den durchaus konsolidierten Fundamenten der Telegraphentechnik weiterbauen konnte.

Daß aber dieser älteste Zweig der Elektrotechnik — wenn auch in den weniger der wissenschaftlichen Forschung als finanziellen Spekulationen huldigenden Kreisen geringschätziger beurteilt — im Triumphzuge der Technik nicht zurückgeblieben ist, im Gegenteil eine Ausbildung erfahren hat, welche den aktuellen Verkehrsbedürfnissen der Kulturvölker nicht nur in vollstem Maße entspricht, sondern in vielen Fällen denselben sogar vorausseilt, daß auf diesem Gebiete noch Probleme von weitesttragender Bedeutung zu lösen sind, das zu beweisen, soll der Zweck meiner heutigen Ausführungen sein.

In der Elektrotechnik handelt es sich im Grunde genommen immer nur um Übertragung und Umwandlung von Energie in der Form von Elektrizität: Man entnimmt einer Kraftquelle Energie in beliebiger Form, verwandelt sie in Elektrizität, um an einer anderen Stelle Energie gleicher oder anderer Art zu erzeugen. Während jedoch in der Starkstromtechnik die vorteilhafteste Umwandlung und die möglichst ungeschwächte Rückgewinnung der aufgewendeten Energie der einzig angestrebte Zweck ist, bildet die Umwandlung der Energie in der Schwachstromtechnik nur das Mittel zu dem Zwecke, an einem bestimmten zweiten Punkte in einem gegebenen Momente eine ganz bestimmte Wirkung zu erzielen. Gleichviel, ob nun diese Wirkung in der Abgabe eines Signales, im Abdrucke eines Zeichens, in der Wiedergabe eines Lautes, in der Verriegelung einer Weiche, in der Entzündung einer Sprengmine oder in der Regulierung eines Uhrzeigers besteht, in jedem Falle muß hier Ursache und Wirkung in einem ganz bestimmten, dem beabsichtigten Zwecke entsprechenden zeitlichen und räumlichen Zusammenhang gebracht werden.

Damit erscheint das Gebiet der sogenannten Schwachstromtechnik in seinem weitesten, alle praktischen Anwendungen derselben umfassenden Grenzen festgelegt; mit dem weitaus wichtigsten Teile dieser Wissenschaft, welcher speziell den Gedankenaustausch in die Ferne — die Fern-

verständigung — zum Ziele hat, wollen wir uns nun im folgenden eingehender beschäftigen.

Die bestehenden Systeme der Fernverständigung lassen sich in vier Hauptgruppen einteilen:

1. Systeme mit vereinbarten Zeichen, wozu nebst allen optischen und akustischen Signaltelegraphen hauptsächlich die weitverbreiteten Morsesysteme zu zählen sind.

2. Drucktelegraphen, bei welchem die Mitteilung an der Empfangsstation unmittelbar oder mittelbar in Druckschrift erhalten wird.

3. Telautographen, Kopiertelegraphen, welche Originalschriftzüge, Zeichnungen u. dgl. zu übermitteln bestimmt sind, endlich

4. Fernsprechsysteme, bei welchen die Verständigung in die Ferne durch die Sprache selbst erfolgt.

Eigentlich sollte dieser Reihe noch eine fünfte Gruppe — das Fernsehen — angeschlossen werden; leider ist die Lösung dieses Problemes, wenn auch seinerzeit in den Tagesblättern für die letzte Pariser Weltausstellung in sichere Aussicht gestellt, bis heute ein praktisch unerfüllbarer Wunsch geblieben.

Was die erstgenannte Gruppe betrifft, so wollen wir hier von den verschiedenen optischen und akustischen Signaltelegraphen absehen und uns nur mit den Morsesystemen befassen, bei welchen bekanntlich die Grundzeichen des Morsealphabetes — Punkte und Striche — deren Kombinationen die einzelnen Elemente der Schriftsprache darstellen, durch Strommissionen von verschiedener Dauer oder verschiedener Richtung gebildet werden. Hieher gehören nebst den in der Verkehrstelegraphie so weitverbreiteten Morsetelegraphen die meisten Apparatsysteme der submarinen und automatischen Telegraphie, welche in ihrer jetzigen Vollkommenheit dem Techniker besonders interessante Momente darbieten.

Während beim gewöhnlichen Morsetelegraphen die Grundzeichen — Punkt und Strich — durch Strommissionen von verschiedener Dauer charakterisiert werden, wird in der Kabeltelegraphie ausschließlich mit Stromwechsel gearbeitet, um die Entladung des Kabels, bezw. die Zeichengebung zu beschleunigen. Trotzdem ergeben sich hier noch mannigfache Schwierigkeiten infolge der großen Kapazität langer Kabelleitungen.

Die elektrischen Wellen flachen sich mit zunehmender Entfernung vom Geberorte immer mehr ab, und da der im Kabel auftretenden elektrolytischen Erscheinungen wegen nur sehr schwache Ströme benützt werden dürfen, ist schon bei Entfernungen von ungefähr 1000 km die Verwendung der gewöhnlichen Telegraphenapparate ausgeschlossen.

Deshalb verzichtet man in der Kabeltelegraphie auf die Erzeugung wirklicher Punkt- und Strichzeichen und sucht hier die Verständigung dadurch zu erreichen, daß

man in der Empfangsstation entweder die Ablenkungen des von einem Galvanometerspiegel zurückgeworfenen Lichtstrahles beobachtet oder die Kurve des ankommenden Stromes registriert; wird hiebei vorausgesetzt, daß in der Abgabestation der Punkt durch einen positiven Strom, der Strich durch einen solchen entgegengesetzter Richtung gegeben wird, so ist leicht zu erkennen, daß auf diese Weise selbst mit den schwächsten Strömen noch eine deutliche Verständigung erzielt werden kann.

William Thomson konstruierte eigens für Zwecke der Kabeltelegraphie ein äußerst empfindliches Spiegelgalvanometer, um die ankommenden sehr zarten Stromimpulse ihrer Richtung nach deutlich erkennen zu können.

Abgesehen davon, daß diese ermüdende Art der Zeichenaufnahme eine sehr langsame Abgabe der den Punkten und Strichen des Morsealphabetes entsprechenden

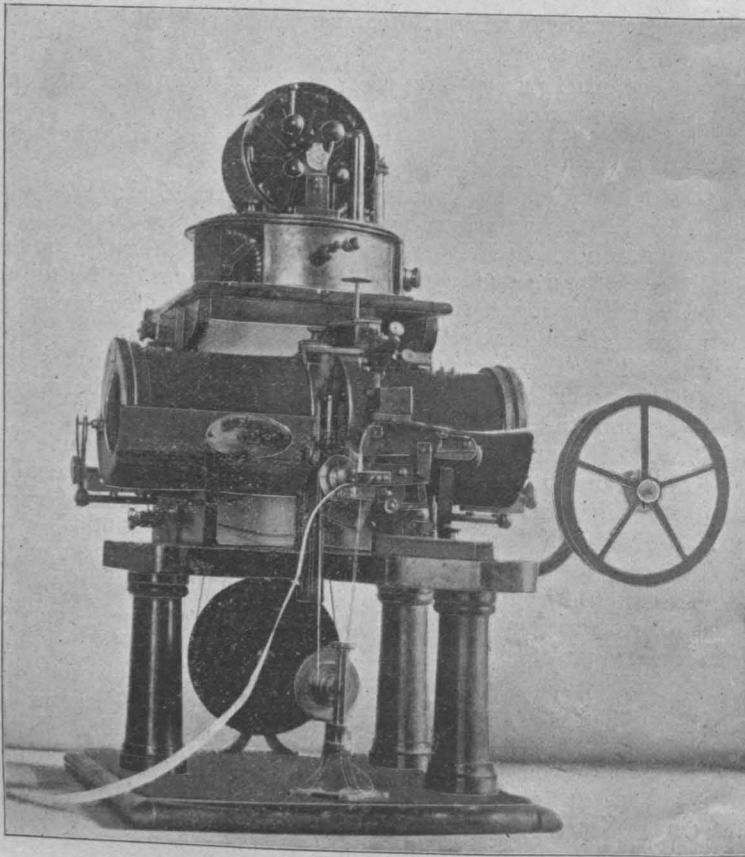


Abb. 1.

+ und - Stromemissionen bedingte, machte sich gerade bei diesem kostspieligen Verkehrsmittel auch bald der Mangel jeder dauernden Aufzeichnung der angekommenen Zeichen unangenehm fühlbar. Beiden Übelständen hat Thomson 1867 durch die Erfindung seines Siphonrekorders (Abb. 1) abgeholfen, welcher ausgezeichnete Apparate seither auf allen überseeischen Kabeln fast ausschließlich den Verkehr zwischen den Weltteilen vermittelt. Besonders bemerkenswert sind bei dem Thomson'schen Empfänger jene Einrichtungen, welche es ermöglichen, auch die schwächsten Stromvariationen rasch und deutlich zu registrieren.

Eine bifilar aufgehängte, sehr leichte Spule *S* (Abb. 2) mit feindrähtigen Windungen bewegt sich in einem homogenen, durch starke Magnete erzeugten Felde und ist einseitig durch einen Zwischenhebel *z* mit einem Heberröhren *h* in Verbindung, dessen kurzes oberes Ende *f* in eine Farbflüssigkeit taucht, während das lange Ende über einem in fortschreitender Bewegung gehaltenen Papierstreifen spielt. Die Ablenkungen der Spule werden sich

sonach auf dem Papiere durch die Bewegungen der die Farbe ausspritzenden Rohrspitze als Kurven kennzeichnen, aus deren Konfiguration die einzelnen Buchstaben entziffert werden können.

Solange das Kabel stromlos ist, zeichnet die Heberröhre eine gerade Linie; bei Stromgebung wird die Spitze je nach der Stromrichtung abgelenkt, wobei sie in der „Rekorderschrift“ (Abb. 3) die Nachricht auf das Papier schreibt.

Da auf langen Kabeln die ankommenden Ströme sehr schwach sind und daher selbst die geringfügigste Reibung

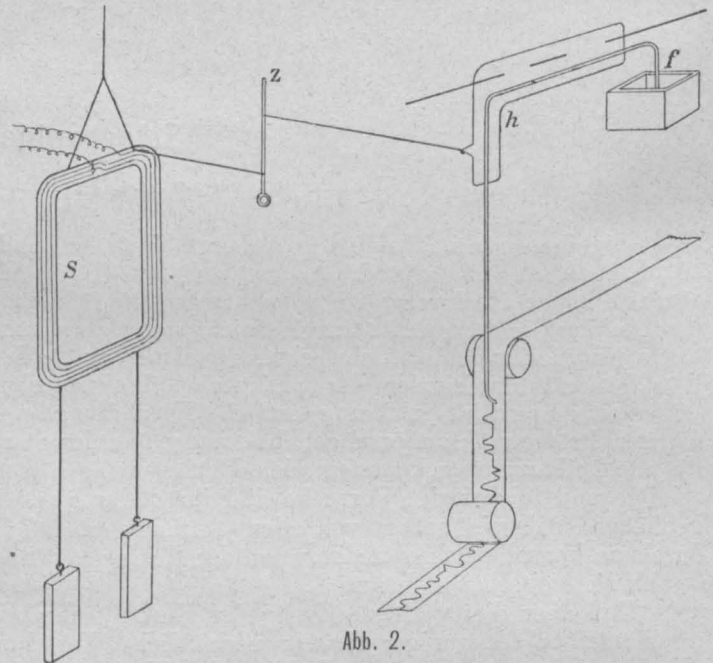


Abb. 2.

der Heberröhre auf dem Papiere die Beweglichkeit der Spule beeinträchtigen und so letztere hindern würde, den zarten Impulsen zu folgen, muß Vorsorge getroffen werden, daß die der Spitze entströmende Farbe auch ohne direkte Berührung auf den Papierstreifen gelangt. Zu diesem Behufe

werden bei den Apparaten älterer Type die Farbflüssigkeit und das Papier mit Hilfe einer kleinen, eigenartig konstruierten Influenzmaschine — der sogenannten mousemill — entgegengesetzt elektrisch geladen, was ein Sprühen der Tinte vom Heberröhren auf das Papier bewirkt. Dieselbe Maschine besorgt auch gleichzeitig als Elektromotor die fortschreitende Bewegung des Streifens.

In neuerer Zeit vertritt die Stelle der „mousemill“ eine Vorrichtung, welche das Heberröhren in vibrierender Bewegung erhält, wodurch das Herausfließen der Tinte wirksam unterstützt wird.

Während es sich bei den eben beschriebenen Apparaten der submarinen Telegraphie vorzugsweise darum handelt, die infolge der hohen Kapazität und des großen Widerstandes der Leitung so außerordentlich schwachen Stromimpulse in der Empfangsstation noch deutlich sichtbar zu machen, wobei selbstverständlich auf halbwegs größere Betriebsgeschwindigkeit von vornherein verzichtet werden muß, ist das hauptsächlichste Ziel der automatischen Telegraphie, die relativ kurzen Landleitungen dadurch soviel

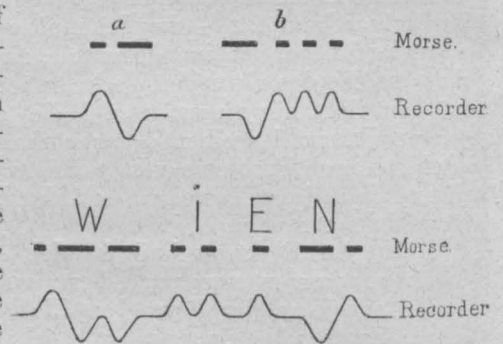
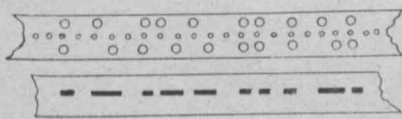


Abb. 3.

als möglich auszunützen, daß die zur Bildung der Morsezeichen erforderlichen Stromemissionen selbsttätig und mit weit größerer Geschwindigkeit gegeben werden, als dies mit der Handtaste möglich erscheint. Erfahrungsgemäß können — entsprechend empfindlich gebaute elektromagnetische Empfangsapparate vorausgesetzt — z. B. auf einer zirka 500 km langen oberirdischen Leitung ungefähr 500.000 Stromemissionen pro Stunde noch deutlich zur Wirkung gelangen, was einer stündlichen Leistung von zirka 36.000 Worten à 5 Buchstaben entspricht. Da nun kein Mensch imstande ist, auch nur annähernd diese Geschwindigkeit beim Lesen, geschweige denn beim Telegraphieren mit Handtaster, zu erreichen, hat man schon frühzeitig daran gedacht, die eigentliche Stromabgabe maschinellen Einrichtungen zu übertragen; zu diesem Behufe perforiert man zunächst in geeigneter Weise einen Papierstreifen so, daß die einzelnen Löcher den zur Bildung der Zeichen nötigen Stromabgaben entsprechen. Läßt man sodann den so vorbereiteten Streifen an einer Kontaktbürste mit gleichmäßiger Geschwindigkeit vorbeigleiten, so wird der Stromkreis der Linienbatterie abwechselnd geschlossen und unterbrochen, je nachdem die Bürste über ein Loch oder über das isolierende Papier streift, wodurch die den einzelnen Zeichen entsprechende Aufeinanderfolge der Stromemissionen bewirkt wird.

Man sagt wohl, schon Morse habe sich mit ähnlichen Gedanken getragen; tatsächlich war es aber erst Wheatstone gelungen, einen Rapidtelegraphen zu konstruieren, mit welchem in einfachem Betriebe bis zu 16.000 Worte pro Stunde gegeben werden können. Dieses außerordentlich leistungsfähige System, welches derzeit in Amerika, England und in den skandinavischen Staaten in ausgedehntem Gebrauche steht, umfaßt drei getrennte Apparate: den Perforator, die Sendmaschine und den Empfänger.



W I E N

Abb. 4.

Wie der Papierstreifen perforiert wird, zeigt Abb. 4; die größeren Löcher entsprechen übereinanderliegend dem Punkte, gegenseitig versetzt dem Striche des Morsealphabetes, während die mittlere Reihe kleiner Löcher

nur zur gleichmäßigen Fortbewegung des Papierstreifens dient.

Jedes dieser drei Elemente wird durch einen Schlag auf die betreffende Taste der Perforiermaschine (Abb. 5 rechts) erzeugt, welcher Schlag sich durch entsprechend konstruierte Hebel den Perforierstempeln mitteilt. Die Betätigung der Tasten erfolgt bei Handbetrieb mit kleinen Kautschukhämmern, bei pneumatischem Betrieb, welcher neustens in England das gleichzeitige Ausstanzen bis zu

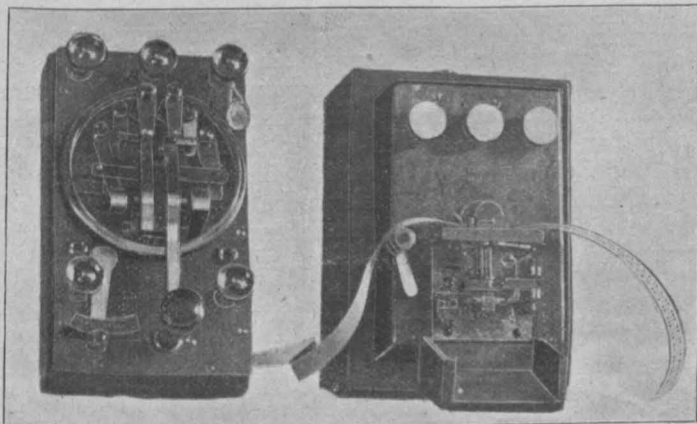


Abb. 5.

acht Streifen und damit die prompteste Beförderung langer Zeitungstelegramme nach verschiedenen Richtungen ermöglicht, mittels komprimierter Luft.

Die so vorbereiteten Papierstreifen werden in die Sendmaschine eingelegt, welche die der Perforierung entsprechenden Stromemissionen automatisch in die Leitung entsendet.

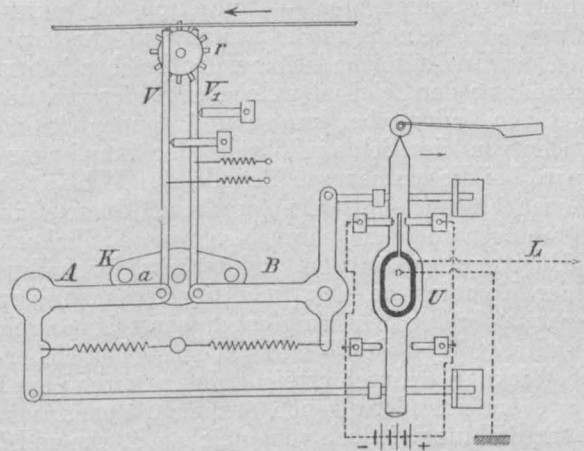


Abb. 6.

Die Sendmaschine (Abb. 6) besteht der Hauptsache nach aus einem von einem Laufwerke oder einem Elektromotor bewegten Balancier, der die beiden Kontaktstifte V und V_1 fortgesetzt in auf- und absteigender Bewegung erhält. Letztere dringen dabei in die Löcher des perforierten Bandes ein und vermitteln so im höchsten Punkte ihrer Bewegung die Emission der Ströme. Der perforierte Streifen wird durch ein Rad r mit zehn Zähnen, die in die Löcher der mittleren Reihe eingreifen, vorgeschoben. Mit den Stiften, bzw. den mit denselben verbundenen Hebeln A und B wird die Bewegung des Balanciers K auf einen Stromwender U übertragen, welcher in der einen Lage den Zinkpol, in der anderen den Kupferpol mit der Leitung verbindet, den entgegengesetzten Pol aber zur Erde schaltet. Dies vorausgesetzt, wollen wir nun den Vorgang, wenn die einem Morsepunkte entsprechende Perforierung sich oberhalb der Kontaktstifte befindet, besprechen:

Da beim Punkte die beiden äußeren Löcher gerade gegenüberstehen, wird zunächst der Kontaktstift V_1 in seiner aufwärts gerichteten Bewegung durch das äußere Loch dringen und so den Stromwender in der Richtung des Zeigers bewegen, wodurch der negative Strom in die Leitung gelangt.

Ebenso wird aber bei der entgegengesetzten Bewegung des Balanciers auch der zweite Stift ein Loch im unterdessen weiter geschrittenen Streifen vorfinden, welches seine Bewegung nach aufwärts nicht hemmt, was zur Folge hat, daß in diesem Moment ein positiver Strom auf demselben Wege in die Leitung entsendet wird.

Wenn dagegen die Perforierung eines Striches ober den Kontaktstiften vorbeigleitet, so erhebt sich V_1 bei der ersten Oszillation des Balanciers wie im vorhergehenden Falle, da er eine Öffnung im Streifen vorfindet. Das Spiel ist nun das gleiche, und der Stromwender sendet zunächst einen negativen Strom in die Leitung. Bei der folgenden Oszillation wird aber der Stift V durch den Papierstreifen in seiner Bewegung nach aufwärts gehemmt; der Hebel A kann der aufwärts gerichteten Bewegung des Anschlagstiftes a nicht folgen; der Stromwender behält seine frühere Lage bei, und es wird, da bei der dritten Oszillation wieder der Hebel V_1 gehemmt ist, negativer Strom solange in die Leitung fließen, bis endlich bei der vierten Oszillation der Hebel V das zweite Loch der Strichperforierung begegnet und durch seine Bewegung die Verstellung des Strom-

wenders nach links bewirkt, in welchem Moment als Abschluß des Zeichens wieder positiver Strom in die Leitung tritt. Die Emission des negativen Stromes dauert sonach beim Striche dreimal so lang als beim Punkte. Wie man sieht, ist hier eine Art Ruhestromschaltung im Gebrauch: der — Arbeitsstrom besetzt die Leitung während der Zeichengebung, wogegen Anfang und Ende des Zeichens durch den entgegengesetzten + Ruhestrom charakterisiert wird, der wieder seinerseits die Leitung in der Zwischenzeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zeichen beherrscht. Die Entstellung der Zeichen, welche entweder von der Ungleichheit der Ladung bei kurzen und langen Stromemissionen oder von der Selbstinduktion der Empfänger herührt, wird bei diesem neueren Modelle des Wheatstone'schen Gebers einerseits durch entsprechende Unterteilung der langen Leitungen und den Gebrauch sehr empfindlicher Relais in den Übertragungsstationen, andererseits durch Einschaltung einer Kombination aus induktionsfreiem Widerstand und Kapazität hinter dem Empfangsapparat hintangehalten. Bei der älteren Type des Wheatstone'schen Gebers war dieselbe Wirkung dadurch erreicht, daß, während ein Punkt durch zwei aufeinanderfolgende Stromemissionen von verschiedener Richtung, jedoch von gleicher Stärke und Dauer gebildet wurde, der Strich mit der ersten Punktmission begonnen, mit den darauf folgenden zwei schwächeren gleichgerichteten Stromimpulsen fortgesetzt und mit der zweiten Punktmission beendet wurde. Die automatische Sendung so verschiedenartiger Stromimpulse, der sogenannten Kompensationsströme, komplizierte natürlich die Sendmaschine in hohem Maße, während das neue Modell für Ruhestromschaltung einen so wesentlich vereinfachten Mechanismus besitzt, daß die Leistungsfähigkeit des Systems von 180 Worten pro Minute auf 300 Worte gesteigert werden konnte.

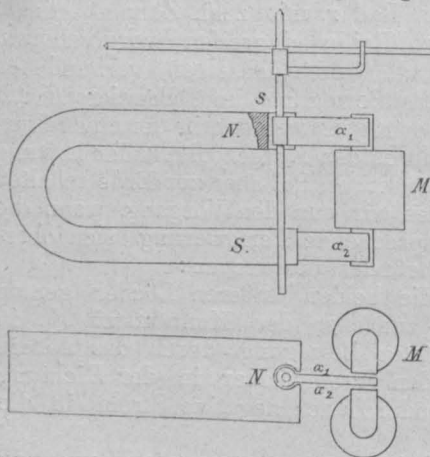


Abb. 7.

Der Empfänger (Abb. 7) besteht aus einem polarisierten Relais, dessen magnetische Wirkung dadurch beschleunigt wird, daß die beiden um eine gemeinschaftliche Achse s drehbaren Ankerzungen $a_1 a_2$ durch den Permanentmagnet NS in entgegengesetztem Sinne magnetisiert sind und zwischen den vier Polen des aus zwei

getrennten Teilen bestehenden Eisenkernes eines Elektromagneten M spielen.

Sie werden je nach der Stromrichtung gegen den einen oder anderen Pol des Elektromagneten M geworfen, welche Stellung sie so lange behalten, als die Richtung des Stromes ungeändert bleibt. Ein an der Achse der Zungen befestigtes Farbrädchen r wird bei der Bewegung der Zungen in dem einen Sinne an den Papierstreifen ange drückt, im anderen Falle von diesem entfernt, und ist nun leicht einzusehen, daß durch die den Punkten entsprechenden — Stromemissionen das Farbrädchen nur ganz kurze Zeit, dagegen bei den ersten drei Emissionen des Striches dreimal so lang den Papierstreifen bestreicht, in beiden Fällen aber erst beim + Stromstoße vom Papier abgehoben wird.

Die Sendmaschine neuesten Modelles ist in Abb. 8, der zugehörige Empfänger in Abb. 9 abgebildet.

Selbstverständlich muß beim Wheatstonesystem stets die Einrichtung getroffen sein, daß im Bedarfsfalle auch

mit der Hand gearbeitet werden kann, und zeigt die linke Seite der Abb. 6 den hierzu dienenden Taster.

Dieses System wird in Dänemark, Schweden und Norwegen mit Vorliebe durch eine konstruktive Abänderung des Empfängers für Rekorderschrift eingerichtet. Die Übersetzung der Telegramme in Typendruck besorgen Telegraphistinnen unmittelbar mit der Schreibmaschine.

In seiner Leistungsfähigkeit übertroffen wurde der Wheatstone'sche Automat erst in jüngster Zeit durch den Rapidtelegraphen von Pollak-Virág, welchen Erfindern es gelungen ist, den Empfänger von jedem Mechanismus dadurch zu befreien, daß sie die Stromemissionen

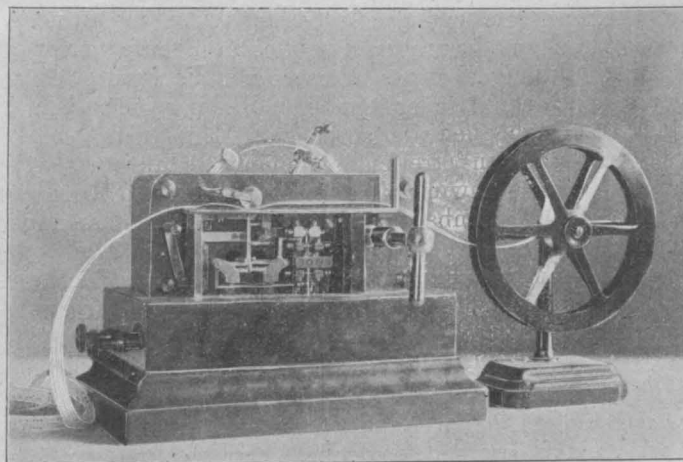


Abb. 8.

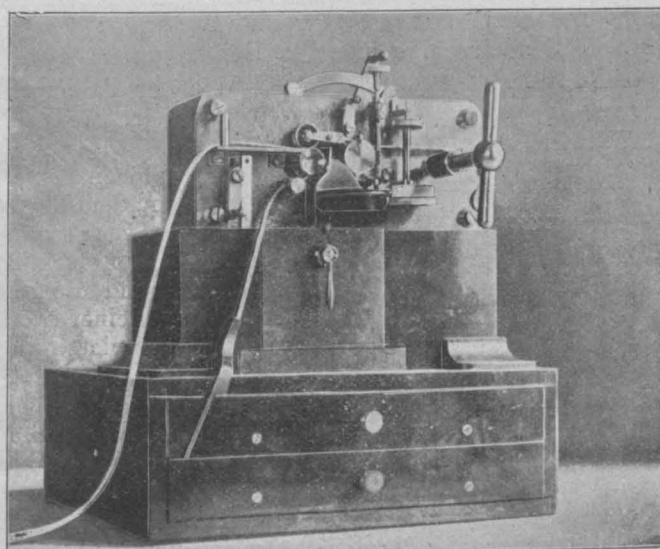


Abb. 9.

von durch Telephonmembranen in Schwingung versetzten Lichtstrahlen photographisch registrieren lassen. Überraschend ist bei diesem Apparate, mit welchen einfachen Mitteln die außerordentliche Übertragungsgeschwindigkeit (bis zu 100.000 Worten in der Stunde) erzielt wird.

Der Zeichengeber (Abb. 10) besteht aus einer von einem Motor oder einem Uhrwerke bewegten Walze W , welche mit der Leitung elektrisch verbunden ist und den entsprechend perforierten Papierstreifen trägt. Über den

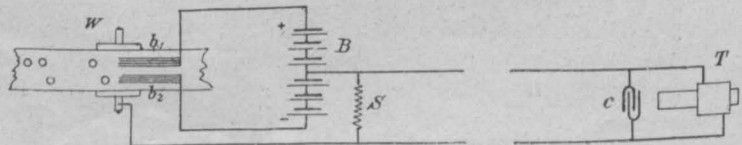


Abb. 10.

letzteren gleiten zwei Kontaktbürsten b_1 b_2 , die an den positiven, bzw. den negativen Pol der Linienbatterie geschaltet sind. Wird der Papierstreifen nun den Zeichen des Morsealphabetes entsprechend so gestanzt, daß die eine Lochreihe den Punkten, die zweite den Strichen entspricht, so wird, je nachdem die eine oder die andere Bürste mit der Walze in metallischen Kontakt tritt, ein positiver oder negativer Strom in die Leitungsschleife entsendet werden, in welchen in der Empfangsstation die Spule eines Telephones T geschaltet ist.

Im Empfänger ist weiters ein sehr kleiner Konkavspiegel c an einem Bleche befestigt, das von drei Spitzen s_1 s_2 s_3 eines Dauermagneten M festgehalten wird. Die beiden unteren s_1 s_2 sind unbeweglich, wogegen die obere s_3 mit der Membrane des Telephones verbunden ist. Bei Schwingungen der letzteren wird sich daher der Spiegel um eine horizontale Achse s_1 s_2 drehen und der Lichtstrahl einer vor dem Spiegel befindlichen Lichtquelle, je nachdem sich die Membrane ein- oder ausbaucht, nach auf- oder abwärts bewegt werden.

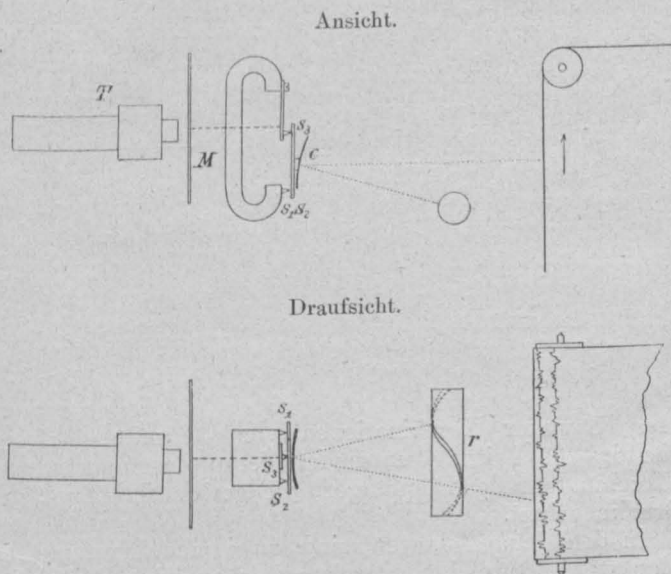


Abb. 11.

Pollak-Virág haben sich die Aufgabe so gestellt, daß die Morsezeichen in Rekorderschrift zeilenweise auf einem breiten photographischen Papier registriert werden, was zunächst voraussetzt, daß der Lichtstrahl Reihen von geraden Linien beschreibt, insoweit der Spiegel in Ruhe verbleibt, bzw. das Telephon nicht anspricht. Zu diesem Behufe dient als Lichtquelle eine Glühlampe, welche in einer mit einem schraubenlinig geformten Spalt versehenen Röhre r eingeschlossen ist. Dreht sich die Röhre, so hat das dieselbe Wirkung, als ob die Lampe selbst sich kontinuierlich von rechts nach links bewegen würde. Da aber gleichzeitig das Papierband sich vorwärts bewegt, wird der Lichtstrahl dasselbe stets in einer anderen Lage treffen und daher in Reihen von schwach geneigten parallelen Linien auf die lichtempfindliche Schichte einwirken. Wird nun während der Zeichengebung der Spiegel gedreht und damit der Lichtstrahl auf- und abwärts bewegt, so ist leicht einzusehen, daß durch dieses Zusammenwirken der Bewegungen die Zeichen in Form der Rekorderschrift erscheinen werden, nachdem das Papier entwickelt und fixiert ist, was bei dem Apparate automatisch erfolgt.

Um präzise Zeichen zu erhalten, müssen zunächst die Eigenschwingungen der Membrane möglichst unwirksam gemacht, weiters muß auch der Einfluß der Kapazität und des Widerstandes der Leitung auf die rasch folgenden Stromimpulse beseitigt werden. Zu ersterem Behufe, d. h. um die Dauer des Stromimpulses genau gleich der

Schwingungsperiode der Membrane zu machen, wird zunächst der Papierstreifen so perforiert, daß die Stromdauer kürzer als letztere ist, und die Differenz durch einen zum Telephon parallelgeschalteten Kondensator c (Abb. 10) ausgeglichen. Der zweiten Forderung wird auf langen Leitungen durch Parallelschalten einer Selbstinduktionsspule S zum Geber entsprochen.

Das System, wie ich es jetzt beschrieben habe, soll sich zwar bei wiederholten Versuchen auf langen Leitungen in Ungarn und Deutschland vorzüglich bewährt haben, konnte aber bisher nirgends Eingang in den praktischen Betrieb erlangen, weil es in der Tat in Bezug auf Leistungsfähigkeit den momentanen Bedürfnissen voraussieht. Dagegen würde es sich vermutlich rasch einbürgern, sobald es den Interessenten, insbesondere den Zeitungsredaktionen, gestattet werden würde, die Perforierung der Streifen selbst zu besorgen, und die Telegraphenverwaltungen die so vorbereiteten Depeschen gegen Einheitspreis per m Streifen auf ihren Leitungen befördern würden.

In letzter Zeit, kurz vor dem leider nur zu früh erfolgten Tode des genialen Erfinders Virág wurde das System dahin vervollkommen, daß es die Buchstaben unmittelbar in gewöhnlicher vom Publikum lesbarer Kursivschrift übermittelt, wodurch die zeitraubende Übersetzung der Telegramme aus der nur Eingeweihten verständlichen Rekorderschrift gänzlich entfällt. In dieser Absicht wird die Bewegung des Lichtstrahles in vertikale und horizontale Komponenten zerlegt. Die zur Bildung der lateinischen Buchstaben erforderlichen vertikalen Elemente sind in Abb. 12 dargestellt. Damit der Lichtstrahl diese senkrechten Bewegungen ausführen kann, sind Stromstufen vorgesehen, und zwar für einfache Ausschläge nach oben und unten (1, 2) — und + Ströme von gleicher Spannung, für doppelt so große Ausschläge (3) nach unten + Ströme von doppelter Spannung; halb so große Ausschläge (4) und Ausschläge von $\frac{1}{4}$ des einfachen (5), endlich dauernde Ausschläge (6) werden nur durch Verkürzung, bzw. Verlängerung der Kontaktdauer erzielt. Diese ver-

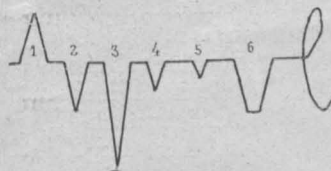


Abb. 12.

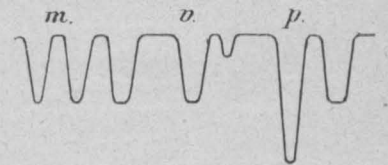


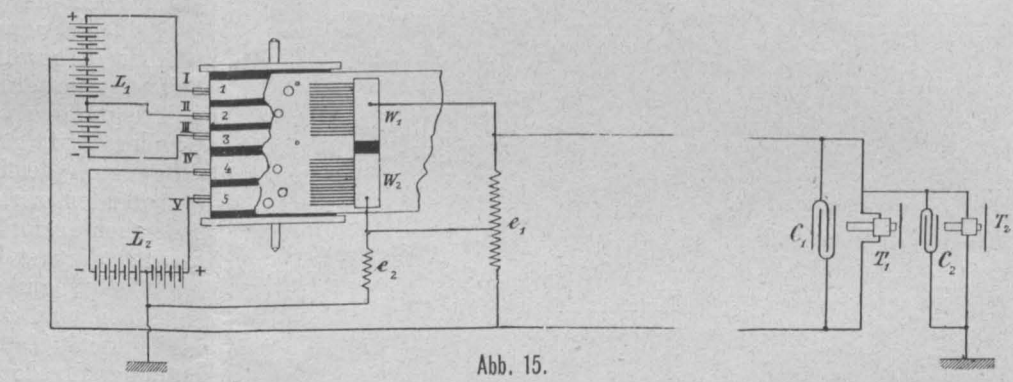
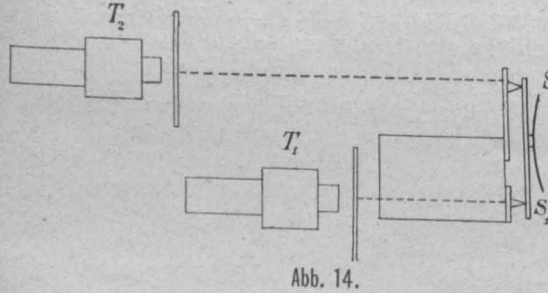
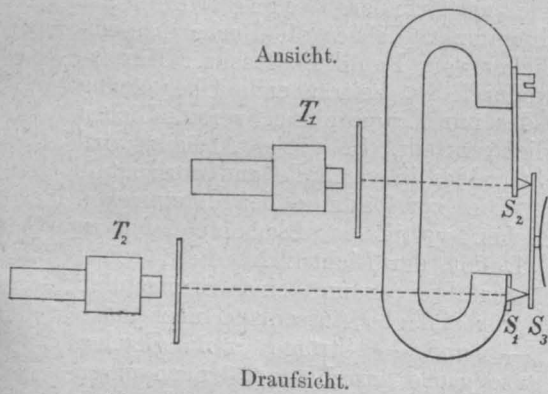
Abb. 13.

schiedenartigen Bewegungen des Lichtstrahles in vertikaler Richtung werden durch entsprechende Perforierung des Streifens in drei Reihen hervorgebracht, über welche ebenso viele mit den zugehörigen Batteriepolen verbundene Kontaktbürsten schleifen. Wie aus diesen Elementen z. B. die Buchstaben m p v gebildet werden, ist aus Abb. 13 zu entnehmen. Damit ist jedoch die Bildung der Kursivschrift noch nicht erreicht, da ja ein großer Teil der Buchstaben geschlossene Kurven enthält, deren Bildung eine gleichzeitige Bewegung des Lichtstrahles auch in horizontaler Richtung bedingt. Zu diesem Zwecke verwendet nun Virág ein zweites Telephon, dessen Membrane ebenfalls mit einer der drei Spitzen des Konkavspiegels verbunden ist, so daß jetzt dieser nicht mehr wie früher auf zwei festen und einer beweglichen, sondern auf einer festen s_1 und zwei beweglichen Punkten s_2 s_3 ruht (Abb. 14). Die das Telephon T_1 passierenden Stromimpulse haben eine Drehung des Spiegels um die horizontale Achse s_1 s_3 , somit die Bewegung des Lichtstrahles nach oben und unten, die T_2 passierenden Impulse die Drehung des Spiegels um die vertikale Achse s_1 s_2 , so nach die Bewegung des Lichtstrahles je nach der Stromrichtung nach links und rechts zur Folge. Der Lichtstrahl wird in der Resultierenden beider Komponenten bewegt

und damit eine Kurve beschrieben werden, wenn gleichzeitig beide Telephone ansprechen.

Die Schaltung zeigt Abb. 15. Das Telephone T_1 ist in die Schleife geschaltet, welche den Stromkreis von den Kontaktbürsten I bis III über die Empfangsstation zur Walzenbürste w_1 schließt; das andere Telephone T_2 ist einerseits mit der Erde, andererseits über den einen Draht der Schleife mit der zweiten Walzenbürste w_2 und, je nachdem die Perforierung die metallische Berührung der Walzenbürste mit dem einen oder anderen Walzensegment 4 oder 5 gestattet, mit dem — oder + Pol der Linienbatterie verbunden.

Der Natur der Buchstaben gemäß und um eine gedrängtere Schrift zu erhalten, müssen die horizontalen Komponenten langsamer verlaufen als die vertikalen, weshalb dem Stromkreise des Telephones T_2 eine kleinere Selbstinduktion e_2 nebengeschaltet wird. Selbstverständlich werden die für einen Buchstaben erforderlichen Perforierungen mit einem Schläge auf die betreffende Taste des der Schreibmaschine nachgebildeten Stanzapparates vollzogen.



Übergehend zur zweiten Gruppe, den Typendrucktelegraphen, möchte ich zunächst hervorheben, daß meiner Ansicht nach diese Art der Zeichenübermittlung

Fertigkeiten vom Spielenden bedingt, welche nur nach langer Schulung erworben und durch fortgesetzte Übung erhalten werden können, während das Baudot-System noch immer die Kenntnis eines eigenen Kombinationsalphabetes voraussetzt, kann auf den neueren und nicht minder leistungsfähigen Apparaten dieser Gruppe jeder Laie langsam, der „type-writer“ jedoch bei einiger Übung tadellos arbeiten.

Die derzeit am meisten verbreiteten Typendrucktelegraphen sind jene von Hughes und Baudot. Da beide Systeme dank ihrer langjährigen Verwendung auch weiteren Kreisen ziemlich bekannt sind, will ich nur in Kürze erwähnen, daß beim Hughes-Apparat eine Klaviatur von 28 Tasten vorhanden ist, mit welchen die Stromemissionen in jenem Momente in die Leitung entsendet werden, in dem die Typenräder der korrespondierenden und synchron laufenden Apparate jene Lage einnehmen, welche erforderlich ist, um die der gedrückten Taste entsprechende Type auf den Papierstreifen abzudrücken. Beim Baudot-Apparat werden durch Niederdrücken bestimmter Tasten einer fünf-

fachen Klaviatur Kombinationen von + und — Stromstößen in die Leitung entsendet, deren Zusammenwirken im Kombinateur des Empfängers die gewünschte Type zum Abdrucke bringt.

In den letzten Jahren sind zwei neue Systeme erfunden worden, welche in mehrfacher Beziehung ganz bedeutende Fortschritte der Typendrucktelegraphie darstellen.

Durch das von Donald Murray herrührende System ist es gelungen, die Prinzipien der Schnelltelegraphie auch für Typendruck zu verwerten. Im Sender erscheint die Konstruktion des Wheatstone'schen Automaten im allgemeinen beibehalten, nur erfolgt die Perforierung der Streifen nicht nach dem Morsealphabet und mit der bei Wheatstone und beim Pollak-Virág'schen Schnelltelegraphen verwendeten Stanzvorrichtung, sondern auf einem mit einer Klaviatur versehenen Lochapparat, der ebenso viele Tasten als das Alphabet Zeichen enthält, und zu dessen Bedienung keine weiteren Fertigkeiten als zur Handhabung einer gewöhnlichen Schreibmaschine erforderlich sind. Während aber bei den vorerwähnten Schnelltelegraphen die Telegramme in Morse- oder Rekorderschrift auf dem Streifen oder Bande erscheinen und von diesem erst abgelesen und auf handschriftlichem Wege auf das für den Adressaten bestimmte Blankett übertragen werden müssen, gelangen die hier auf der Leitung eintreffenden Ströme in den Lochapparat der Empfangsstation, welcher abermals die Telegramme in Form eines durchlochten Streifens wiedergibt und diesen sodann in einen Druckapparat weiterführt, wo sie auf Blätter oder direkt auf die Empfangsblankette in gewöhnlicher Druckschrift aufgezeichnet werden. Ohne auf die Details dieses vielversprechenden Systemes näher einzugehen, sei nur bemerkt, daß dieser Druckapparat dem Prinzip nach dem Jacquard'schen Webstuhl ähnlich gebaut ist und den Druck der Depeschen auf rein mechanischem Wege mit einer Geschwindigkeit

trotz aller Fortschritte der Rapidtelegraphie immer die größte Bedeutung für die Verkehrstelegraphie behalten wird, wo es sich nicht um die Übermittlung langer Berichte, sondern um die rascheste Beförderung jener zahlreichen, aber verhältnismäßig kurzen Telegramme handelt, welche die Grundlage des heutigen Weltverkehrs bilden. Diese Art von Depeschen müssen sofort vom empfangenden Beamten auf ihre Übereinstimmung mit dem Originale geprüft, häufig dem vollen Wortlaute nach kollationiert und sodann ohne weiteren Zeitverlust dem Adressaten zugestellt werden, Forderungen, welche beim Betrieb der automatischen Telegraphen kaum erfüllt werden können, ohne auf den Hauptvorteil derselben, die Geschwindigkeit der Zeichengebung, zum größten Teile verzichten zu müssen.

Bei den Typendrucktelegraphen, welche, nebenbei bemerkt, sämtlich auf dem Prinzip der synchronen Bewegung entfernter Mechanismen beruhen, ist in letzter Zeit das bemerkenswerte Bestreben zu konstatieren, die für die Zeichenabgabe bestimmten Apparate, unbeschadet der weitestgehenden Leistungsfähigkeit, möglichst den im Geschäftsverkehr bereits eingebürgerten Schreibmaschinen anzupassen, ein Bestreben, welches vom Standpunkte der Verwaltungen umso mehr unterstützt werden muß, als hiedurch endlich die äußerst kostspielige Spezialausbildung des Personales entfallen würde. Während der Hughes-Apparat

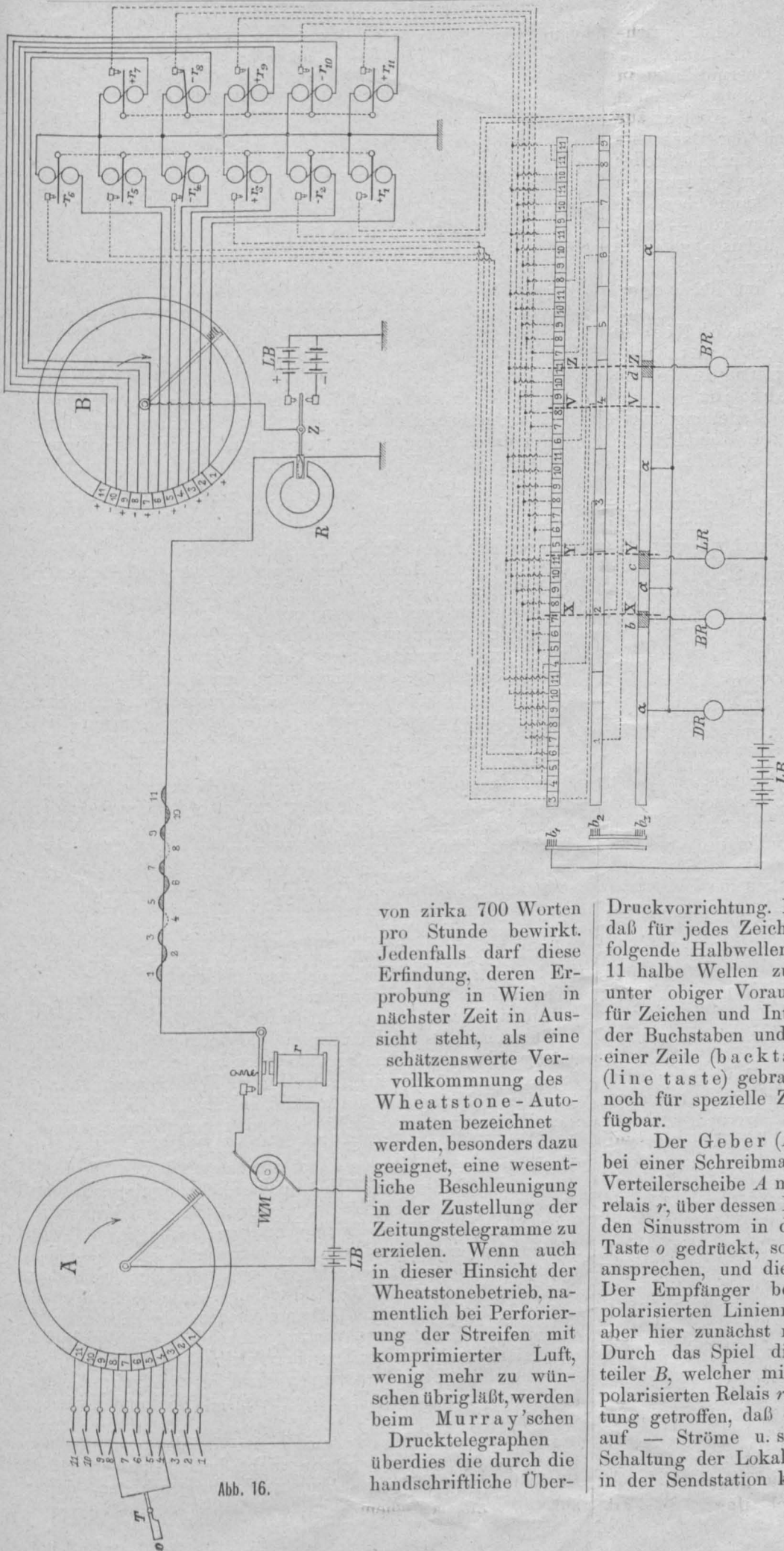


Abb. 16.

von zirka 700 Worten pro Stunde bewirkt. Jedenfalls darf diese Erfindung, deren Erprobung in Wien in nächster Zeit in Aussicht steht, als eine schätzenswerte Vervollkommnung des Wheatstone-Automaten bezeichnet werden, besonders dazu geeignet, eine wesentliche Beschleunigung in der Zustellung der Zeitungstelegramme zu erzielen. Wenn auch in dieser Hinsicht der Wheatstonebetrieb, namentlich bei Perforierung der Streifen mit komprimierter Luft, wenig mehr zu wünschen übrig läßt, werden beim Murray'schen Drucktelegraphen überdies die durch die handschriftliche Über-

Druckvorrichtung. Die Zeichengebung selbst erfolgt dadurch, daß für jedes Zeichen zwei nicht unmittelbar aufeinander folgende Halbwellen unterdrückt werden. Da im ganzen 11 halbe Wellen zur Verfügung stehen, so ergeben sich unter obiger Voraussetzung 45 Kombinationen, wovon 38 für Zeichen und Interpunktionen, je eine für die Trennung der Buchstaben und Worte (Blanktaste), für den Beginn einer Zeile (backtaste) und für die Trennung der Zeilen (line taste) gebraucht werden. Vier Kombinationen sind noch für spezielle Zeichen fremdländischer Alphabete verfügbar.

Der Geber (Abb. 16) besteht zunächst aus der wie bei einer Schreibmaschine angeordneten Klaviatur *T*, einer Verteilerscheibe *A* mit 4×11 Kontakten und einem Lokalrelais *r*, über dessen Ruhekontakt eine Wechselstrommaschine den Sinusstrom in die Leitung sendet. Wird nun z. B. die Taste *o* gedrückt, so wird das Relais bei Kontakt 4 und 8 ansprechen, und die betreffenden Halbwellen bleiben aus. Der Empfänger besteht aus einem sehr empfindlichen polarisierten Linienrelais *R* mit zwei Zungen, von welchen aber hier zunächst nur die obere in Betracht kommen soll. Durch das Spiel dieser Zunge *Z* werden über den Verteiler *B*, welcher mit *A* synchron läuft, Lokalströme in die polarisierten Relais *r*₁ bis *r*₁₁ gesendet; dabei ist die Einrichtung getroffen, daß das Relais *r*₁ nur auf + Ströme, *r*₂ nur auf - Ströme u. s. w. anspricht, wodurch bei richtiger Schaltung der Lokalbatterie *LB* erreicht ist, daß, insoweit in der Sendstation keine Taste gedrückt wird, sonach der

tragung der Morsezeichen unvermeidlichen Verzögerungen umso gründlicher beseitigt, als der Apparat die Telegramme für die Zustellung, eventuell auch für den Setzer, vollständig fertig, im Bedarfsfalle sogar in 20 Abdrücken liefert.

In mancher Beziehung ganz neuartig sind die Konstruktionsprinzipien, auf welchen der Typendruker des erst jüngst in Baltimore verstorbenen Physikers Henry Rowland beruht. Dieses System, dessen erstmalige Vorführung auf der letzten Pariser Weltausstellung mit Recht das Interesse der Fachleute erregte, und das seither in Amerika auf Entfernungen bis zu 900 km, in Europa zwischen Paris und Marseille und Berlin-Hamburg mit Erfolg im Betriebe steht, gestattet, acht Depeschen auf einer Leitung, u. zw. vier in jeder Richtung, im ganzen ca. 18.000 Worte pro Stunde zu befördern, wobei es überdies noch die Vorteile des Murray'schen Typendruckers — das der Handhabung der Schreibmaschine sehr ähnliche Spiel und die Herstellung expeditionsbereiter Depeschen in Typendruck auf 15—20 cm breitem Papierbände — aufweist.

Beim Rowland'schen Typendruker wird vom gebenden Amte ein Sinusstrom in die Leitung entsendet, der im Empfänger die zwei Zungen eines polarisierten Relais in oszillierende Bewegung versetzt. Eine dieser Zungen dient, wie später eingehender geschildert werden soll, zur Aufrechthaltung des Synchronismus im Gange der korrespondierenden Apparate, die zweite zur Betätigung der

Sinusstrom vollständig mit allen seinen Wellen in die Leitung gelangt, keines der Lokalrelais zum Ansprechen gebracht wird. Bleibt aber z. B. bei Übermittlung des Buchstaben *o* die Halbwelle 4 aus, so bleibt die Zunge, welche durch die Halbwelle 3 an den — Kontakt des Linienrelais gelegt wurde, auch während der Dauer der Halbwelle 4 und selbstverständlich während der Halbwelle 5 an demselben Kontakte liegen; während der Bewegung des Kontaktarmes über das Kontaktstück 4 kann aber jetzt ein negativer Stromstoß in das normal nur von + Stößen getroffene und darauf nicht reagierende Relais r_4 gelangen, welches daher anspricht. Derselbe Vorgang vollzieht sich bei der in Betracht gezogenen Kombination im Relais 8, sobald die Welle 8 unterdrückt wird.

So erscheint also die im Sender durch Niederdrücken der Taste *o* gegebene Kombination im Empfänger durch die Ankerstellungen der Relais r_4 und r_8 zum Ausdrucke gebracht.

Die Übersetzung des durch die Arbeitsstellung zweier nicht aufeinander folgender Anker der elf Kombinationsrelais übertragenen Zeichens erfolgt nun mit Hilfe des sogenannten Kombinator, einer Verteilscheibe, die in Abb. 16 in ausgestreckter Lage dargestellt ist; diese Unterverteiler, deren natürlich der Zahl der gleichzeitig an der Leitung partizipierenden Empfangsapparate entsprechend vier vorhanden sind, enthalten drei Reihen auf der isolierenden Scheibe eingelassener Metallkontakte, über welche drei Metallbürsten b_1 b_2 b_3 synchron mit den Kontaktarmen der Hauptverteiler *A* und *B* rotieren. Der Schaltung ist zu entnehmen, daß beim Ansprechen der beiden Relais 4 und 8 nur eine Stellung *VV* der Bürsten den Lokalstromkreis des Druckrelais *DR* zu schließen vermag. In demselben Momente spricht letzteres an, wodurch die Druckvorrichtung betätigt und die Type *o* des Typenrades zum Abdruck gebracht wird.

Um die Zeichen von einander zu trennen, muß stets mit dem Druckrelais durch Schluß eines zweiten Lokalstromkreises auch das sogenannte Blankrelais *BR* ansprechen, wodurch der Papierstreifen automatisch um eine Zeichenbreite weiterbewegt wird. Derselbe Effekt kann aber auch absichtlich durch Niederdrücken der Blanktaste, welche der Kombination 2, 7 entspricht, erzielt werden, wenn es sich darum handelt, größere Zwischenräume zwischen den Buchstaben und Worten herzustellen (Bürstenstellung *XX*).

Die Linetaste zum Trennen der Zeilen entspricht der Kombination 2, 11 (Bürstenstellung *YY*), die Backtaste zum Zurückführen des Papieres, bzw. zum Beginne einer neuen Zeile der Kombination 4, 11 (Bürstenstellung *ZZ*).

In der Zeichnung sind nur die zwei korrespondierenden Stationen zugehörigen Bestandteile dargestellt. Da der Rowland-Apparat aber vierfach arbeitet, werden selbstverständlich die restierenden Quadranten der Hauptverteiler in analoger Weise mit je elf Kontaktstücken ausgestattet, welche wieder in gleicher Weise mit den Klaviaturhebeln, den Kombinationsrelais und den Unterverteilern der einzelnen Teilstationen verbunden sind.

Auf die mechanische Ausführung der zum Drucken, zur Fortbewegung des Papierbandes u. s. w. dienenden Einrichtungen näher einzugehen, würde hier viel zu weit führen; dagegen will ich es nicht unterlassen, in Kürze die sinnreichen Vorrichtungen zur dauernden Erhaltung des für die klaglose Verständigung unentbehrlichen Synchronismus in der Bewegung der Verteilerarme zu schildern.

Wie schon erwähnt, besitzt das Linienrelais zwei Zungen, welche den Oszillationen des Wechselstromes entsprechend vibrieren.

Der Funktionen der einen Zunge wurde gelegentlich der Besprechung der Vorgänge, die sich beim Abdrucke der Zeichen vollziehen, bereits gedacht. Die zweite Zunge Z_2

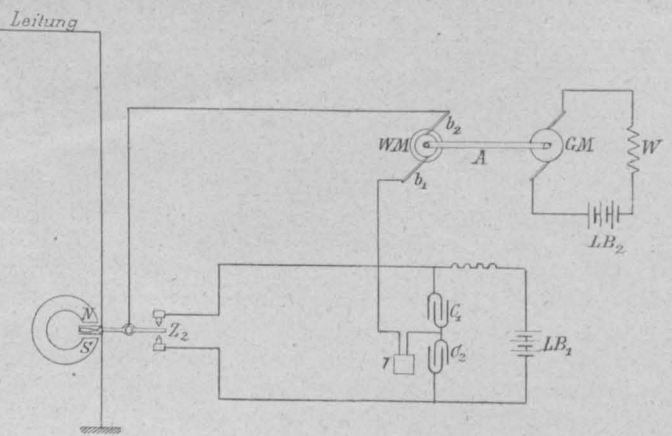


Abb. 17.

(Abb. 17) dient ausschließlich zur Erhaltung des Synchronismus zwischen den Verteilern des Gebers und des Empfängers. Zu diesem Zwecke ist nun folgende Anordnung getroffen: Zwei Kondensatoren C_1 und C_2 stehen mit je einer Belegung einerseits — unter Vorschaltung von regulierbaren Widerständen mit den Polen einer Lokalbatterie LB_1 , andererseits mit den Kontakten der Synchronismuszunge des Empfangsrelais in Verbindung. Die andere Belegung der Kondensatoren ist über ein Telefon *T* an die Bürste b_1 eines kleinen Wechselstrommotors *WM* gelegt, dessen zweite Bürste mit der Zunge Z_2 verbunden ist. Infolge der Bewegungen der Zunge werden die Kondensatoren abwechselnd entladen und wieder geladen, welche Stromstöße natürlich mit derselben Wechselzahl aufeinanderfolgen wie die von der Wechselstrommaschine des Gebers in die Leitung entsendeten Stromwellen. Diese alternierenden Stromstöße werden zwar im Telefon einen Ton von bestimmter Stärke und Höhe hervorrufen, aber keineswegs den Motor *WM* in Bewegung bringen. Auf der Ankerachse *A* des letzteren sitzt nun weiters der Anker eines kleinen Gleichstrommotors *GM*, der durch die Lokalbatterie LB_2 getrieben und dessen Tourenzahl durch den Vorschaltwiderstand *W* reguliert wird. Die Achse *A* steht endlich durch ein Zahnradgetriebe mit der Triebwelle des Empfängerverteilers in Verbindung.

Durch die Wirkung des Gleichstrommotors wird zunächst der Wechselstrommotor als Generator wirken; der hiedurch erzeugte Wechselstrom wird wohl das Telefon durchlaufen, aber anfangs nicht mit der Periodenzahl der aus den Kondensatorstromkreisen kommenden Stromstöße harmonieren. Es wird daher im Telefon der früher gleichmäßige Ton unregelmäßig und jenen Schwebungen ähnlich werden, die hörbar sind, sobald zwei Töne von annähernd gleicher Schwingungszahl zusammenklingen. Es wird nun der Widerstand *W* des Gleichstrommotors solange variiert, bis das Telefon wieder den reinen Ton gibt, der den Oszillationen der Zunge Z_2 entspricht, und der Wechselstrom des Generators *WM* gleiche Schwingungszahl mit der Zunge Z_2 erhalten hat, wodurch der Synchronismus zwischen dem Motor, bzw. Verteiler des gebenden mit jenem des empfangenden Amtes hergestellt ist.

Ist das einmal erreicht, so wird der Synchronismus automatisch durch die Wechselstrommaschine *WM* aufrecht erhalten, da diese als Dynamo oder als Motor, also bremsend oder treibend wirkt, je nachdem die Geschwindigkeit ihrer Achse größer oder kleiner wird. Sogar bei eintretenden Betriebsstörungen wird der Synchronismus, wie die Versuche ergaben, in etwa 20—30 Sekunden wieder gewonnen.

Das achtfache System besitzt nicht weniger als 82 Relais, was aber durchaus nicht bedenklich erscheint, da 80 davon nur in Lokalstromkreisen arbeiten, daher keiner Regulierung bedürfen.

Übergehend zur dritten Gruppe von Telegraphensystemen, mit welchen Originalschriftzüge und Zeichnungen in die Ferne übertragen werden sollen, gebricht es natürlich hier an Raum, die vielen mitunter genialen Erscheinungen auf diesem Gebiete, welches seit jeher als Eldorado der Erfinder galt, auch nur cursorisch zu erwähnen. Von den hier in Betracht kommenden Systemen sind nur der Telautograph von Elisha Gray und neuestens der Schreibtelegraph von Cerebotani insoferne von Interesse, als hiebei neue Prinzipien zur Anwendung gelangt erscheinen. Während früher bei allen autographischen Systemen in der Geberstation das Original in Elemente zerlegt wurde, welche einzeln mit Hilfe synchroner Bewegungen entweder auf elektrochemischem oder mechanischem Wege im Empfänger dargestellt wurden, erfolgt beim Telautographen die Übermittlung der Schriftzüge unmittelbar, sozusagen unter der Hand. Gray zerlegt die beim Schreiben verursachte Bewegung des Stiftes in zwei aufeinander senkrechte Komponenten, welche durch synchron bewegte Mechanismen im Empfänger reproduziert werden. Eine weitere Vervollkommnung desselben Prinzipes gelang Cerebotani, dessen Apparate jüngst auf einigen bayrischen Leitungen recht befriedigende Erfolge erzielt haben sollen.

Da jedoch bisher kein Autograph irgendwelche praktische Bedeutung erlangt hat, muß ich es mir versagen, näher auf die interessanten Details dieser Konstruktionen einzugehen.

Umso wichtiger ist die IV. Gruppe von Systemen, bei welchen die Fernverständigung durch die Sprache selbst zustande kommt. Wiewohl eigentlich ein Zweig der Schwachstromtechnik für sich, subsummiere ich hier mit Absicht die Telephonie der Telegraphie, weil ja doch in beiden Fällen derselbe Zweck nur mit ganz verschiedenen Mitteln angestrebt wird und sich überdies die Grenzen zwischen diesen Zweigen immer mehr und mehr verwischen; wir befördern Telegramme auf telephonischem Wege und telegraphieren auf Telephonleitungen und mit Apparaten, welche ihrem elektrischen und magnetischen Verhalten nach weit eher in das Gebiet der Telephonie gehören.

Das Element, aus welchem Schallempfindungen gebildet, mit welchem Laute übertragen werden, ist die Sinuswelle, welche für sich allein die Empfindung des reinen, einfachen Tones erzeugt. Die die Sprache bildenden Klänge bestehen aber nie aus einfachen Tönen, sondern sie sind stets mit einer mehr oder weniger großen Zahl von Obertönen vermischt, deren Zahl, Höhe und relative Intensität die Klangfarbe bedingt.

Bei der Bildung der Vokale ist es die Zumischung ganz bestimmter hochgradig verstärkter Obertöne zum Grundtone, welche diesem den eigentümlichen Klang gibt.

Die Art der Zusammensetzung von Vokalen von gleicher und verschiedener Tonhöhe zeigen Kurven und Tonphotographien, wie sie in letzter Zeit von Hermann, Schneebeli, Dr. Raps u. a. aufgenommen wurden. Weniger im Klaren ist man bis heute noch über die Bildung der Konsonanten, deren sehr komplizierte Schwingungskurven zwar auch schon fixiert, aber noch nicht analysiert wurden.

Bei der Übertragung der Sprache ist es Bedingung, daß die Klangfarbe erhalten bleibt, daß ein bestimmter Vokal immer seinen Charakter beibehält, und daß namentlich auch die Konsonanten nicht verändert werden, was wieder voraussetzt, daß die Partialtöne ihre relative Intensität und Phase beibehalten. Je genauer diese letztere Bedingung erfüllt wird, umso reiner wird die Klangfarbe der Stimme übertragen, so daß nicht nur das Gesprochene deutlich verstanden, sondern auch der Sprechende an der Stimme leicht erkannt werden kann.

Es ist keineswegs meine Absicht, an dieser Stelle auf die Theorie der telephonischen Übertragung weiter einzu-

gehen, sondern ich wollte nur mit diesen Andeutungen zeigen, wie ungemein kompliziert die sich im Telephon und Mikrophon abspielenden Vorgänge sind, und wie sehr diese kleinen unscheinbaren Apparate unsere Bewunderung verdienen, mit welchen die moderne Fernsprechtechnik den unmittelbaren Gedankenaustausch auf so große Distanzen schon ermöglicht.

Damit glaube ich in Kürze alle jene Mittel erwähnt zu haben, welche dazu dienen, die zum Zwecke der Fernverständigung erforderlichen Energieveränderungen in der einen Station hervorzurufen und in der anderen zu registrieren.

Ursache und Wirkung müssen aber, wie eingangs betont, auch in einen räumlichen Zusammenhang gebracht werden, und dazu dient in der elektromagnetischen Telegraphie, bezw. Telephonie die Leitung.

Es ist bekannt, daß längere Leitungen die Fortpflanzung elektrischer Wellen in höchst ungünstiger Weise beeinflussen. Abgesehen von den Stromverlusten durch Ableitung, welche sich namentlich bei Luftleitungen geltend machen, beeinträchtigen die Wirkungen der Kapazität, Selbstinduktion und des Widerstandes in hohem Maße die richtige Zeichenübertragung. Wird ein elektrischer Strom in eine lange Leitung gesendet, so wird er am empfangenden Ende erst nach einer gewissen Zeit die durch den Widerstand der Leitung und die Polspannung der Elektrizitätsquelle bedingte Maximalstärke erreichen. Unterbricht man nach Beendigung der Zeichengebung den Strom, so wird sich die Leitung nach beiden Enden entladen. Aber ebenso wie die Stromstärke beim Beginn des Zeichens ihren normalen Wert nur allmählich erlangt, wird sich auch die Entladung der Leitung nicht momentan vollziehen. Die Kurve des ankommenden Stromes (Abb. 18) ist nun maß-

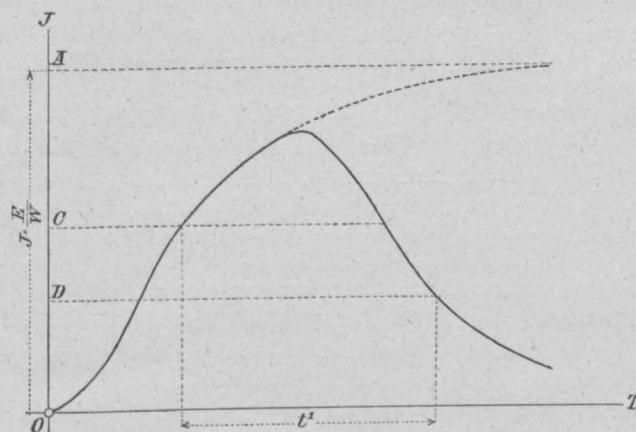


Abb. 18.

gebend für die zulässige Geschwindigkeit in der Aufeinanderfolge der Stromemissionen. Angenommen, OC stelle die Stromstärke dar, bei welcher der Empfangsapparat anspricht, und OD jene Minimalstromstärke, bei welcher der Anker desselben losreißt, so ist durch t' die Dauer der Zeichengebung selbst gegeben. Da nun die Leitung ein zweites Zeichen aufzunehmen erst in dem Moment bereit ist, wenn die Stromstärke unter das zum Festhalten des Ankers erforderliche Maß gesunken ist, wird für eine Apparattype von bestimmter Empfindlichkeit die Dauer des Zeichens umso kleiner und damit die mögliche Geschwindigkeit der Zeichengebung umso größer werden, je steiler die Kurve des ankommenden Stromes ist. Die Form dieser Kurve hängt ausschließlich von den elektrischen Eigenschaften der Leitung ab. Je kleiner Kapazität und Widerstand derselben sind, umso steiler wird die Kurve ansteigen und abfallen, d. h. die Geschwindigkeit der Zeichengebung ist umgekehrt proportional der Kapazität und dem Widerstande der Leitung. Bei gegebenen Stromverhältnissen wird

man die Zeichengebung beschleunigen können entweder durch Entsendung von Gegenströmen, welche die Entladung der Leitung begünstigen, durch Zuschalten von Selbstinduktionsspulen an die Leitung, um die Wirkung der Kapazität zu paralisieren, oder endlich durch die Zwischenschaltung von Relais — Translatoren — behufs Unterteilung des Stromweges.

Solange es sich um Telegraphierströme mit im höchsten Falle 100 Stromstößen pro 1" handelt, genügen diese Mittel in der Regel selbst noch auf sehr große Entfernungen; sie versagen jedoch gänzlich bei telephonischen Übertragungen, wo wir es mit 100—1000 Schwingungen pro 1" zu tun haben. Schon in verhältnismäßig kurzen Kabeln (über 100 km) werden die Stromwellen so abgeflacht und deformiert, daß das Telephon nicht mehr anspricht.

Hauptsächlich sind es zwei Wirkungen, die Dämpfung und die Verzerrung — Deformierung der Wellen — welche sich bei der Fernleitung von Telephonströmen geltend machen. Die Dämpfung kann durch Erhöhung der Selbstinduktion oder Verminderung der Kapazität und des Widerstandes verringert werden. Wie steht es aber mit der Verzerrung?

Jeder periodische Strom kann nach Fourier in eine Reihe von Sinuswellen von verschiedener Frequenz und Phase aufgelöst werden. Da nun die Dämpfung mit der Periodenzahl zunimmt, so wird bei kombinierten Stromwellen mit der Dämpfung auch stets eine Verzerrung der Wellen eintreten.

Diesen Einfüssen wirksam entgegenzutreten, gibt es nur ein Mittel, die an sich zumeist nur sehr kleine Selbstinduktion der Leitung zu vergrößern und den gegebenen Verhältnissen entsprechend richtig zu verteilen.

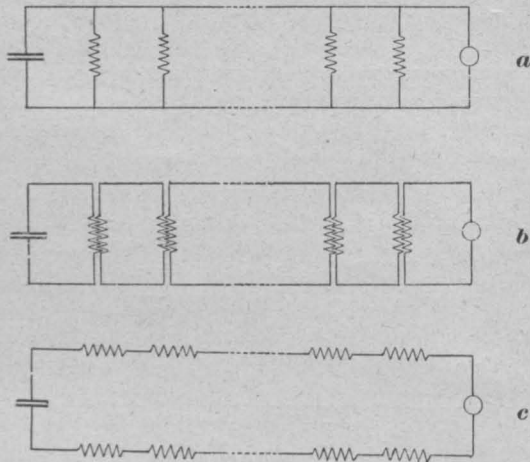


Abb. 19.

Während Professor Silvanus Thompson im Jahre 1893 vorgeschlagen hatte, Spulen von bestimmtem Widerstande und Selbstinduktion in gleichen Abständen dem Leiter parallel zu schalten (Abb. 19a), Reed im selben Jahre dieselbe Wirkung durch mehrfache Unterteilung des Stromkreises mit Hilfe von Transformatoren zu erreichen versuchte (Abb. 19b), bewies Pupin vor ungefähr zwei Jahren in überzeugender Weise, daß, um dem Einfluß der Kapazität auf die telephonische Übertragung zu begegnen, Selbstinduktionsspulen hintereinander und in bestimmten Abständen, welche den jeweiligen elektrischen Konstanten der Leitung entsprechend auf mathematischem Wege ermittelt werden können, in die Leitung einzuschalten sind. (Abb. 19c.)

Letzteres System hat mittlerweile ausgedehnte praktische Anwendung in Amerika, vorläufig wenigstens für Überlandleitungen von sehr großer Distanz und versuchs-

weise auch für Landkabel gefunden. Wiewohl bisher dieses Prinzip noch nicht der Konstruktion von Seekabeln zugrunde gelegt werden konnte, ist doch nach den glänzenden Erfolgen des Systems mit Recht zu hoffen, daß das für den Weltverkehr so außerordentlich wichtige Problem der transozeanischen Telephonie langsam, aber sicher gelöst werden wird.

Wie dem Vorstehenden entnommen werden wolle, ergeben sich infolge der elektrischen Eigenschaften der Leitungen für den Telegraphentechniker recht schwierige Aufgaben, sobald es sich um die Überwindung großer Entfernungen handelt. Da aber in diesem Falle gleichzeitig auch die Anlagekosten unverhältnismäßig wachsen, ja die Leitung, ganz allgemein genommen, stets den in Bezug auf Investition und Erhaltung kostspieligsten Teil jeder Anlage darstellt, tritt zu diesen Schwierigkeiten noch die berechtigte Forderung, die bestehenden Leitungen möglichst intensiv auszunützen, d. h. auf einem Drahte, bezw. Schleife per Zeiteinheit möglichst viele Worte, bezw. Gespräche zu befördern. Dieses Ziel durch tunlichste Beschleunigung in der Abgabe der die Zeichen übertragenden Stromemissionen zu erreichen, ist durch die in konstruktiver Beziehung bereits auf eine hohe Stufe der Vollkommenheit gelangten Rapidtelegraphen gelungen, während es die Mehrfachtelegraphie ermöglicht, die Leistungsfähigkeit aller existierenden Apparatsysteme dadurch zu steigern, daß mehrere Sende- und Empfangsstellen gleichzeitig, aber unabhängig von einander auf einem und demselben Draht korrespondieren können. So läßt es sich durch geeignete Schaltung der Apparate erreichen, daß z. B. bei der Diplextelegraphie zwei Depeschen in einer Richtung, bei der Duplextelegraphie zwei Depeschen in entgegengesetzter Richtung, bei der Quadruplextelegraphie sogar vier Depeschen, u. zw. zwei in der einen, zwei in der anderen Richtung gleichzeitig auf demselben Drahte gegeben und aufgenommen werden können. Die sogenannte absatzweise Multiplextelegraphie beruht dagegen darauf, daß die Leitung durch synchron laufende Verteiler in den beiden Endstationen in rascher Aufeinanderfolge an je ein Paar der korrespondierenden Apparate geschaltet wird, um denselben während dieses kurzen Zeitabschnittes den Austausch der für je ein Zeichen erforderlichen Stromemission zu gestatten. Dieses von Meyer herrührende Prinzip erfuhr in der weiteren Folge durch Baudot, Delany u. a. eine hohe mechanische Ausbildung. So interessant und wichtig gerade dieses Kapitel der Telegraphentechnik ist, kann ich doch hier nicht auf die Details dieser subtilen Schaltungen eingehen, sondern nur noch beifügen, daß in jüngster Zeit auf diesem Gebiete einige neue Probleme — die simultane Telegraphie und Telephonie — sowie die Mehrfachtelephonie in praktisch recht befriedigender Weise gelöst wurden.

Sie werden sich erinnern, daß vor ungefähr 16 Jahren, als der interurbanen Telephonie noch geringe Bedeutung für den Verkehr zuerkannt wurde, die Absicht bestand, diesen „Nebenzweck“ mit den geringsten Kosten dadurch zu erreichen, daß bestehende Telegraphenleitungen nach dem System Rysselberghe für den telephonischen Verkehr adaptiert werden. So war z. B. nach diesem Systeme der Telephonverkehr zwischen Wien und Brünn auf zwei Hughes-Leitungen einige Jahre hindurch aktiviert. Mit Ausnahme von Belgien, wo ganz eigenartige Umstände die allgemeinste Verbreitung des Rysselberghe-Systems förderten, haben jedoch alle Verwaltungen diese Einrichtung sehr bald aufgegeben, weil die Telegraphie hiedurch in hohem Maße geschädigt wurde und der Genuß der telephonischen Verständigung doch ein recht zweifelhafter blieb. Heute werden im Gegenteile Telephonleitungen aus Bronzedraht für telegraphische Zwecke mitbenützt, wobei die Schaltung nach Abb. 20 auf der Methode der bekannten Wheatstone'schen Brücke beruht. Gesprochen wird auf

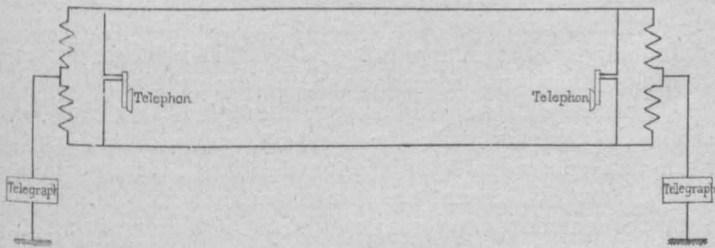


Abb. 20.

der Doppelleitung, telegraphiert auf einfacher aus den parallel geschalteten Drähten gebildeten Leitung mit Erde. Die beiden Spulen besitzen hintereinander geschaltet eine große Selbstinduktion, welche jedoch bei dieser Schaltung den Telegraphierstrom nicht zu beeinträchtigen vermag. Sofferne die beiden Spulenhälften in elektrischer und magnetischer Hinsicht einander gleich sind, können die Teilströme des Telegraphierstromes das Telephon in keiner Weise beeinflussen. Simultan wird heute von Wien nach

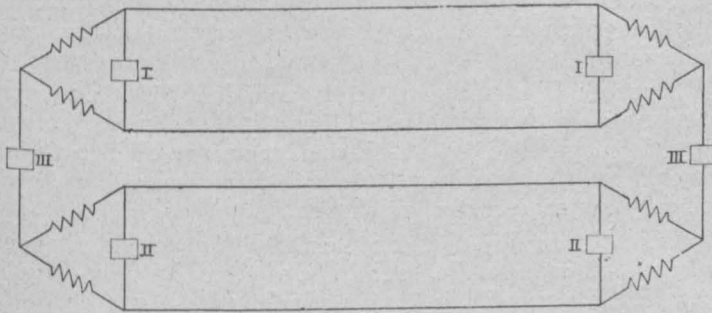


Abb. 21.

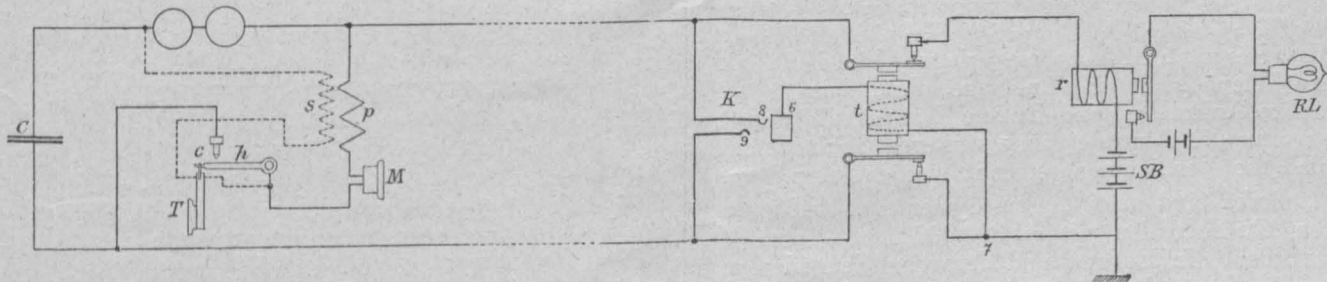


Abb. 22.

Berlin und nach Pest tadellos gearbeitet, und ist die Heranziehung eines großen Teiles des vorhandenen Telephonleitungsnetzes für den telegraphischen Verkehr in Aussicht genommen.

Einer ähnlichen Schaltung bedient man sich auch für die Mehrfachtelephonie, um aus zwei Telephon Schleifen I und II (Abb. 21) eine dritte — die sogenannte Kunstschleife III — zu bilden. Bei richtiger Konstruktion der vier auf einem gemeinschaftlichen Kerne von unterteiltem Eisen gewickelten Spulen und bei gutem Leitungsstande bleiben die drei Stromkreise völlig von einander unabhängig.

Diese Einrichtung ist derzeit auf Wien—Pest, Wien—Brünn, Wien—Baden, Wien—Liesing im Betriebe, soll aber demnächst in anderen Relationen, Prag u. s. w., getroffen werden.

Um endlich auch in einem weitverzweigten Leitungsnetze stets entsprechend der Grundbedingung jeder Fernverständigung Ursache und Wirkung in einen räumlichen Zusammenhang zu bringen und für die Dauer der Korrespondenz zu erhalten, müssen geeignete Vorkehrungen getroffen werden, selbst in dichten Netzen die jeweilige Kom-

ination der Leitungen rasch und sicher bewerkstelligen zu können. So verhältnismäßig einfach diese Sache in kleineren Telephonnetzen und im Telegraphenbetriebe sich darstellt, bietet diese Bedingung in großstädtischen Telephonnetzen mit vielen tausenden von Abonnentenleitungen Schwierigkeiten, deren richtige Lösung in betriebstechnischer und finanzieller Beziehung von weitesttragender Bedeutung ist.

Dieser Zweig der Fernsprechtechnik hat sich seither zu einem Spezialfache ausgebildet, mit dessen Pflege sich großartige Fabriken in Europa und Amerika fast ausschließlich beschäftigen. Ich bin natürlich nicht in der Lage, hier die komplizierten Schaltungen des Vielfachbetriebes, die Einrichtungen für den Vermittlungsverkehr zwischen großen Zentralen, wie sie heute in den Großstädten bestehen, zu beschreiben, und erwähne nur nebenbei, daß die zum erstenmale in den Wiener Zentralen in so großem Maßstabe zur Anwendung gelangte Glühlampensignalisierung nunmehr allgemein für große Vermittlungsanstalten gewählt wird. Dagegen will ich von neueren Systemen jene in Kürze schildern, welchen eine besondere Originalität und eine bedeutende Zukunft zugesprochen werden kann. Das eine ist das Commonbattery-System der Western-Electric Cie., bei welchem alle sonst bei den einzelnen Abonnenten verteilten Stromquellen — für den Anruf und die Mikrophone — in der Zentrale vereinigt sind, wodurch nicht nur die Instandhaltung, sondern auch der Betrieb so vereinfacht werden, daß eine Telephonistin bis zu 240 Abonnenten bedienen kann, während 80 bis 100 derzeit als Maximum galt.

Ein sehr vereinfachtes Schema dieses Systems ist in Abb. 22, 23 gegeben.

Solange der Abonnent nicht spricht, bzw. sein Telephon T am Haken hängt, ist der Stromkreis der Signal-

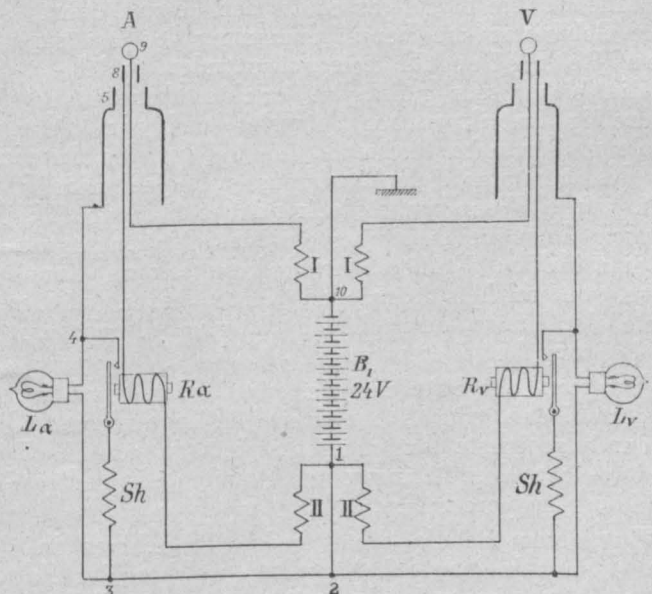


Abb. 23.

batterie SB durch den Kondensator C unterbrochen; er wird erst geschlossen, sobald der Abonnent die Zentrale durch Abheben des linksseitigen Telephones avisiert, daß er zu sprechen wünscht. Der Hebel h bewegt sich nach aufwärts, der Kontakt bei c wird geschlossen und dadurch der Kondensator C kurzgeschlossen. Das Relais r spricht an und schließt den Lokalstromkreis der Ruflampe RL , welche dadurch zum Leuchten gebracht wird. Auf dieses Signal hin, führt die Telephonistin den Stöpsel A (Abb. 23) in die Klinke K des rufenden Abonnenten, wodurch die geerdete Batterie B_1 einen Strom über 1, 2, 3, La 4, 5, 6, 7 Erde zu senden vermag, welcher das Trennrelais t betätigt; der Stromkreis der Signalbatterie SB und jener der Ruflampe RL werden unterbrochen.

Gleichzeitig spricht aber das Relais Ra über 1, 8 Abonnentenleitung 9, 10 an, wodurch die Lampe La kurzgeschlossen bleibt. Hat der Abonnent die gewünschte Nummer gegeben, so prüft zunächst die Telephonistin in der bekannten Weise, ob die betreffende Leitung unbesetzt ist, und führt günstigenfalls den Stöpsel in die betreffende Klinke ein. Da bei diesem Abonnenten z. B. B das Telephon noch am Haken hängt, kann sich der Strom in der Abonnentenleitung B nicht entwickeln, das Relais Rv daher nicht ansprechen; die Lampe Lv , welche ja wie beim rufenden Abonnenten nach dem Stöpseln der Klinke in dem Stromkreis des Trennrelais liegt, wird nun solange aufleuchten, bis der Abonnent B das von der Zentrale mit Wechselstrom gegebene Rufsignal hört und seinerseits das Telephon abhängt. In demselben Momente erlischt auch die Lampe Lv , weil das Relais Rv seinen Anker anzieht und so Kurzschluß herstellt, worauf das Gespräch beginnen kann; die gemeinschaftliche Batterie B ist ohne Widerstand zwischen den Translatoren I und II geschaltet. In den Abonnentenstationen fungiert der Kondensator C als Stromquelle, wobei die durch die Widerstandsschwankungen des Mikrophons bedingten Variationen des Entladungsstromes durch die Sekundärspule S in die Leitung übertragen werden.

Ist das Gespräch beendet, so bringen beide Abonnenten ihre Telephone in die Ruhelage, die Relais Ra und Rv lassen ihre Anker los, und beide Lampen La und Lv erglühen, woran die Zentrale ohne weiteres Schlußzeichen erkennt, daß die Verbindung getrennt werden kann.

In Amerika sind nach diesem Systeme in den letzten drei Jahren 125 Zentralen mit za. 300.000 Anschlüssen eingerichtet worden. In Europa sind derartige Zentralen mit Kapazitäten bis zu 18.000 Abonnentenleitungen in London, Brüssel, Budapest und Bukarest in Betrieb, bezw. in Bau.

Eine weitere Errungenschaft der letzten Jahre auf diesem Gebiete ist die Vervollkommnung des automatischen Betriebes für Telephonzentralen, welche, wenn sich die bisher sehr günstigen Berichte über den Betrieb der dreißig amerikanischen Zentralen und der Versuchszentrale in Berlin bewahrheiten, in der Tat die Entwicklung des gesamten Telephonwesens auf eine neue Basis stellen würde. Wenn man bedenkt, daß z. B. in den Wiener Zentralen allein die Besoldung des Manipulationspersonales über eine Million Kronen jährlich kostet, kann ermessen werden, von welchen finanziellen Konsequenzen auf diesem Gebiete der Ersatz menschlicher Tätigkeit durch maschinelle Leistung begleitet wäre.

Das von der Strowger Cie. ausgebildete System beruht darauf, daß jeder Abonnent in die Lage versetzt wird, sich durch geeignete Manipulation selbsttätig, sonach ohne irgend welche Vermittlung eines Beamten die gewünschte Verbindung zu verschaffen.

Zu diesem Behufe erhält jeder Teilnehmer in der Zentrale einen kleinen Schaltapparat, welcher der Hauptsache nach aus einer Welle besteht, die vom Teilnehmer selbst auf elektrisch-magnetischem Wege verschoben und

gedreht werden kann; hiedurch wird ein Kontaktarm über die Kontakte der übrigen Anschlußleitungen geführt und in beliebiger Stellung festgehalten. Der Abonnent erhält nebst der gewöhnlichen Sprechgarnitur einen Nummernschalter, welcher es ihm ermöglicht, die zur Bewegung des Kontaktarmes nötigen Stromemissionen in die Leitung zu entsenden. Ist die gewünschte Leitung anderweitig besetzt, so macht sich im Telephon ein summendes Geräusch bemerkbar, oder es meldet ein Phonograph: „Besetzt, bitte später rufen“.

Eine eigentümliche Kombination stellt endlich die sogenannte Telephonzeitung dar, welche derzeit in Pest ihren Abonnenten regelmäßig die neuesten Nachrichten mitteilt. Dieses System dürfte durch die Erfindung des Telephonographen von Paulsen vielleicht eine größere Verbreitung erlangen. Bei diesem interessanten Apparate, werden die telephonischen Stromwellen durch den Telephonmagnet auf einem Stahldraht magnetisch fixiert. Wird nun der Draht wieder an den Polen eines gleichartigen Elektromagnetes vorbeigeführt, so wirkt der Magnetismus auf das mit den Magnetwindungen verbundene Telephon so ein, daß letzteres die Töne in einer bisher bei keinem Phonographen erreichten Reinheit wiedergibt.

Um die Wellen auszulöschen und den Draht zu einer neuen Aufnahme bereitzustellen, genügt es, ihn an einem dauernd magnetisierten Elektromagneten vorbeizuziehen. Beschreiben, Abhören und Löschen kann mit demselben kleinen Elektromagneten geschehen.

Mit diesem Telephonographen — auch Telegraphon genannt — ist nun die gleichzeitige Mitteilung von Nachrichten an beliebig viele Teilnehmer äußerst einfach. Die bei A (Abb. 24) zur Aufzeichnung gebrachten Wellen

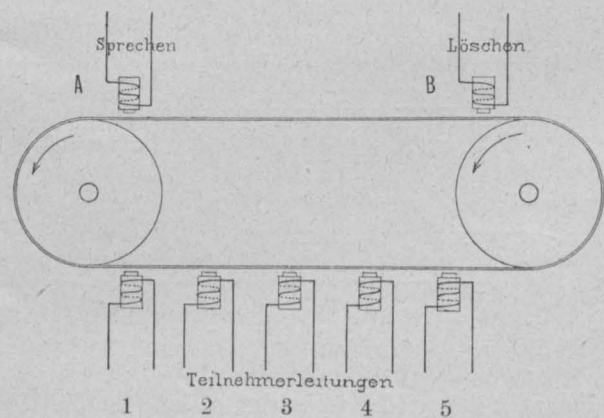


Abb. 24.

werden bei den Teilnehmern 1, 2, 3, 4, 5 zur Wirkung gebracht und bei B gelöscht, um den Draht sofort wieder für neue Nachrichten empfänglich zu machen. Ob dieses Instrument für diesen oder einen anderen Zweck, z. B. als Telephonrelais etc., jemals praktische Bedeutung erlangen wird, mag dahingestellt bleiben; jedenfalls ist es als ein Erfolg der Technik zu bezeichnen, welcher auf der Pariser Weltausstellung gerechtes Erstaunen hervorrief.

Soviel über die Bedeutung und den Einfluß der Leitung als vermittelndes körperliches Glied zwischen Ursache und Wirkung; durch die Erfindung der drahtlosen Telegraphie ist es aber möglich geworden, unter gewissen Verhältnissen und selbst auf große Entfernungen für die Fernverständigung geeignete Wechselwirkungen ohne körperlichen Leiter, sonach wenigstens scheinbar unvermittelt, zu übertragen.

Die Telegraphie ohne Draht war auch vor Marconi an sich nicht neu. Tesla, Edison und Preece

hatten schon vor Jahren versucht, durch die Erde, über Wasser und vom fahrenden Eisenbahnzuge aus zu telegraphieren und zu telephonieren. Eine praktische Bedeutung erlangte aber die Sache erst, seit Hertz durch seine genialen Versuche die Richtigkeit der von Maxwell mathematisch festgestellten Tatsache, daß elektrische Oszillationen sich wie Lichtwellen verhalten, experimentell nachwies und Marconi mit der sogenannten Branly'schen Röhre — dem Kohärer — zum erstenmale die von einer Stelle ausgehenden elektrischen Wellenmissionen an einem entfernten Punkte in Morsezeichen zum Ausdruck brachte.

Werden zwei Metallstäbe mit den Polen eines Induktors oder einer Elektrisiermaschine verbunden, so werden sie mit entgegengesetzten Elektrizitäten geladen. Steigern sich die Ladungen bis zur Funkenbildung, so entstehen oszillatorische elektrische Bewegungen, welche sich dem umgebenden Raum in Form einer fortschreitenden Transversalwelle senkrecht zur Richtung der elektrischen Strömung mitteilen.

Denken wir uns nun an die Pole der Funkenstrecke Drähte angeschlossen, so können wir konstatieren, daß sich die Ströme nach beiden Seiten in die Leitung stürzen und am Ende reflektiert werden.

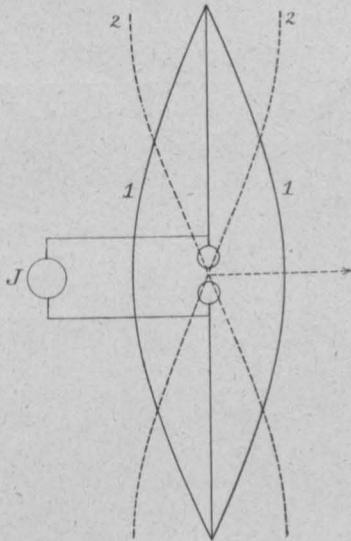


Abb. 25.

Tragen wir die Stromstärken (Abb. 25) als Ordinaten auf, so erhalten wir Sinuslinien (1), deren Nullwerte an den Enden, deren Maximalwerte in der Funkenstrecke liegen. Umgekehrt erreichen die Spannungen (2) ihre Höchstwerte an den freien Enden und ihre kleinsten Werte in der Nähe der Funkenstrecke. Erden wir aber den einen Pol, und führen wir den zweiten Draht, wie früher, vertikal in die Höhe, so ändern sich die Verhältnisse längs des Drahtes nur insofern, als die obenerwähnten Maximalwerte größer werden. Diese oszillatorischen Strömungen im Senddraht pflanzen sich nun, wie erwähnt, in Form von Transversalwellen fort und erzeugen in einem mehr oder weniger entfernten Fangdraht ganz analoge Oszillationen. Diese Erscheinungen gleichen jenen der elektrischen Induktion, für welche das Faradaysche Gesetz gilt, daß die Übertragungsweite mit der Stärke der elektrischen Strömung, mit der Länge der parallel laufenden Drähte und der Frequenz der Wellen steigt. Da die Steigerung der beiden ersten Faktoren aus technischen und ökonomischen Gründen sehr bald praktische Grenzen findet, ließ sich hier ein wirklicher Erfolg nur von der Steigerung der Frequenz erwarten, und das Mittel hiezu bot der elektrische Funke, dessen Oszillationen pro 1" nach Millionen sich beziffern lassen. Erst seit man es lernte,

sich dieses ebenso einfachen als wirkungsvollen Wechselstromerzeugers zu bedienen, gelang es, elektrische Wirkungen nicht wie bei den früher bekannten Induktionserscheinungen auf einige Meter, sondern auf viele Kilometer in die Ferne zu übertragen. Um die vom Empfangsdraht aufgenommenen Wellen zur Wirkung zu bringen, muß man geeignete Einrichtungen — Indikatoren — in die Schwingungsbäuche des Stromes und der Spannung, sonach je nach der Gattung des Apparates an der Erdungsstelle oder an der Spitze des Fangdrahtes einschalten.

Stromindikatoren, als welche Thermolemente oder Hitzdrahtinstrumente dienen können, haben ihrer relativen Unempfindlichkeit wegen keinen Eingang in die Praxis gefunden, und beruht die drahtlose Telegraphie der Jetztzeit ausschließlich auf der Verwendung von Spannungsindikatoren.

Die am häufigsten verwendeten Spannungsindikatoren sind die Kohärer, welche im Prinzip der Branly'schen Röhre gleichen. Jeder Kohärer oder Fritter besteht aus zwei in einer Röhre eingeschlossenen Metallkolben, zwischen denen ein feines Metallpulver in loser Schichtung sich befindet. Letzteres bietet normal dem elektrischen Strom einen sehr bedeutenden Widerstand dar, der sofort fast auf Null sinkt, sobald elektrische Wellen das Pulver passieren. Ist nun ein solcher Fritter in den Stromkreis eines Relais geschaltet, so wird dieses ansprechen, sobald der Pulverwiderstand durch die einlangende Welle seinen Minimalwert erlangt, und in diesem Zustande verbleiben, so lange die Strombrücke im Fritter nicht zum Zerfall, d. h. er nicht in seinen Normalzustand zurückgeführt ist. Dies wird durch einen in den Relaisstromkreis eingeschalteten Klöppel bewirkt, welcher unmittelbar nach jedem Ansprechen des Relais den Kohärer erschüttert.

Da nun das Relais in der bekannten Art einen Morse-schreiber betätigt, so werden durch die soeben geschilderten Selbstunterbrechungen der Lokalstromkreise die einlangenden Wellenzüge in kürzeren oder längeren Punktstreifen zur Darstellung kommen. Arbeitet der Morse genügend träge, so fließen die Punktstreifen in die gewöhnlichen Punkt- und Strichreihen des Morsealphabetes zusammen, wenn in der Geberstation die Wellen im Morse-rhythmus ausgesendet werden.

Wollte man die Zeichen nur akustisch per Telefon aufnehmen, so ist als Spannungsindikator jedes Mikrophon (Abb. 26) geeignet. *) Nebenbei bemerkt, hat schon Professor Hughes vor 20 Jahren diese Eigenschaft des Mikrophons beobachtet, die weitere Verfolgung dieser Entdeckung aber über Rat seiner Freunde, welche um seinen wissenschaftlichen Ruf besorgt waren, aufgegeben.

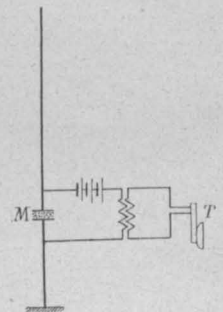


Abb. 26.

Eigentlich sollte der Kohärer, um die größte Wirkung zu erzielen, im Spannungsbauche, sonach an der Spitze des Fangdrahtes eingeschaltet werden, welche Bedingung aber den Telegraphisten aus begrifflichen Gründen in eine unangenehme Situation brächte. Dieser Schwierigkeit begegnete Professor Slaby dadurch, daß er am Fuße des Fangdrahtes eine Drahtspule von bestimmten elektrischen Eigenschaften — einen sogenannten Multiplikator — anschaltete, an dessen Ende dann dieselben Spannungen auftreten wie an der Fangspitze.

*) Neuestens verwendet Marconi als Spannungsindikator einen sogenannten „Detektor“, welcher auf der Eigenschaft elektrischer Wellen beruht, die magnetische Hysterisis zu verringern, was sich in einem passend eingeschalteten Telefon durch ein Knacken bemerkbar macht. Diese Vorrichtung soll die gewöhnlichen Kohärer an Empfindlichkeit und Zuverlässigkeit übertreffen.

Nachdem ich so in Kürze die Prinzipien der Funkentelegraphie dargestellt habe, will ich noch zum Schlusse den Entwicklungsgang der bisher bekanntesten und praktisch bereits verwerteten Systeme derselben beschreiben. Die ursprüngliche Schaltung Marconis zeigt Abb. 27. Zur Funkenbildung benützte Marconi einen Ruhmkorff-Induktor *J*, als Selbstunterbrecher einen Wagnerhammer mit Platinkontakten; der Kohärer enthielt Nickelpulver

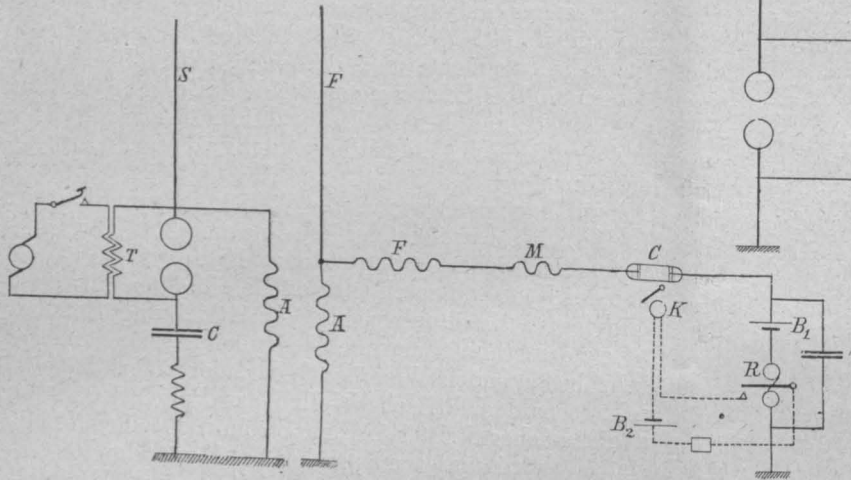


Abb. 27.

Einen wesentlichen Fortschritt gegenüber der eben geschilderten Anordnung stellt die in Abb. 28 gegebene Schaltung dar, welche von Professor Slaby und dem Grafen Arco herrührt. Zunächst waren die genannten Er-

Abb. 28.

zwischen Nickelelektroden. In der Empfangsstation war das Relais *R* parallel zum Kohärer *c* geschaltet, wobei die Drosselspulen *dd* die Wellen vom Nebenschlusse abdrängen sollten. Es ist erklärlich, daß dieses System sehr mangelhaft funktionierte, schon deshalb, weil der Kohärer im Spannungsknoten, statt im Spannungsbauche angebracht war. Behufs Vermeidung der die Betriebssicherheit beeinträchtigenden Unterbrechungsfunken waren die Relaispulen mit selbstinduktionslosen Widerständen *w* überbrückt.

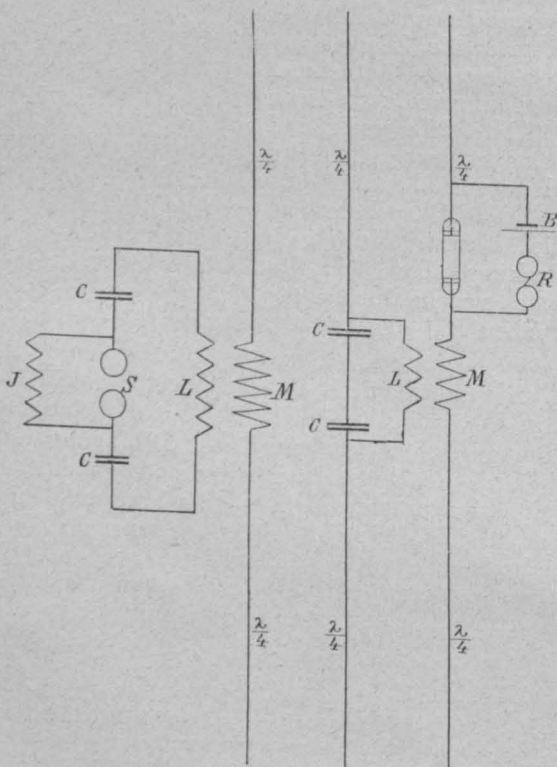


Abb. 29.

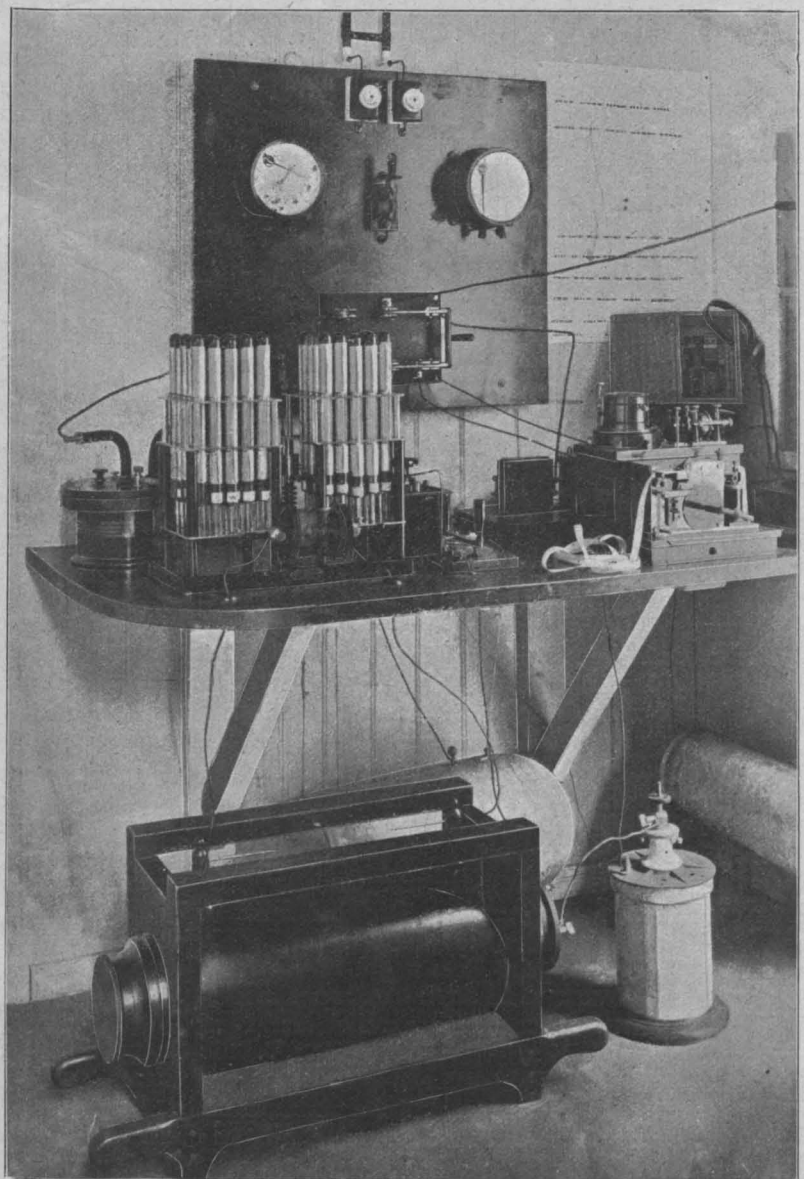


Abb. 30.

finder die ersten, welche behufs Erhöhung der Kapazität statt der Fangdrähte Fangnetze verwendeten. Slaby war übrigens auch der erste, dem es gelungen ist, durch „Abstimmung“ der Wellen das gleichzeitige Arbeiten mehrerer benachbarter Stationen ohne gegenseitige Störung zu ermöglichen. Zu diesem Behufe versah er die Empfangsapparate mit Luftdrähten, deren Längen Vielfache der von den korrespondierenden Gebern erzeugten Wellenlängen waren. Es sprach so jeder Empfänger nur auf die Wellen an, auf welche er abgestimmt war. Was die Details der Schaltung (Abb. 28) betrifft, ist zunächst zu bemerken, daß

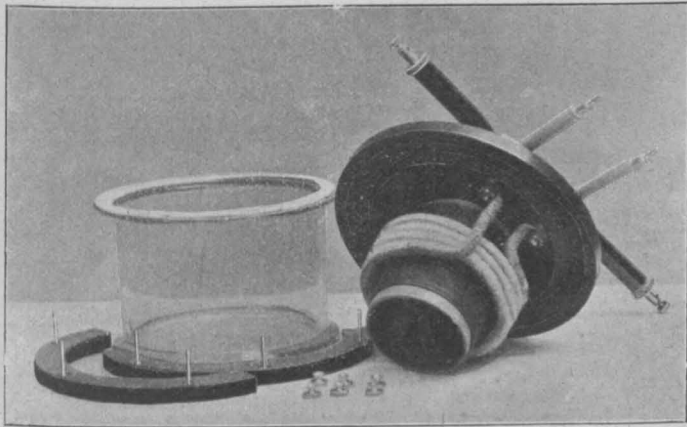


Abb. 31.

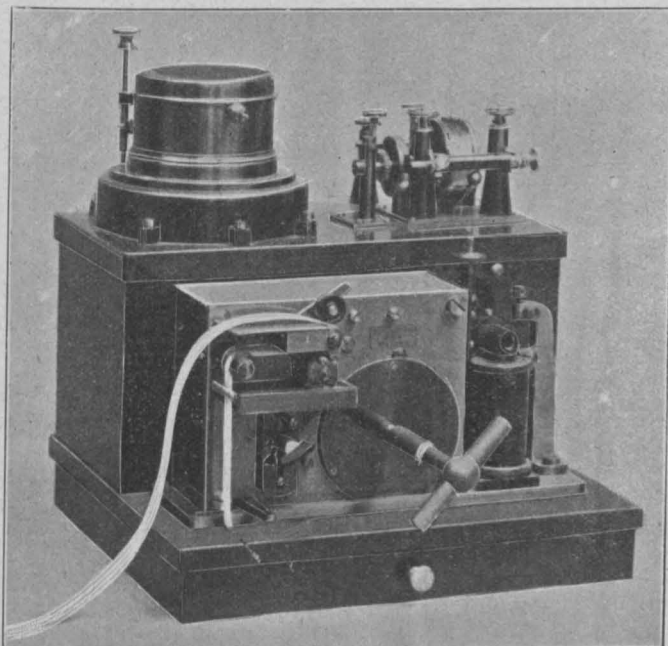


Abb. 32.

in der Empfangsstation der Kohärer *c*, das Relais *R* und die Batterie *B* an das Ende des Multiplikators *M*, und zwar in Serie geschaltet waren, während sich im Senderstromkreis ein Kondensator *C* von großer Kapazität befand.

Zur Funkenerzeugung wurde in der Regel ein von einer Wechselstrommaschine gespeister Transformator *T* angewendet. Bei Verwendung eines Gleichstromgenerators diente zur Unterbrechung des primären Stromkreises eine Quecksilberturbine.

Das System Braun-Siemens-Halske endlich zeigt das Schema in Abb. 29. Prof. Braun fand, daß die bekannten oszillatorischen Entladungen von Leydener-Flaschen, entsprechend transformiert, genügen, um sich auch auf große Entfernungen noch bemerkbar zu machen.

Da der eigentliche Sendedraht eine funkenlose Leitung darstellt, wirkt der Funke nur indirekt im Primärstromkreise. Die Entladungen sind hier ungefährlich und trotz ihrer hohen Potentiale physiologisch kaum wahrnehmbar.

Die langen Wellen, wie sie bei Braun zum erstenmale zur Anwendung gelangten, haben den Vorteil, daß sie Hindernisse, die sich ihnen entgegenstellen, leichter umgehen. Es verhält sich ähnlich wie bezüglich der kurzen Lichtwellen, welche scharfe Schatten werfen, und der langen Schallwellen, welche durch Beugung weit in den geometrischen Schatten eindringen.

Endlich ist bei diesem System zum Unterschiede von allen anderen jede Erdverbindung vermieden.

Die Schwingungen des primären Stromkreises (Abb. 29) werden durch den Transformator *L* in verstärktem Maße auf den Sendedraht übertragen. Der eine Draht dient als Luftdraht $l = \frac{1}{4}$ der Wellenlänge, der zweite kann aufgerollt oder durch eine Platte ersetzt sein. Der Induktor *I* besitzt einen langen primären Erreger und eine kurze Sekundärwicklung, ist daher nicht für hohe Spannungen bestimmt. Als Unterbrecher wird zumeist der Wehnelt'sche verwendet, welcher bekanntlich aus einer Platin- und

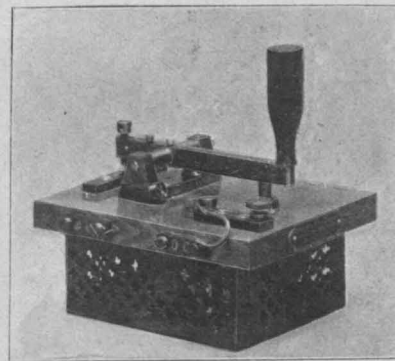


Abb. 33.

einer Bleielektrode in verdünnter Schwefelsäure besteht. Beim Durchgange des Stromes wird die Flüssigkeit zersetzt, die Gase unterbrechen den Strom, steigen als Blasen auf, der Strom wird wieder geschlossen etc. — eine Vorrichtung, welche es gestattet, selbst Ströme von 50 A in sehr rascher Aufeinanderfolge selbsttätig zu unterbrechen.

Die Kondensatoren *C* bestehen aus zwei Systemen von Leydener-Flaschen von je zirka 6·0005 *Mf*.

Der Kohärer, dessen Stahlelektroden in Stahlpulver ruhen, ist nicht wie die der anderen Systeme evakuiert.

Die Gesamtanordnung einer nach diesem Systeme eingerichteten Funkentelegraphenstation zeigt Abb. 30, während in Abb. 31, 32, 33 der Transformator, der Schreibapparat und der Taster im Detail dargestellt sind.

Es muß aber bemerkt werden, daß sich diese Systeme heute nicht mehr so scharf von einander unterscheiden lassen, sondern eigentlich nur mehr oder weniger glückliche Kombinationen der von den Pfadfindern auf diesem Felde, Marconi, Professor Slaby, Graf Arco, Professor Braun, Siemens-Halske u. a., gemachten Verbesserungen darstellen.

Erwähnenswert ist noch das sogenannte System Schäfer, welches sich aber bisher keine praktische Bedeutung erringen konnte.

Schäfer verwendet einen Antikohärer, bei welchem der Lokalstromkreis durch elektrische Bestrahlung nicht geschlossen, sondern unterbrochen wird. Es entspricht also das der bekannten Ruhestromschaltung,

wogegen alle anderen Systeme mit Arbeitsstrom arbeiten. Der Schäfer'sche Antikohärer besteht aus einer Glasplatte mit Silberspiegelbelag, der durch einen haarfeinen Schnitt in zwei für gewöhnlich noch elektrisch leitende Teile getrennt ist. Treffen elektrische Wellen auf diese Platte, so wird aus bisher nicht erklärbaren Gründen der Widerstand des Ritzes sehr groß; der Lokalstromkreis wird unterbrochen, und der Morseapparat spricht an. Nach allem scheint es noch nicht gelungen zu sein, solche Platten dauerhaft und in gleichmäßiger Qualität zu erzeugen.

Was nun die Zukunft der Wellentelegraphie betrifft,

so ist es zweifellos, daß wir auf diesem Gebiete noch viele Überraschungen und großartige Erfolge der Technik zu erwarten haben. Diese Art der Energieübertragung wird sich gewiß ein weites Feld der Anwendung erobern, namentlich dort, wo die Herstellung elektrischer Leitungen schwierig oder unmöglich ist.

Dagegen wird die Funkentelegraphie kaum jemals das kontinentale und submarine Drahtnetz zu ersetzen vermögen, welches unsere Erdkugel zum Zwecke der geistigen Verbindung ihrer Bewohner umspannt und von Jahr zu Jahr an Dichtigkeit zunimmt.

Über elektrische Messungen und Meßinstrumente.

Vortrag, gehalten am 18. November 1901 von Prof. Dr. August Raps.

II.

All die Meßinstrumente und Meßmethoden, die wir bisher betrachtet haben, eignen sich nur für Arbeiten mit Gleichstrom. Bei den praktischen Anwendungen der Elektrizität spielt aber der Wechselstrom heutzutage eine ebenso wichtige Rolle und erfreut sich mindestens derselben Verbreitung wie jener. Während man unter Gleichstrom einen elektrischen Strom versteht, der die Leitung und die mit ihr verbundenen stromverzehrenden Apparate stets in derselben Richtung und derselben Stärke durchfließt, bezeichnet man mit Wechselstrom, wie Sie wissen, einen elektrischen Strom, dessen Größe und Richtung fortwährend periodischen Änderungen unterworfen sind, dessen Stärke von 0 bis zu einem gewissen Maximum ansteigt, dann auf 0 fällt, seine Richtung ändert, abermals ein Maximum erreicht und dann wieder den Wert 0 annimmt, um darauf dasselbe Spiel von neuem zu vollführen. Den Verlauf eines derartigen periodisch schwankenden Stromes, eines Wechselstromes, können wir uns durch eine Sinuslinie darstellen, denn in einzelnen Fällen folgt der Wechselstrom tatsächlich genau dem dieser Linie zugrunde liegenden Gesetze, in anderen geschehen seine Schwingungen in Kurven, die sich mit Hilfe der Fourier'schen Reihe in eine Anzahl derartiger Sinuslinien in bekannter Weise auflösen lassen.

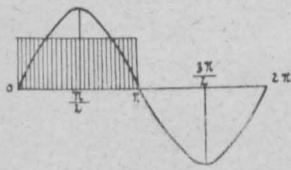


Abb. 1.

Es ist einleuchtend, daß man für das Messen von Wechselstrom nicht Apparate verwenden kann, die, wie die früher beschriebenen, nicht nur die Stärke, sondern auch die Richtung des Stromes angeben. Ihre Ausschläge müssen vielmehr von dieser unabhängig sein, dürfen also nicht der Stromstärke direkt, sondern müssen deren Quadrat proportional sein, falls man sie mit Wechselstrom betätigen will. Instrumente, die dieser Bedingung genügen, erhalten wir, wenn wir einen festen und einen beweglichen Leiter von dem zu messenden Strome durchfließen lassen und die Größe der Anziehung oder Abstoßung bestimmen, die dann zwischen beiden auftritt. Derartige Apparate werden als Elektrodynamometer bezeichnet. Sie funktionieren entsprechend der Gleichung

$$J^2 = C \cdot \alpha.$$

Der am Instrument hervorgerufene Ausschlag, multipliziert mit einer durch die Bauart des Elektrodynamometers gegebenen Konstanten, ist gleich dem Quadrat der vorhandenen Stromstärke. Unter dieser ist jedoch, wenn Wechselstrom das Instrument durchfließt, weder die früher erwähnte maximale Stromstärke noch die momentane,

sondern die effektive Stromstärke zu verstehen, die durch den Ausdruck

$$J = \sqrt{\frac{2}{\tau} \int_0^{\tau} i^2 dt}$$

gegeben ist, wenn wir mit i wieder die momentane Stromstärke bezeichnen. Zu dieser effektiven Stromstärke gelangt man an der Hand der Sinuslinie (s. Abb. 1), wenn man über der Strecke 0π ein Rechteck errichtet, dessen Flächeninhalt gleich der Fläche ist, die das über 0π liegende Kurvenstück mit der Abszissenachse einschließt.

Als typisches Beispiel eines Elektrodynamometers will ich Ihnen hier das bekannte Siemens'sche Torsions-Elektrodynamometer vorführen (s. Abb. 2), das viele Jahre hindurch wegen der Zuverlässigkeit seiner Angaben für alle, die Wechselstrommessungen vorzunehmen hatten, ein unentbehrliches und sehr geschätztes Hilfsmittel war. Neuerdings sind an seine Stelle die direkt zeigenden Präzisionsinstrumente getreten, von denen weiter unten die Rede sein wird. Das Torsions-Elektrodynamometer besteht aus zwei festen, übereinander angeordneten Wicklungen, deren eine zur Messung schwächerer Ströme dient, während die andere bei Arbeiten mit stärkeren Strömen benutzt wird. Ein auf dem Sockel angebrachter Kurbelumschalter gestattet, bequem die beiden festen Wicklungen im Stromkreise miteinander zu vertauschen. Senkrecht zu ihnen haben wir eine beweglich angeordnete Windung, der der Strom mittels zweier Quecksilbernäpfe zugeleitet wird, in die die Enden jener tauchen. Sie trägt einen Zeiger und ist an einer Spiralfeder aufgehängt, die an einem gleichfalls mit Zeiger ausgerüsteten Torsionsknopfe befestigt ist. Durchfließt Strom das Instrument, so sucht sich die bewegliche Wicklung parallel zu den festen zu stellen. Durch Drehen am Torsionsknopfe führt man jene in ihre ursprüngliche, zu diesen senkrechte Lage zurück. Der Winkel, um den man, um dieses zu erreichen, den Knopf drehen muß, gibt dann ein Maß für die Stärke des die Instrumentenwindungen durchfließenden Stromes.

Obleich die Torsions-Elektrodynamometer bei richtiger Behandlung sehr zuverlässige Meßergebnisse liefern,

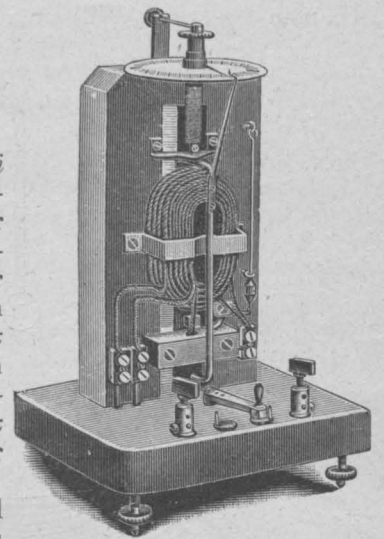


Abb. 2.

entsprachen sie schon lange nicht mehr den Anforderungen, die die heutige Elektrotechnik an ein Meßinstrument stellt. Vor allem will diese nur Apparate benutzen, die das gesuchte Meßergebnis direkt abzulesen gestatten, ohne daß vorher irgend welche Manipulationen oder Rechnungen erforderlich sind, so daß auch Nichtfachleute mit ihnen Messungen, die auf Bruchteile eines Prozentes genau sind, schnell und ohne Aufwendung besonderer Mühe ausführen können. Dieses bedingt, daß die Apparate vor ihrer Ingebrauchnahme keine besondere Aufstellung und Ausrichtung (nach der Horizontalen, dem magnetischen Meridian u. s. w.) oder Einjustierung des Nullpunktes erfordern; daß ihre Zeigereinstellungen aperiodisch erfolgen und die Teilstriche rechnerisch bequeme Werte, wie 1, 2, 5 oder deren Potenzen, besitzen.

Sollen die Apparate für Messungen in Wechselstromkreisen Verwendung finden, so müssen sie noch folgende Bedingungen erfüllen: ihre Angaben dürfen weder abhängig sein von der Periodenzahl und Kurvengestalt des Wechselstromes, noch sollen sie von Wirbelströmen, die sich in den Metallmassen der Instrumente bilden können, beeinflusst werden. Will man diese als Normal-, bzw. Prä-

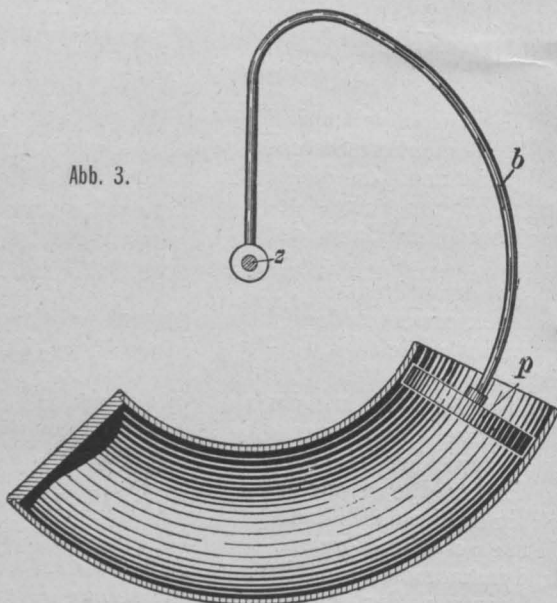


Abb. 3.

zisionsinstrumente für Wechselstrom verwenden, so haben sie noch der Anforderung zu genügen, daß sie mit Gleichstrom geeicht, bzw. daß ihre Angaben jederzeit direkt mit Normalelementen und Normalwiderständen kontrolliert werden können.

Alle diese Bedingungen erfüllen in weitgehendem Maße die Präzisionsinstrumente für Wechselstrom der Firma Siemens & Halske, die nachstehend beschrieben werden sollen.

Von größter Wichtigkeit für alle derartigen Meßinstrumente ist der Umstand, daß ihr Zeiger seine jeweilige Ruhelage sofort, ohne hin- und herschwingen, einnimmt. Dies wird in sehr vollkommener Weise bei den in Rede stehenden Apparaten durch Anwendung einer Luftdämpfung erreicht. Diese besteht, wie aus Abb. 3 ersichtlich, aus einem kreisförmig gebogenen Rohr, in dem sich eine Dampferscheibe p, die mittels eines Armes b an der Achse des Instrumentes befestigt ist, bewegt. Die Dampferscheibe ist an ihrem Rande verbreitert, um der vorbeistreichenden Luft noch einen möglichst großen Reibungswiderstand entgegen zu setzen. Diese Luftdämpfung ist sehr wirksam, weil der Zwischenraum zwischen Dämpferplatte und Rohr, durch den die Luft entweichen kann, immer derselbe bleibt und sehr klein gemacht werden kann, ohne daß bei der guten Führung des Kolbens ein Anstoßen

desselben zu befürchten wäre. Selbst bei einem Systeme von größerem Trägheitsmoment und starker Richtkraft übt diese Luftdämpfung noch eine sehr energische Wirkung aus.

Abb. 4 stellt einen direktzeigenden Präzisionsspannungsmesser für Gleich- und Wechselstrom dar, dessen innere Einrichtung Abb. 5 erkennen läßt.

Nach gleichem Prinzip sind die Präzisionsstrommesser für Gleich- und Wechselstrom konstruiert. Sie genügen in sehr vollkommener Weise den früher erwähnten Bedingungen. Ihre Angaben sind von der Periodenzahl

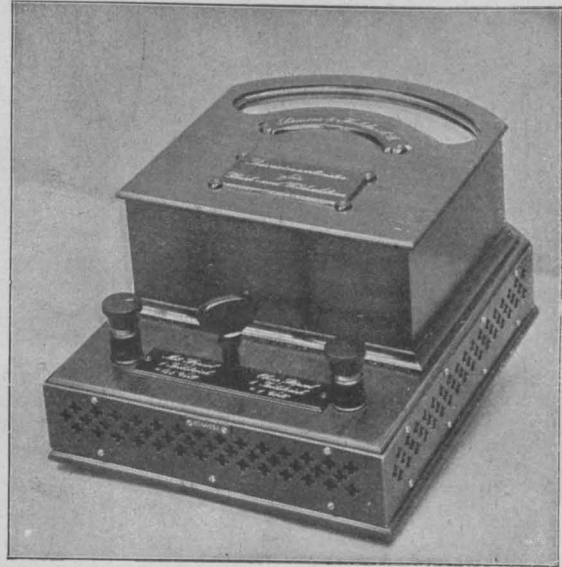


Abb. 4.

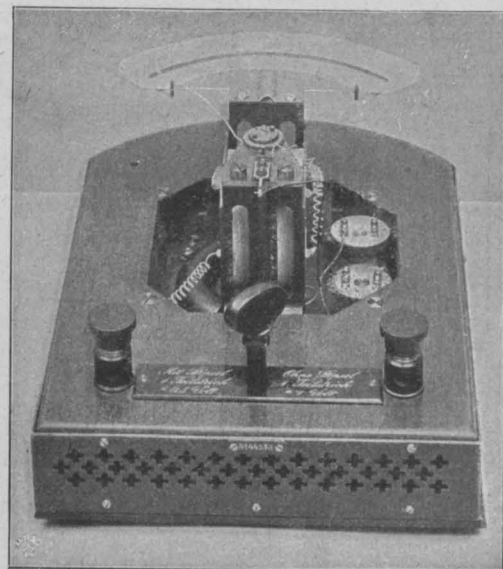


Abb. 5.

vollständig unabhängig, und ferner sind sie unabhängig von der Dauer des Stromdurchganges und der Temperatur ihrer Umgebung. Daß letzteres bei den Spannungsmessern der Fall ist, geht daraus hervor, daß z. B. ein Apparat dieser Art, der die Meßbereiche 0 bis 75 Volt und 0 bis 150 Volt besitzt, für die 75 Volt-Empfindlichkeit einen Widerstand von 750 bis 800 Ohm aufweist, von denen etwa 75 Ohm aus Kupfer gefertigt sind, während der Rest aus Manganindraht besteht. Der Temperaturkoeffizient für diese Empfindlichkeit des Spannungszeigers beträgt also knapp den zehnten Teil des Temperaturkoeffizienten des Kupfers, kann also für prak-

tische Zwecke unberücksichtigt bleiben. Der Selbstinduktionskoeffizient eines Spannungsmessers dieser Gattung ist nicht konstant, denn er setzt sich zusammen aus dem Selbstinduktionskoeffizienten der festen und der beweglichen Spule und dem doppelten gegenseitigen Induktionskoeffizienten beider Spulen aufeinander. Bilden deren Ebenen zueinander einen rechten Winkel, so ist der Koeffizient der gegenseitigen Induktion 0; in der Nullage ist er negativ, beim Endausschlage positiv. Bei dem eben erwähnten Instrument liegt der Selbstinduktionskoeffizient des ganzen Systems je nach der relativen Lage der beiden Spulen zueinander zwischen 0.038 und 0.054 Henry. Daraus folgt, daß selbst bei 100 Perioden in der Sekunde die Abweichung des scheinbaren vom Ohm'schen Widerstande

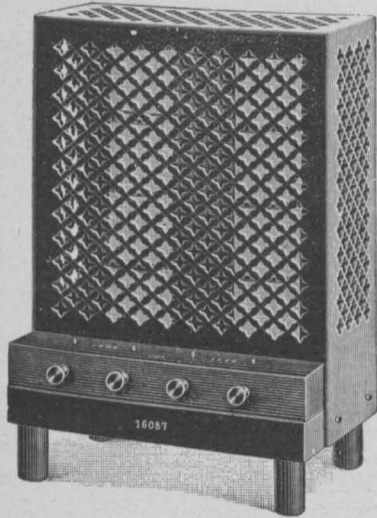


Abb. 6.

Die Konstruktion des Präzisionsstrommessers für Gleich- und Wechselstrom unterscheidet sich in einigen Punkten wesentlich von der des eben betrachteten Spannungsmessers. Denn bei jenem lassen sich nicht wie bei diesem beide Spulen hintereinander schalten, weil die dünnen Federn, die den Strom der beweglichen Spule zuführen, selbstredend nicht mit 50 und mehr Amp. belastet werden können. Man darf durch sie nur einen Teil des zu messenden Stromes schicken, und deshalb legen wir die feste und bewegliche Spule in Parallelschaltung. Ohne weiteres läßt sich dies aber nicht bewerkstelligen, da sonst die Angaben des Strommessers von der Temperatur und bei Wechselstrom auch noch von der Selbstinduktion, bzw. von der Periodenzahl in hohem Maße abhängig sein würden. Um dies zu verhindern, hat man in jeden der beiden Stromkreise soviel induktionsfreien Widerstand ohne Temperaturkoeffizienten gebracht, daß die Temperaturkoeffizienten der beiden parallel geschalteten Kreise einigermaßen herabgedrückt und einander gleich gemacht sind. Es ist aber nicht nötig, sie wie beim Spannungszeiger auf ein Zehntel des Temperaturkoeffizienten des Kupfers zu erniedrigen, was insofern ungünstig wäre, als dadurch der Energieverbrauch des Instrumentes auf einen unzulässig hohen Wert gebracht würde. Es genügt vollständig, sie auf den vierten Teil des Kupferkoeffizienten herabzumindern. Vielfache Versuche haben ergeben, daß man bei diesen Stromzeigern einen Unterschied zwischen Ablesungen, die unmittelbar vor und unmittelbar nach mehrstündiger Dauereinschaltung gewonnen waren, nicht konstatieren konnte. Auch das Verhältnis der Selbstinduktion zu den Widerständen der einzelnen Stromkreise ist ebenfalls so günstig, daß zwischen Gleichstrom und Wechselstrom von 100 Perioden die Abweichungen $\frac{1}{10}\%$ nicht übersteigen. Die Strommesser erhalten gleichfalls zwei Meßbereiche. Zu diesem Zweck bringt man in Starkstromkreise noch einen zweiten Vorschaltwiderstand an. Je nachdem man nun den beweglichen Spulen-

kreis von den festen Spulen und einem Vorschaltwiderstande oder von den festen Spulen und zwei Vorschaltwiderständen abzweigt, was sich durch Ziehen oder Stecken eines Stöpsels bewirken läßt, kann man z. B. den Endausschlag bei 50 oder bei 25 Amp. erhalten. Die Skalen dieser Apparate sind, wie Abb. 7 und 8 erkennen lassen, keine gleichmäßigen. Sie müßten eigentlich quadratisch fortschreiten, doch ist es gelungen, durch eigentümliche Anordnung des Starkstromfeldes sie wesentlich und zu ihren Gunsten anders zu gestalten, so daß sie in ihrer letzten Hälfte eine fast proportionale Teilung aufweisen und schon von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{5}$ der maximalen Stromstärke recht gute Ablesungen zulassen.

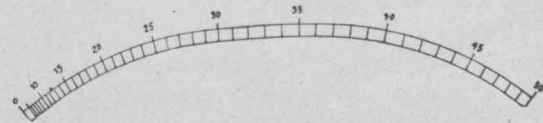


Abb. 7.



Abb. 8.

Ein für den mit Wechselstrom Arbeitenden ganz unentbehrliches Instrument ist das Wattmeter. Während es bei Messungen in einem Gleichstromkreise genügt, um sich über die in demselben erzeugte oder verbrauchte elektrische Energie zu unterrichten, das Produkt aus Stromstärke und Spannung zu bilden, da bei Gleichstrom

$$E \times J = \text{Leistung}$$

ist, muß bei Wechselstrom diese entweder durch direkte Messung gefunden werden oder in der Weise, daß außer Strom und Spannung noch die Größe der zwischen ihnen bestehenden Phasenverschiebung ermittelt wird. Denn die Leistung in einem Wechselstromkreise ist gleich

$$E \times J \times \cos \varphi,$$

wenn wir mit φ den Winkel der zwischen Spannung und Stromstärke vorhandenen Phasenverschiebung bezeichnen. Den Begriff der Phasenverschiebung erhalten wir, wenn wir uns die Entstehung der Sinuslinie vergegenwärtigen. Wir lassen den Radius OA (s. Abb. 9) um das Zentrum O rotieren und tragen die hiebei von ihm zurückgelegten Winkel als Abszissen, die jenen entsprechenden Lote auf die Horizontale als Ordinaten auf und erhalten so die Kurve I der Abb. 10. Stellen wir uns vor, um O rotiere noch eine zweite Linie OB mit derselben Geschwindigkeit wie OA , die mit ihrer Bewegung erst beginnt, wenn jene bereits den Winkel φ zurückgelegt hat (s. Abb. 9), so wird die aus der Rotation von OB entstandene Kurve II (s. Abb. 10) um eine dem Winkel φ entsprechende Zeit später als Kurve I ihre Maxima und Minima erreichen. Diesen Winkel φ nun, der die relative Lage beider Kurven charakterisiert, der angibt, um wieviel die Maxima und Minima der einen gegen diejenigen der anderen voreilen

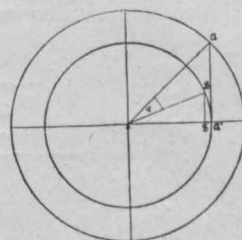


Abb. 9.

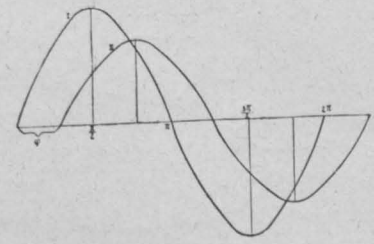


Abb. 10.

oder hinter ihnen zurückbleiben, bezeichnet man als den Winkel der Phasenverschiebung.

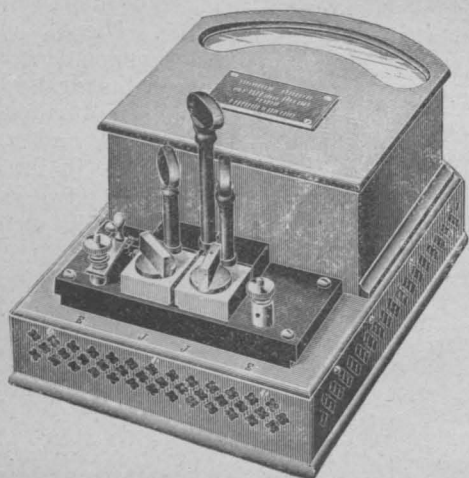


Abb. 11.

Aus Vorstehendem folgt, daß man sich über die Größe der vorhandenen Phasenverschiebung leicht in der Weise orientieren kann, daß man möglichst gleichzeitig eine Wattmeterablesung, eine Spannungszeiger- und eine Stromzeigerablesung vornimmt, das Produkt Volt \times Ampère bildet und mit diesem in die gefundenen Watt dividiert.

Das Präzisions-Wattmeter, das all den früher erwähnten Bedingungen auf das Beste entspricht, und von dem Sie in Abb. 11 eine Ansicht mit und in Abb. 12 eine Ansicht ohne Kappe erblicken, ist folgendermaßen konstruiert:

Der Grundgedanke, auf dem das Instrument beruht, ist der, die bewegliche Spule des Spannungskreises in einem derartigen Felde der Stromspule sich bewegen zu lassen, daß die Einwirkung derselben unabhängig von der Stellung der Spannungsspule ist, nach Analogie der Gleichstrom-Meßinstrumente nach dem Prinzip von Deprez d'Arsonval. Dieses wurde durch folgende Gestaltung des Starkstromkörpers erzielt.

Man denke sich einen kreisförmigen Leiter, in den der Strom von links eintritt, sich in zwei Teile spaltet und ihn an dem der Eintrittsstelle

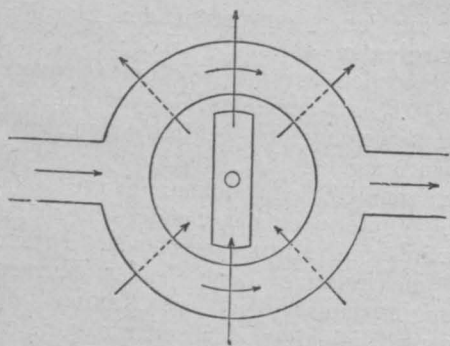


Abb. 13.

diametral gegenüberliegenden Teile verläßt (siehe Abb. 13). Die Kraftlinien verlaufen dann toroidförmig, u. zw. so, daß sie an der unteren Seite des Ringes eine radiale Anordnung zeigen (Abb. 13 und 14). In dem so beschaffenen Felde schwingt nun die Schwachstromspule, und die senkrechten

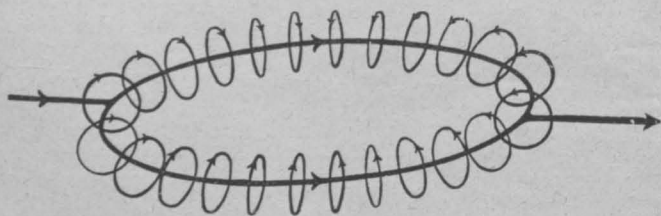


Abb. 14.

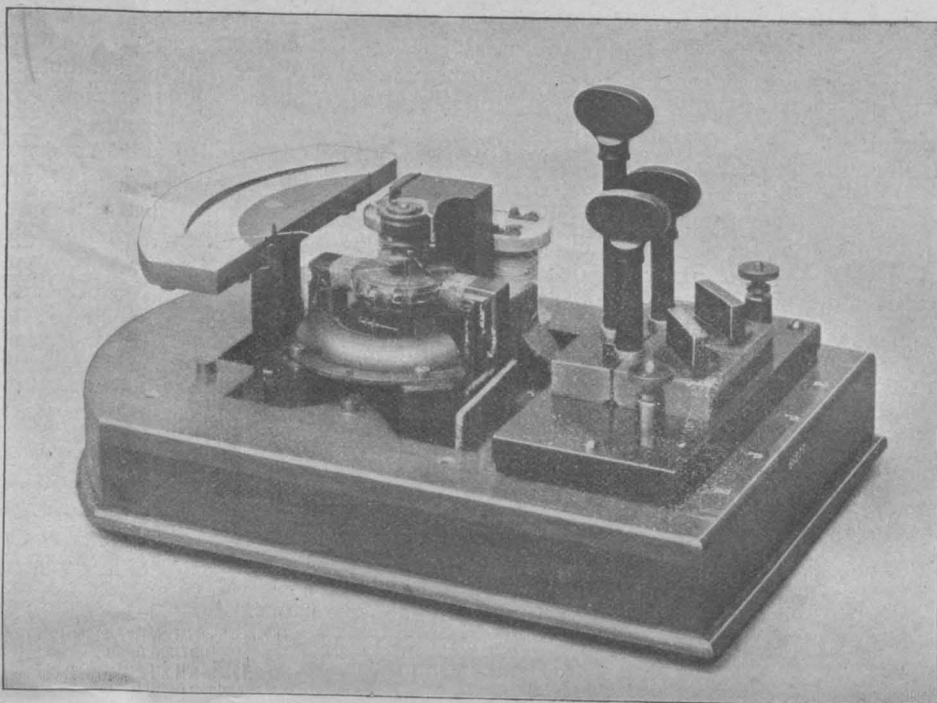


Abb. 12.

Stromleiter derselben werden in ganz analoger Weise von den Kraftlinien geschnitten, wie dies bei Magnetinstrumenten nach dem Prinzip von Deprez d'Arsonval der Fall ist.

Um nun die Empfindlichkeit des Instrumentes zu erhöhen, ist die Starkstromleitung nach unten umgebogen und dort der Ring wiederholt. Die Wirkungen werden auf diese Weise addiert. Selbstverständlich kann man die Wirkung der Ströme vervielfachen, wenn man die Windungen mehrfach in derselben Weise herumführt, und zu diesem Zwecke wird der Starkstromkörper aus 2×32 Streifen Kupferblech (Abb. 15) aufgebaut. Sind diese sämtlich hinter-

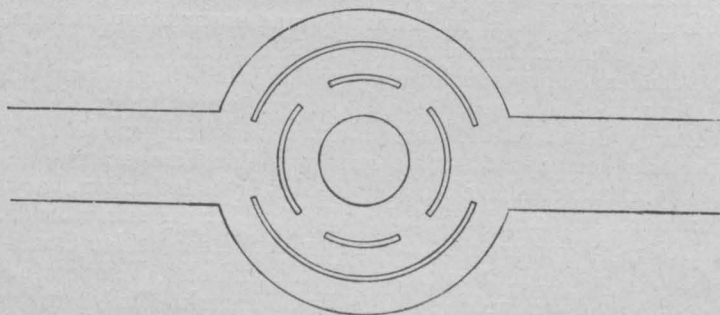


Abb. 15.

einander geschaltet, so daß der Körper 32 Gesamtwindungen besitzt, so ist derselbe für max. 12,5 Amp. brauchbar. Um Wattmeter für stärkere Ströme zu erhalten, schaltet man zwei, vier u. s. w. Bleche parallel und diese Gruppen dann hintereinander, so daß z. B. bei einem Starkstromkörper für 50 Amp. immer je vier Bleche parallel verbunden sind zu acht Gesamtwindungen. Vereintigt man sämtliche Bleche parallel zu einer Windung, so erhält man einen Starkstromkörper für 400 Amp. Je eine Lage parallel geschalteter Kupferstreifen wird von der über oder unter ihr befindlichen durch einen Streifen imprägnierten Japanpapiers getrennt. Außer diesen Kupferkörpern werden auch solche für zwei Empfindlichkeiten, z. B. für max. 12,5 und 25 Amp. gebaut. Bei dieser Type sind die 32 Kupferstreifen in zwei Hälften aufgewickelt, dergestalt, daß, von oben in der Richtung der übereinanderliegenden Streifen gezählt, Streifen 1 mit Streifen 3 u. s. w. für sich und

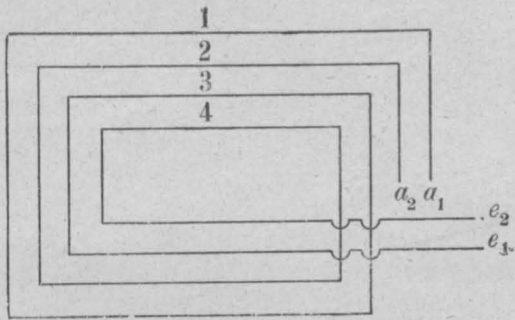


Abb. 16.

Streifen 2 und Streifen 4 u. s. w. wiederum für sich verbunden sind. Jede Streifengruppe ist von der anderen sorgfältig durch imprägniertes Japanpapier isoliert. Ein Stöpselumschalter gestattet, entweder Ende 1 mit Anfang 2 zu verbinden oder Anfang 1 mit Anfang 2 und Ende 1 mit Ende 2 (siehe Abb. 16). Im letzteren Falle beträgt die Empfindlichkeit des Wattmeters nur die Hälfte derjenigen, die der Apparat bei der ersterwähnten Schaltung besitzt. Bei Anfang 1 und Ende 2 werden die Stromzuführungen angeschlossen (siehe Abb. 16). Die Kupferstreifen, aus denen die Wattmeter-Starkstromkörper zusammengesetzt sind, sind mit passenden Einschnitten versehen, um ein Zustandekommen von Wirbelströmen im Kupferkörper selbst auf ein Mindestmaß herabzudrücken.

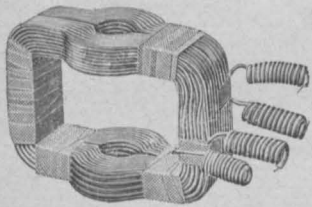


Abb. 17.

Außer den eben beschriebenen Starkstromkörpern aus Kupferblech werden auch noch solche aus Kupferdraht gefertigt, die für die Wattmeter, welche für 10 Amp. und weniger Starkstrom bestimmt sind, Verwendung finden. Sie werden aus zwei Hälften zusammengesetzt, die in einer passenden Schablone aus 1 mm, bzw. 1,5 mm dickem Kupferdraht gewickelt werden. Abb. 17 stellt den aus zwei solchen Hälften zusammengesetzten Starkstromkörper dar. Auf diese Weise erhält man durch Hintereinanderschaltung beider Hälften Wattmeter für max. 2,5, bzw. 5 Amp. Werden beide Hälften parallel verbunden, so ergeben sich aus ihnen Starkstromkörper für max. 5, bzw. 10 Amp.

Die bewegliche (Spannungs-)Spule wird frei auf einen Messingkörper gewickelt, der nach Beendigung der Wicklung aus ihr herausgezogen wird, so daß sie dann aus weiter nichts besteht als dem isolierten Kupferdrahte. In der Wicklung ist ferner oben und unten je eine Elfenbeinbüchse mit entsprechend geformtem Fuße festgelagert, die zur Befestigung der Spule an der Achse dient. Die Wicklung selbst besteht aus mit Seide besponnenem Kupferdraht von 0,1 mm Durchmesser in acht Lagen gleich 400 Gesamtwindungen (100 Ohm). Der Selbstinduktionskoeffizient der beweglichen Spule beträgt 0,0088 Henry.

Um die Angaben des Wattmeters von der Temperatur und den Einflüssen der durch die Selbstinduktion der beweglichen Spule im Spannungskreise hervorgerufenen Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung unabhängig (oder doch so gut wie unabhängig) zu machen und zu ermöglichen, daß für ein beliebiges Wattmeter ein beliebiger Wattmetervorschaltwiderstand benutzt werden kann, ohne rechnerisch unbequeme Konstanten zu erhalten, wird mit Hilfe eines Vorschaltwiderstandes und eines Nebenschlusses (beide bifilar aus Manganindraht gewickelt) zur beweglichen Spule der Widerstand zwischen den Spannungsklemmen des Instrumentes auf 1000 Ohm abgeglichen. Ohne besonderen Vorschaltwiderstand ist dann das Instrument für max. 30 Volt bestimmt. Durch passende Wahl des Vor-

schaltwiderstandes und eines Nebenschlusses bei der Adjustierung auf 1000 Ohm wird die Konstante des Instrumentes auf eine einfache rechnerisch bequeme Zahl gebracht.

Für je 1000 Ohm bifilar gewickelten Manganindrahtes, die man in den Spannungskreis des Wattmeters einschaltet, kann man dasselbe für Messungen mit einer um 30 Volt höheren Spannung brauchbar machen. Dieser Vorschaltwiderstand kann für Spannungen bis max. 600 Volt um den Sockel des Instrumentes, in Abteilungen unterteilt, die entweder in ihrer Gesamtheit oder teilweise durch Stellen einer Kurbel in Gebrauch genommen werden können, angeordnet oder dem Apparate als besonderer Vorschaltwiderstand beigegeben werden.

Ein großer Übelstand bei allen bisher bei Wechselstrommessungen verwendeten Wattmetern mit größeren Metallmassen bestand darin, daß beim Auftreten von Phasenverschiebungen zwischen Strom und Spannung in den Metallteilen, die die Wicklung des Apparates schützten und umgaben, ja zum Teil in der Starkstromwicklung des Apparates selbst, sich Wirbelströme bildeten, die auf den beweglichen Teil des Apparates gleichfalls eine ablenkende Wirkung ausübten und so die am Instrumente gemachten Ablesungen ganz erheblich beeinflussen konnten. So hatten wir z. B. bei unserem Wattmeter, als wir noch Lagerbock, Skala u. s. w. aus Rotguß, bzw. Messing herstellten und die Kupferstreifen des Starkstromkörpers noch nicht schlitzten, bei 60° Phasenverschiebung zwischen den Wechselstrom- und Gleichstromangaben des Instrumentes Differenzen bis zu 10%. Zur Beseitigung derselben wurden bei den vorliegenden Instrumenten die schon erwähnten Schlitzte im Kupferkörper angebracht und ferner im Instrument sämtliche Metallteile mit Ausnahme der unvermeidlichen durch entsprechende Teile aus Vulkanitbest, der sich durch einen sehr geringen Temperaturkoeffizienten der Ausdehnung und großen Widerstand gegen Deformationen sowie große Festigkeit auszeichnet, und durch Holz ersetzt. Durch diese konstruktiven Anordnungen, die sich in mechanischer Hinsicht vollkommen bewährt haben, wurde der Einfluß der Wirbelströme auf die Angaben des Instrumentes ganz erheblich herabgedrückt, so daß dieselben für die weitaus meisten praktischen Zwecke als vollkommen richtig angesehen werden können.

Diese drei Meßinstrumente leisten wegen ihrer bequemen Handhabung und der Zuverlässigkeit ihrer Angaben überall da vortreffliche Dienste bei Arbeiten mit Wechselstrom, wo man möglichst genauer Ermittlung von Spannung, Stromstärke und Leistung bedarf, also bei der Ausführung von Versuchen, Eichungen und bei der Vornahme von Kontrollmessungen in Wechsel- und Drehstromkreisen. Handelt es sich jedoch bloß darum, in einer derartigen Anlage die erwähnten Größen unter fortwährender Kontrolle zu haben, so wird man auf den Gebrauch jener Instrumente verzichten. Denn für eine dauernde Unterbringung im Maschinenraume ist es schade um sie, auch sind sie zu teuer, da für diesen Fall billigere, einfachere und widerstandsfähigere gegen mechanische Einflüsse konstruierte Apparate genügen. Solche stehen uns in den elektromagnetischen Spannungs- und Stromzeigern zur Verfügung. Ihr Aufbau ist ein äußerst einfacher, wie Abb. 18 und 19 erkennen lassen. In einer länglich angeordneten Drahtrolle, deren innerer Luftraum einen Spalt bildet, bewegt sich ein eigentümlich geformter Eisenkern (siehe Abb. 20). Dieser sitzt mit den Dämpfungs- und Equilibrierungseinrichtungen auf einer mit Stahlspitzen versehenen Achse aus Bronze-draht. Die Anbringung des Dämpferrohres zeigt Abb. 18, die auch einen Schutzkörper aus Weicheisenblech veranschaulicht, der das Instrument vor der Einwirkung von Starkstrom vollkommen schützt, so daß z. B. ein 2000 Amp. führendes Kabel demselben beliebig nahe gebracht werden kann, ohne daß seine Angaben hiedurch eine merkliche

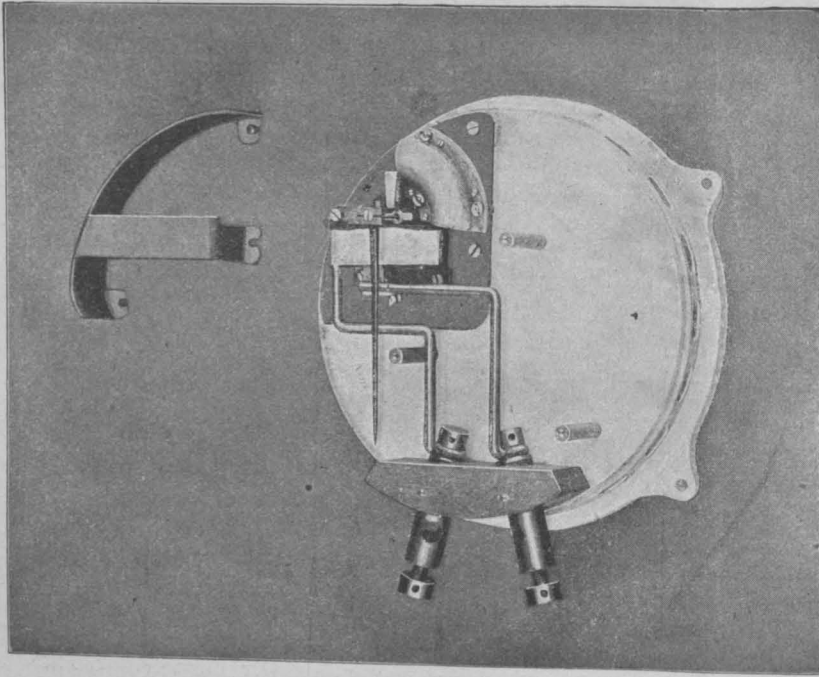


Abb. 18.

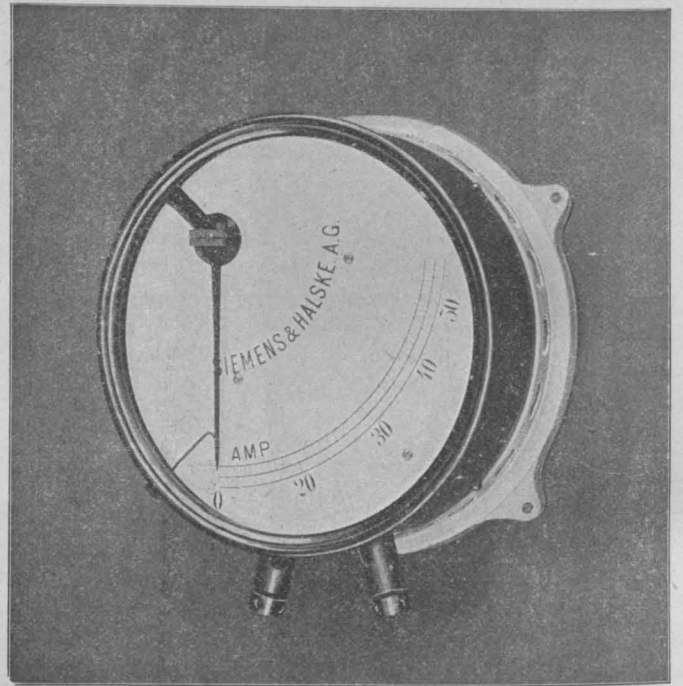


Abb. 19.

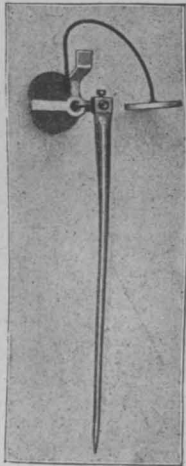


Abb. 20.

Änderung erfahren. Die Dämpfung ist gegen Einflüsse mechanischer Art durchaus nicht empfindlich. Der Luftraum zwischen Dämpferplatte und Dämpferrohr beträgt etwa $\frac{1}{2}$ mm. Die Dämpferplatte ist an einem dünnwandigen, hartgezogenen Messingrohre befestigt. Bei Stößen, etwa auf dem Transporte, berührt die Scheibe die innere Rohrwand bevor die Elastizitätsgrenze der Plattenbefestigung überschritten ist, so daß der Dämpfersteller immer wieder in seine richtige Stellung zurückfedert. Durch die große Näherung des Eisenkernes an die Drahtwindungen des Kastens hat das Instrument eine verhältnismäßig große Empfindlichkeit erhalten, so daß die Zahl der wirksamen Kupferwindungen der Rolle eine geringe ist und das Verhältnis ihres

Widerstandes zu dem des Vorschaltewiderstandes mit verschwindend kleinem Temperaturkoeffizienten bei den Spannungszeigern sich verhält wie 1:10. Infolgedessen kommt die Abhängigkeit ihrer Angaben von der Temperatur ihrer Umgebung und der Dauer ihrer Einschaltung für praktische Zwecke nicht mehr in Betracht.

Diese Strom- und Spannungszeiger werden mit Zinksockel geliefert und haben dann, wie üblich, ihre Stromzuführungen entweder unten oder oben und unten. Neuerdings baut man sie auch auf Sockeln aus Ambroin, einem gut isolierenden Material, auf dem alle Apparatenteile derart angeordnet sind, daß ein Übertreten des Stromes von ihnen auf die der Berührung von außen zugänglichen Teile, wie Kappe, unmöglich ist. Die zu messende Spannung, bzw. der Strom, über dessen Stärke der Apparat Auskunft geben soll, werden durch die Sockelrückwand direkt in ihr Inneres geleitet, entweder mittels passender Kupferbolzen durch das Schaltbrett hindurch oder mit Hilfe von Leitungen, die bis in das Innere der Instrumente hinein gut isoliert sind. Auf diese Weise ist recht wirksam die Möglichkeit benommen, durch Anfassen des unter Strom stehenden Apparates einen Schlag zu erhalten, und daher eignen sich die Spannungs- und Stromzeiger auf Ambroinsockel vorzüglich zur Verwendung in Hochspannungsanlagen.

Da diese Strom- und Spannungszeiger Eisen enthalten, so sind ihre Angaben von der Periodenzahl und der Kurvenform des Wechselstromes, wenn auch in geringem Maße, abhängig. Dieser Umstand hat aber auf die allgemeine Verwendbarkeit der elektromagnetischen Instrumente in Wechselstromanlagen keineswegs einen einschränkenden Einfluß, denn in derartigen Anlagen wird stets mit einer bestimmten, nur unbedeutend veränderlichen Periodenzahl gearbeitet, und auch die Kurvenform ist durch die daselbst aufgestellten Stromerzeuger festgelegt. Bedingung jedoch ist, daß die Eichung der elektromagnetischen Apparate, die in solchen Betrieben gebraucht werden sollen, stets für die Periodenzahl und die Kurvengestalt, die dort vorhanden sind, ausgeführt wird.

Auch für Gleichstrommessungen finden die elektromagnetischen Strom- und Spannungszeiger in ausgedehntem Maße Verwendung und leisten für diese Stromart dieselben zuverlässigen Dienste wie für Wechsel- und Drehstrom. Eine mit Wechselstrom ausgeführte Eichung dieser Instrumente stimmt nicht für Gleichstrom; soll der Apparat mit diesem betrieben werden, so muß auch die Teilung seiner Skala unter Benützung von Gleichstrom hergestellt werden. Über die Verschiedenheit der Angaben eines und

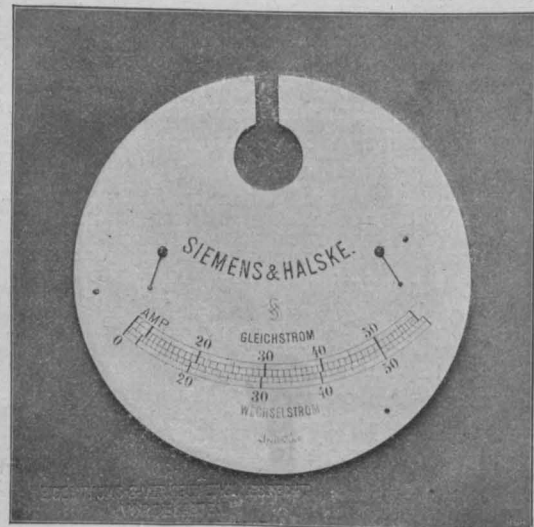


Abb. 21.

desselben elektromagnetischen Apparates bei Gleichstrom und Wechselstrom gibt Abb. 21 Auskunft, die die Skala eines derartigen, für den Betrieb mit beiden Stromarten eingerichteten Stromzeigers darstellt.

In vielen Fällen besteht der Wunsch, nicht nur in jedem beliebigen Augenblicke über den Wert einer elektrischen Größe zu unterrichten, wie es die vorstehend beschriebenen Apparate ermöglichen, sondern auch genaue Informationen über den Verlauf jener Größen während eines längeren Zeitraumes zu erhalten. So ist es z. B. beim Betriebe elektrischer Zentralen von großer Wichtigkeit, Kenntnis vom Gange der Spannung während ihres Arbeitens zu erlangen. Aus den Aufzeichnungen des Spannungs-, des Stromstärke- und des Leistungsverlaufes ergeben sich die nötigen Anhaltspunkte zur Beurteilung elektrischer Betriebe und zur Entscheidung der Frage, welche Antriebsart in einem gegebenen Falle zu wählen ist: Einzelantrieb oder Gruppenantrieb. Auch ist das Registrierinstrument berufen, bei deren Beurteilung dieselbe Rolle zu spielen wie der Indikator bei der Dampfmaschine.

Bei dem Registrierapparate, dessen äußere Ansicht Abb. 22 wiedergibt, während Abb. 23 Uhrwerk, Papierrolle und Farbband darstellt, wird die Aufzeichnung in der Weise bewerkstelligt, daß ein über dem Zeiger schwebender Klopfer alle zwei Sekunden mit Hilfe eines Steig- und Sperrades, die durch einen Elektromagneten betätigt werden, den Zeiger niederdrückt, an dem unten ein kleiner Stift befestigt ist. Dieser gelangt dabei mit einem Papierstreifen in Berührung, unter dem ein Farb-

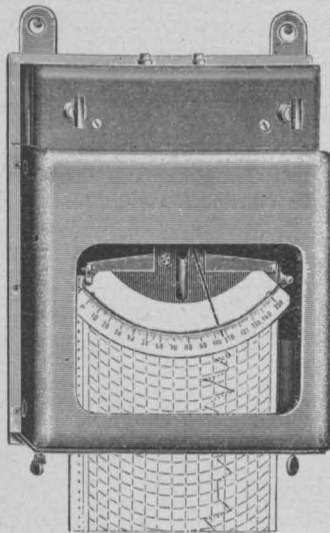


Abb. 22.

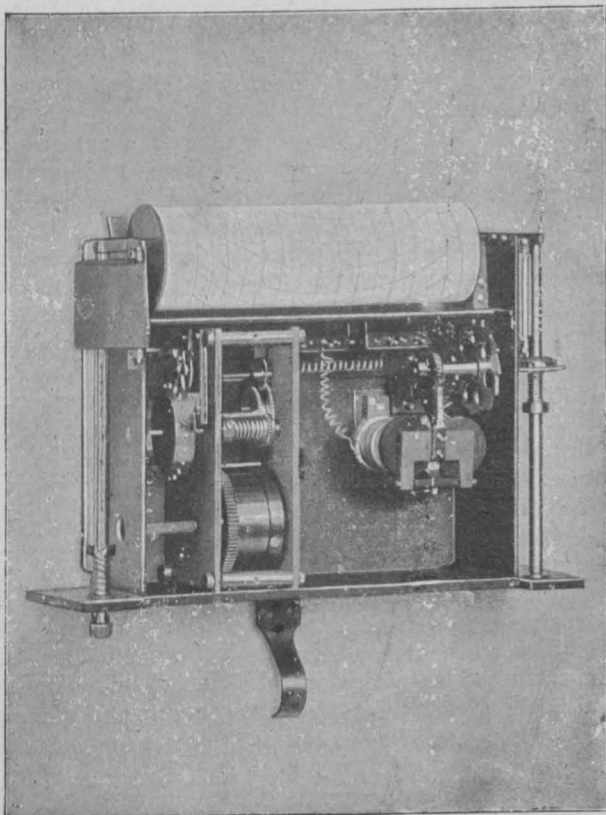


Abb. 23.

band liegt, und es entsteht auf ersterem ein Punkt. Beiden — Streifen und Farbband — wird durch das Uhrwerk eine passende Bewegung erteilt, wodurch bewirkt wird, daß letzteres nicht an einer einzigen Stelle abgenutzt wird, und daß wir auf ersterem eine den Gang der zu kontrollierenden Größe charakterisierende Punktreihe erhalten. Da die einzelnen Punkte sehr nahe bei einander liegen, so verschwimmen sie zu einer kontinuierlichen Linie.

Diese Registriervorrichtung in Verbindung mit einem der früher beschriebenen aperiodischen Meßinstrumente liefert sehr zuverlässige Aufzeichnungen über die Schwankungen, denen Spannung, Stromstärke und Leistung in Gleich-, Wechsel- oder Drehstromanlagen unterworfen sind.

Da der Papierstreifen, der mit einer Geschwindigkeit von 30, 60 oder 240 mm in der Stunde unter dem Zeiger fortbewegt wird, eine Länge von 45 m besitzt, so ist eine Auswechslung desselben verhältnismäßig selten nötig. Und da auch das Uhrwerk nur alle acht Tage aufgezogen zu werden braucht, so erfordert der Apparat nur ein äußerst geringes Maß an Bedienung.

Zur Aufnahme sehr schneller elektrischer Vorgänge, wie z. B. des Verlaufes von Stromstärke und Spannung beim Anfahren eines elektrischen Wagens oder beim Ein- und Ausschalten eines elektrischen Kranes, werden neuerdings auch Instrumente mit Funkenregistrierung gebaut. Ein Funkenstrom, der das Registrierpapier bei der momentanen

Zeigerstellung durchschlägt, markiert diese. Der Zeiger dient hier nur zur Überbrückung jenes, der durch einen kleinen, im Apparate selbst untergebrachten Funkeninduktor, der selbsttätig arbeitet, erzeugt wird. Abb. 24 zeigt diesen Apparat ohne Kappe. Unter ihm ist ein Kasten angebracht, der den abgelaufenen Papierstreifen aufnimmt.

Handelt es sich darum, Stromstärke, Spannung oder Leistung für einen ganz bestimmten Zeitpunkt aus der Aufzeichnung auf dem Papierstreifen zu entnehmen, so wird der Apparat mit einem elektromagnetischen Zeitschreiber versehen. Dieser markiert dann auf der Nulllinie des Registrierpapiers Punkte in den Momenten, in denen sein Stromkreis geschlossen wird. In geeigneter Schaltung kann dieser Zeitschreiber bei der Aufnahme des Energieverbrauchs bei Motoren auch als registrierendes Tachometer dienen und gestattet so einen Vergleich der Geschwindigkeit mit dem Energieverbrauch.

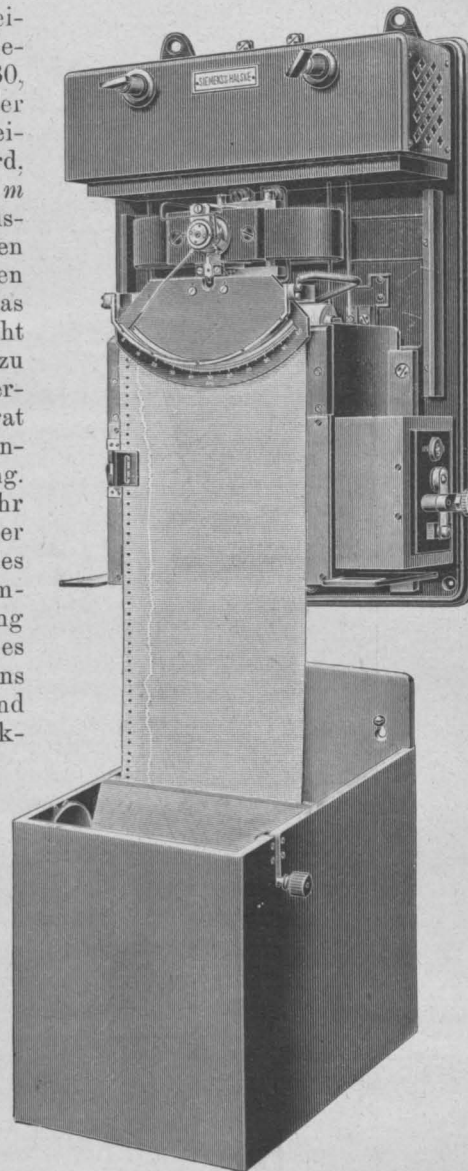


Abb. 24.

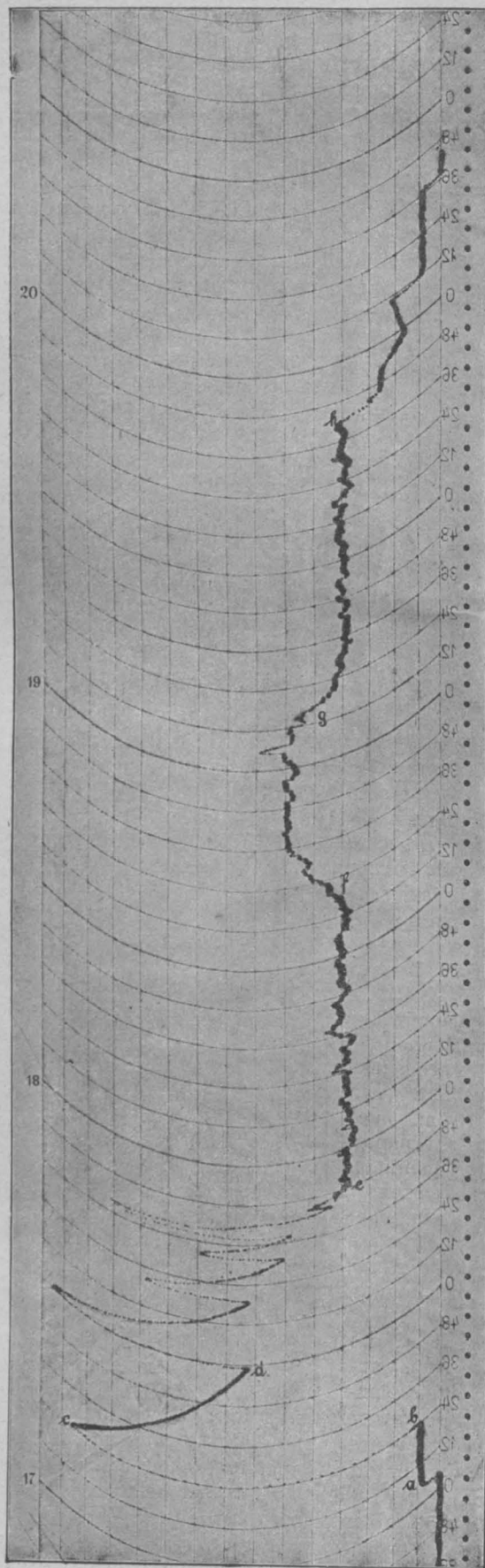


Abb. 25.

Abb. 25 gibt das Bild eines Stückes Registrierpapier in halber natürlicher Größe wieder, auf dem die Anlaufstromstärke beim Anlassen eines 150 PS-Motors registriert ist, der mit einer leerlaufenden Drehstrommaschine ist; bei *a* wird die Erregung der Gleichstrommaschine ein-

geschaltet, bei *b* der Anlasser auf den ersten Kontakt gebracht; die Stromstärke steigt plötzlich an bis *c*, um dann in den nächsten 18 Sekunden mit zunehmender Geschwindigkeit des Motors bis *d* abzufallen; das Spiel wiederholt sich bei jedem Kontakt des Anlassers, bis bei *e* die normale Tourenzahl erreicht ist. Bei *f* wird die Erregung der Drehstromdynamo eingeschaltet, bei *g* wieder ausgeschaltet und bei *h* der Motor allmählich abgestellt. Die Zahlen auf der linken Seite des Diagrammes bedeuten Minuten.

Eine andere für elektrische Anlagen, namentlich solche, die Strom für Beleuchtung und andere technische Zwecke liefern, außerordentlich wichtige Kategorie elektrischer Apparate bilden die Elektrizitätszähler. Diese geben Aufschluß darüber, wie viel elektrischer Strom oder wie viel elektrische Energie und wie lange, mit anderen Worten, wie viel Ampère-, bzw. Wattstunden in einem Teile einer elektrischen Anlage verbraucht worden sind.

Das Problem der Elektrizitätszähler ist eines der schwierigsten, das die Elektrotechnik den Konstrukteuren aufgegeben hat, weil die Anforderungen, die an die Elektrizitätszähler gestellt werden müssen, sich zum Teil widersprechen. Vorab sollen sie sehr genau anzeigen, d. h. sowohl sehr kleine als auch die größten für ihren Meßbereich in Betracht kommenden Stromstärken, bzw. Energiemengen sollen mit hinreichender Genauigkeit registriert werden. Zur Betätigung der Zählvorrichtung wird aber nur ein Minimum von Energie bewilligt, denn die elektrische Energie, die der Zähler verbraucht, ist wirtschaftlich nutzlos. Dem entgegen stehen nun die Anforderungen der Praxis, die verlangen, daß der Zähler möglichst unempfindlich gegen äußere mechanische Einflüsse auf dem Transporte und bei der Montage ist, von fast ungeübtem Personale bedient werden muß und möglichst wenig Wartung erfordert. Außerdem wird noch verlangt, daß der Zähler behördlich geeicht werden kann. Das setzt aber voraus, daß das Innere desselben sich so abschließen und plombieren läßt, daß nachher keinerlei Manipulationen in demselben vorgenommen werden können. Hiezu kommt ferner die Forderung, daß der Zähler Kurzschlüsse noch ertrage, die den ihm eigenen Meßbereich um ganze Größenordnungen überschreiten. Auch äußere magnetische Kräfte dürfen ihn nicht beeinflussen, ebenso darf er nicht empfindlich sein gegen Lagenveränderungen aus seiner normalen Stellung, die ja in der Praxis sehr leicht vorkommen können. Endlich soll der Zähler nicht viel kosten.

Ich möchte Ihnen nun zwei verschiedene Zähler-systeme vorführen, eines mit absatzweiser Registrierung, das andere nach dem Prinzip der Motorzähler. Was die Theorie der Zähler nach dem ersten System anbelangt, so ist sie sehr einfach; sie basiert auf dem bekannten Prinzip der absatzweisen Zählung, und zwar werden die Ausschläge, die ein Meßinstrument macht, absatzweise registriert. Denken Sie, Sie sollen den mittleren Wert einer variablen Größe bestimmen, die durch eine Kurve ausgedrückt ist (Abb. 26), die in unserem Falle die Strom- oder die Energiekurve als Funktion der Zeit darstellt. Die Ordinate sei *i* oder *e. i* und die Abszisse die Zeit. Wenn man nun den Inhalt eines derartigen Flächenstückes — denn das stellt geometrisch das Produkt aus Zeit und Strom oder Energie dar — bestimmen will, so zerlegt man dasselbe in kleine Teile mit gleichen Abszissen. Bezeichnet man nun die jeweilige Ordinate mit *i* und das kleine Zeitmoment mit Δt , so ist der Inhalt eines derartigen Stückes $i \cdot \Delta t$. Nimmt man die Summe dieser Stücke, so hat man $\sum i \Delta t$, d. h. den Flächeninhalt, in der Voraussetzung, daß das Δt -Stück so klein ist, daß sich diese beiden Ordinaten nur wenig von einander unterscheiden. Macht man das Zeitelement unendlich klein,

so bekommt man das Integral $\int_{t_1}^{t_2} i dt$, genommen über einen Zeitraum $t_2 - t_1$.

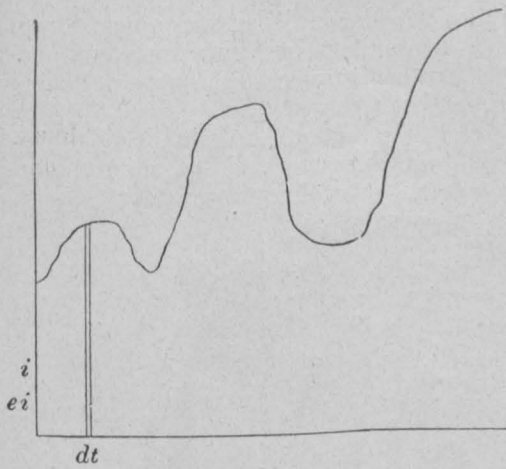


Abb. 26.



Abb. 27.

Es sei in Abb. 27 AB die Nulllage des Zeigers eines Meßinstrumentes und AC die Lage bei irgend einer Stromstärke und der Winkel α , um den der Zeiger von dem Nullpunkte abweicht, proportional der Stromstärke oder der Energie. Führt man den Zeiger nun periodisch in die Nulllage zurück und registriert den Winkel in irgend einer Weise, so wird die Registrierung mit der Kurve, die der Zähler angeben soll, umso mehr zusammenfallen, je öfter diese Zurückführung in der Zeiteinheit geschieht. Bei dem Präzisionszähler, den ich Ihnen zunächst vorführen will, ist es gelungen, dieses Intervall auf etwa $3\frac{3}{4}$ Sekunden herabzudrücken.

Diese Registrierung der Zeigerausschläge wird nun in folgender, sehr einfacher Weise ausgeführt.

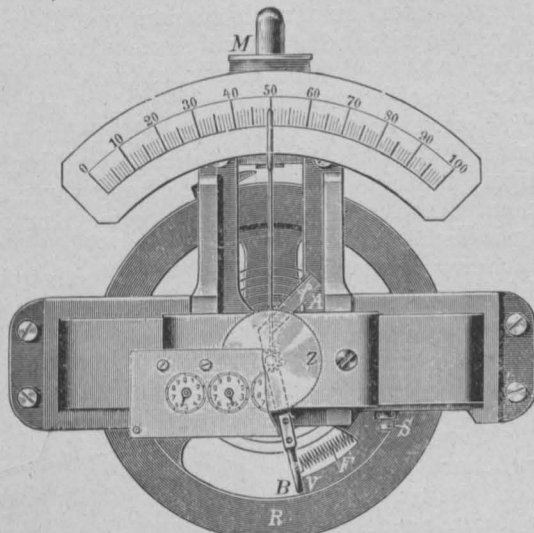


Abb. 28.

Durch eine periodische Kraft bewegt, bringt der Mitnehmer AB (Abb. 28) den Zeiger auf den Nullpunkt zurück. An diesem Mitnehmer AB , der mit dem Zählrade Z auf einer gemeinsamen Achse sitzt, befindet sich eine kleine Feder, die im allgemeinen etwas von dem fein gerauhten Zählrade Z absteht. Sobald diese Feder den Zeiger trifft, wird sie gegen das Zählrad gedrückt, letzteres mitgenommen und so der Winkel, um welchen der Zeiger jedesmal vom Nullpunkt abweicht, durch das Zählrad registriert. An dem Zählrade ist mit passender Übersetzung das Zählwerk angebracht.

Da dem periodischen Elektromotor die Aufgabe zufällt, den Zeiger mittels des Mitnehmers genau auf 0 zurückzuführen, so müßte derselbe stets ganz genau gleiche Amplituden machen. Dies ist nun praktisch unmöglich zu erreichen. Deshalb muß man hier ein Glied einführen, das ein freies Ausschwingen der Unruhe des Motors erlaubt.

Zu diesem Zwecke wird der Mitnehmer AB , der umgebogen ist und in zwei Lagern liegt, durch eine Feder F an einen Vorsprung V des Unruherades R angedrückt. An der linken Seite kann die Unruhe nebst Bügel nun frei ausschlagen, an der rechten dagegen findet der Bügel einen Anschlag S , der der Nullstellung des Zeigers genau entspricht; die Schwingungen der Unruhe selbst werden in keiner Weise gehemmt.

Der periodische Motor ist sehr einfach. Er besteht nur aus einer schweren Unruhe, einer Feder und dem nötigen Bewegungsmechanismus, der seinerseits sich aus einem Elektromagneten, einem Anker von besonderer Form und der Kontakteinrichtung zusammensetzt. Um Funkenbildung zu vermeiden, welche bei einem derartigen Instrument sehr störend sein würde, ist die Schaltung (Abb. 29) derartig gewählt, daß der Anzugselektromagnet M periodisch vom Strom durchflossen und dann durch die Kontaktvorrichtung kurzgeschlossen wird.

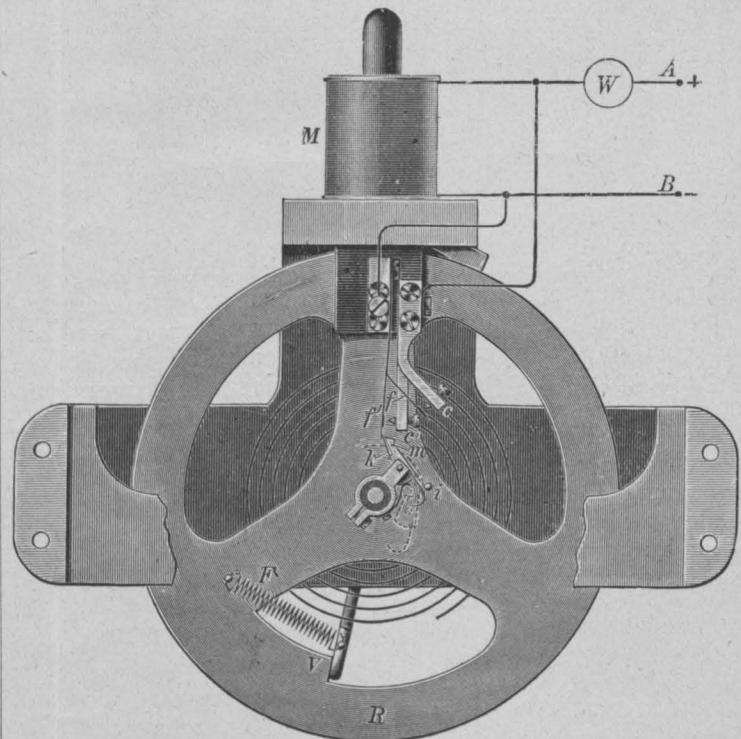


Abb. 29.

Bei einem Zähler für 100 Volt Spannung gebraucht man etwa 1 Watt für den Motor. Da dieser verschiedene Arbeit zu verrichten hat, je nachdem der Zeiger bei kleinen oder großen Ausschlägen transportiert wird, muß derselbe sich seine Amplitude selbsttätig regulieren, und das geschieht dadurch, daß er sich so viel Strom nimmt als er zu der bestimmten Amplitude notwendig hat. Vollführt er nun eine zu große Amplitude, so schlägt der kleine Mitnehmer m gegen einen Stift i an. Jener dreht sich dadurch ein wenig um, stellt sich in die in der Abb. 29 punktierte gezeichnete Linie ein, und beim nächsten Durchgang passiert die kleine Feder k unter der Kontaktfeder f' durch. Der Motor bekommt dann keinen Strom mehr, solange der Schwingungsbogen eine bestimmte Größe überschreitet. Sobald die Amplitude bis zu einem gewissen Betrage zurückgegangen ist, wird der Kontakt wieder hergestellt, d. h. der Motor reguliert seine Amplitude selbst, er nimmt so viel Strom als er braucht, und wenn nach längerem Betriebe die Reibungen eines solchen Motors etwas stärker auftreten würden, würde er sich einfach etwas öfter Strom holen.

Große Schwierigkeit verursachte deren Lagerung; um ihr für jede Belastung des Zählers die gleiche Schwingungsdauer zu sichern, muß sie eine große Masse besitzen. Durch

die Anwendung von Kugellagern wurde schließlich ein gutes Schwingen der Unruhe herbeigeführt und so zum erstenmale ein Zähler geschaffen, der ohne jegliche Arretierung jeden Transport vertragen kann. Denn der einzige bewegliche Teil, der schwer ist, ist auf Kugeln gelagert; seine übrigen Teile sind so leicht konstruiert, daß ihnen Stöße und Erschütterungen nicht schaden.

Mit der eben beschriebenen Registriervorrichtung kann jedes Ampèremeter oder Wattmeter verbunden werden, dessen Ausschläge proportional der sie hervorrufenden Stromstärke, bezw. elektrischen Energie sind. Bei den Ampèrestundenzählern benutzen wir die im ersten Teile des Vortrages besprochenen Präzisionsampèremeter; für die Wattstundenzähler genügt diesen Bedingungen vollauf das in Abb. 30 abgebildete Wattmeter; es ist nichts anderes als

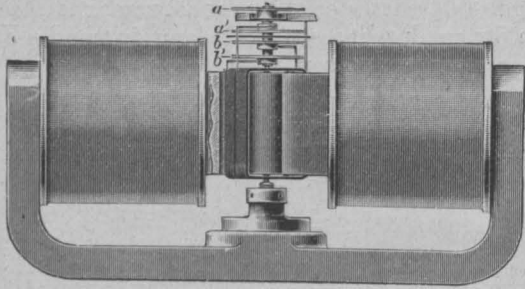


Abb. 30.

ein Präzisionsinstrument vom Drehspulen-Typus, bei dem an Stelle der permanenten Stahlmagnete Elektromagnete getreten sind, die von dem Spannungsstrom erregt werden. Das Feld dieses Instrumentes, dessen magnetischer Kreis sehr gut geschlossen ist, liegt nun in einem derartigen Teil der Magnetisierungskurve, daß die Magnetisierung der magnetisierenden Kraft proportional ist. Um die Angaben dieses Wattmeters von der Remanenz seiner Elektromagnete unabhängig zu machen, ist der einfache Kunstgriff angewendet worden, daß jedesmal durch den periodischen Motor selbst, kurz vor der Registrierung, der Elektromagnet kurzgeschlossen wird (Abb. 31 bei A); dann fällt die Kurve der

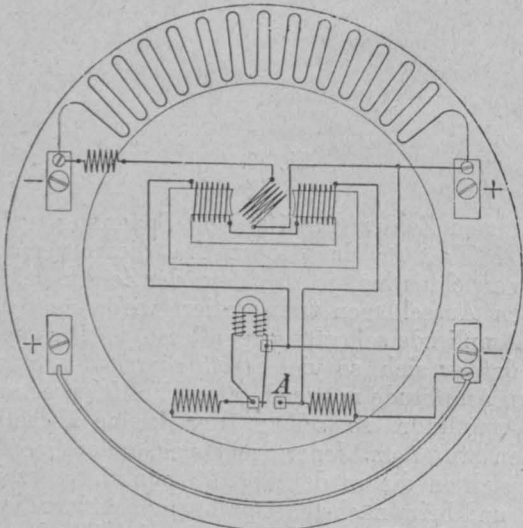


Abb. 31.

Magnetisierung bis zu dem ihr zugehörigen Betrag der Remanenz hinunter, und die bei der Registrierung herrschende Magnetisierung befindet sich immer in dem aufsteigenden Aste der Magnetisierungskurve. Dadurch sind die Fehler bis zu einem kleinen Betrage eliminiert, und man kann mit Recht behaupten, daß man hier einen geschlossenen magnetischen Kreis hat ohne Wirkung der Hysteresis.

Um Präzisionszähler für Dreileiternetze zu erhalten, hat man die Spule, die sich im magnetischen Felde bewegt,

in zwei Teile gespalten, von denen jeder von einem Strom durchflossen wird, der demjenigen im Hauptleiter proportional ist. Die beiden Ströme werden durch je ein Federpaar $a a'$ und $b b'$ zugeführt (Abb. 30).

Die Abb. 32 zeigt die äußere Ansicht des Zählers. Derselbe ist luftdicht verschlossen und plombiert und braucht bei der Montage nicht geöffnet zu werden.



Abb. 32.

Ich will noch bemerken, daß man durch den Vorteil, daß der periodische Motor selbsttätig angeht, auch einen sehr einfachen Elektrizitätszeitähler konstruieren kann, der bloß an Stelle des variablen Zählwerkes ein solches mit fester Übersetzung hat.

Als besondere Vorzüge dieser Präzisionszähler neben den bereits erwähnten sind noch zu nennen die große Genauigkeit ihrer Angaben, die so weit getrieben werden kann, daß sie etwa bei $\frac{1}{3}\%$ der Belastung anfangen zu zählen und bei den verschiedenen Belastungen höchstens Fehler von ca. 1% aufweisen. Irgend welche Beeinflussung der Zähler von außen ist nicht gut möglich. Ihr Abschluß ist ein derartiger, daß eine behördliche Eichung vorgenommen werden kann. Auch sind die Zähler gegen Kurzschlüsse sehr unempfindlich.

Ein anderer Wattstundenzähler für Gleichstrom, der sich gleichfalls sehr gut bewährt hat, und der mancherlei Interessantes in seiner Konstruktion aufweist, ist der Flügelwattstundenzähler. Er gehört zur Klasse der Motorzähler und zeichnet sich vorteilhaft von den übrigen für Gleichstrom bestimmten Zählern dieser Gattung dadurch aus, daß sein beweglicher Teil keine Wicklungen besitzt, sondern nur starre, miteinander verschraubte Metallteile, daß vielmehr jene sämtlich fest angeordnet sind. Abb. 33 zeigt die äußere Ansicht der mittleren Type des Flügelzählers, während Abb. 34 und 35 seine innere Einrichtung erkennen lassen und Abb. 36 Aufschluß über seine Schaltung gibt. Wie aus diesen letzteren ersichtlich, besitzt der Zähler zwei aus dickem Kupferdraht gewickelte Spulen HH , die in je einen Leiter, bei Dreileiteranlagen in je einen Außenleiter eingeschaltet und vom Nutzstrom durchflossen werden. N_1, N_2, N_3 und N_4 sind vier auf den Böcken e angeordnete



Abb. 33.

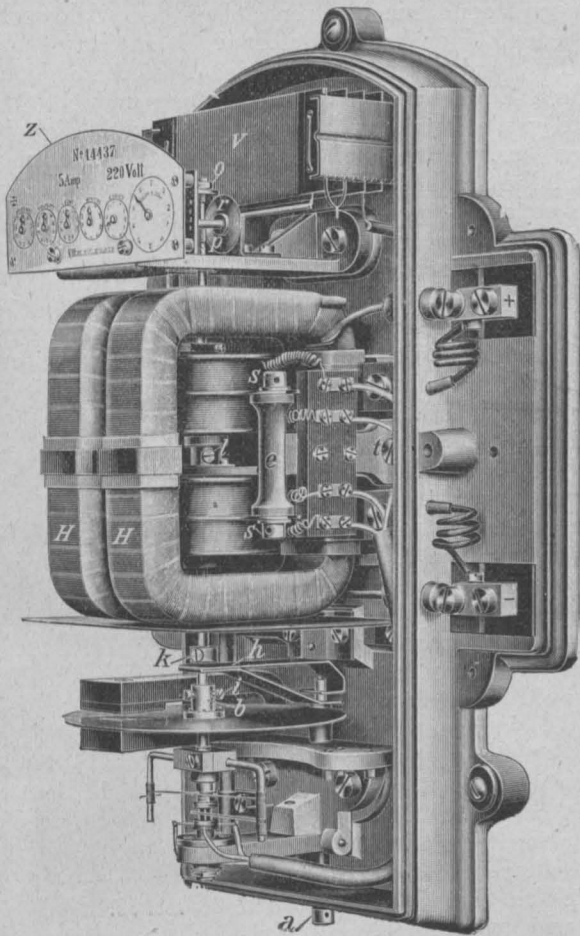


Abb. 34.

aus Saphir läuft. Die obere Führung der Achse bildet ein Halslager, das in dem Bock *o* verstellbar angeordnet ist. Auf der Achse sitzt ferner isoliert der Bürstenträger *u*, dessen Bürsten auf einem Ring *g*, bezw. einem vierlamelligen Kommutator *c* schleifen. Diese beiden sind feststehend angeordnet. Zwecks bequemer Revision und Auswechslung des Steinlagers ist ein beweglicher Bock *d* vorgesehen, der nach Lösen der Schraube *a* heruntergeklappt werden kann, ohne daß die Zuleitungen zum Kommutator entfernt zu werden brauchen. Auf der Achse ist eine Bremsscheibe *b* befestigt, die sich zwischen den Schenkeln zweier permanenter Stahlmagnete *m m* bewegt.

Die Wirkungsweise des Zählers ist folgende:

Der die Hauptstromspulen durchfließende Nutzstrom erzeugt in diesen ein seiner Stärke proportionales magnetisches Feld, dessen Kraftlinien in horizontaler Richtung verlaufen. Die Schaltung der vier Nebenschlußspulen ist derartig getroffen, daß der Kommutator dem Strome immer nur durch je eine derselben zu passieren gestattet. Zu diesem Zwecke sind die einen Enden der vier Spulen N_1, N_2, N_3 und N_4 an eine gemeinschaftliche Klemme *q* (siehe Abb. 36) angeschlossen. Diese steht durch eine Leitung, in der der Vorschaltwiderstand *V* liegt, mit der Anschlußklemme *A* in Verbindung. Die anderen Enden der Spulen liegen an den vier Lamellen des Kommutators und können der Reihe nach durch die Schleifbürsten mit der Klemme A_2 in Verbindung treten. Es fließe nun z. B. zuerst der Strom durch die obere Spule N_1 und magnetisiere dadurch das Eisenstück F_1, F_2 (siehe Abb. 37), und es bilde sich infolgedessen bei F_1 ein Südpol und bei F_2 ein Nordpol. Das von den Hauptstromspulen erzeugte Feld bewirkt eine Drehung dieses Flügelpaares, so daß seine Enden sich in die Richtung der Kraftlinien einzustellen bestrebt sind. So wie die Flügel die Lage *x x* passieren (siehe Abb. 37), schaltet der Kom-

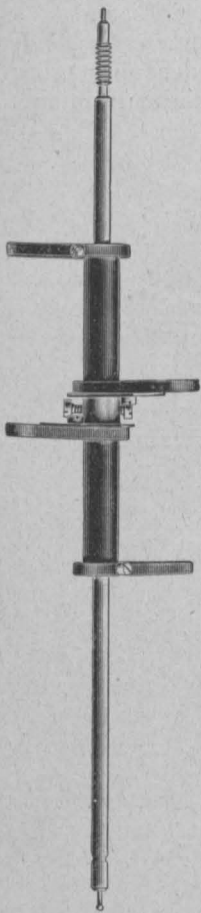


Abb. 35.

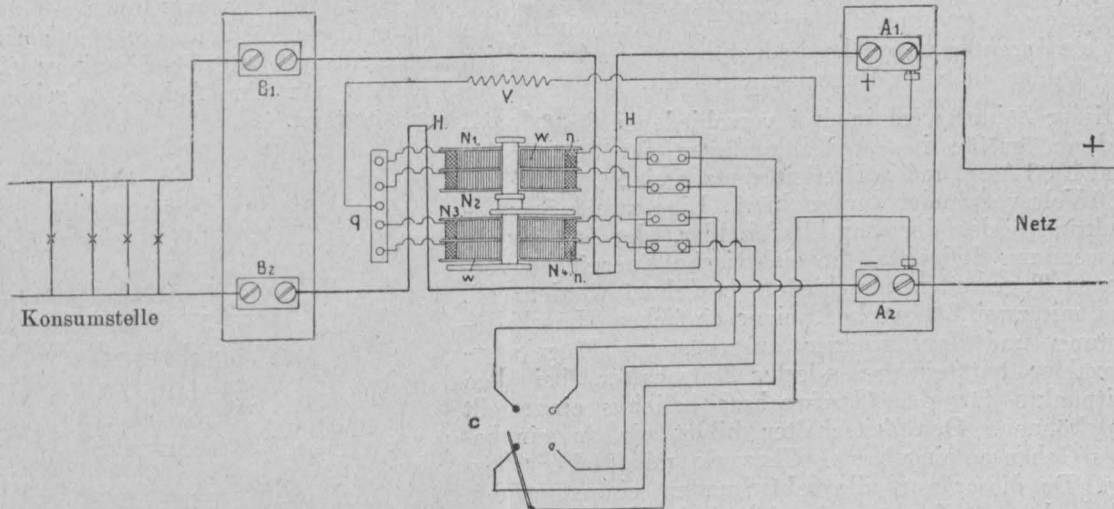


Abb. 36.

Nebenschlußspulen, die von den Spulen *HH* umschlossen und durch die ein Strom geht, welcher der an den Klemmen A_1 und A_2 herrschenden Spannung proportional ist. Diese wird vorher durch einen im Zähler oder hinter der Grundplatte angeordneten Vorschaltwiderstand *V* entsprechend reduziert. In dem Hohlraum der Nebenschlußspulen befindet sich eine vertikale Achse *R*, die ein System von vier um je 90° versetzten Eisenflügeln F_1, F_2, F_3 und F_4 trägt. Je zwei zusammengehörige Flügel bilden miteinander einen Winkel von 180° und sind durch ein Eisenrohr zu einem *Z*-förmigen Eisenkörper vereinigt. An ihrem unteren Ende hat die Achse einen kugelförmigen Zapfen, der in einem Steinlager

mutator den Strom auf die Spule N_4 um. Nun wird das untere Flügelpaar $F_3 F_4$ magnetisiert, und es erfolgt eine weitere Drehung der Achse um 90° . Jedes Flügelpaar ist somit nur dann wirksam, wenn es sich innerhalb des bezeichneten Winkels von 90° zwischen den Linien *x x* und *y y* befindet. Haben Spule N_1 und N_4 ihre Aufgabe in dieser Weise gelöst, so treten Spule N_2 und N_3 an ihrer Stelle in Tätigkeit, und das System wird so in dauernde Umdrehung versetzt mit einer der Stärke des Stromes in den Spulen *H* proportionalen Geschwindigkeit. Das entgegenwirkende Moment bilden die in der rotierenden Kupferscheibe durch die permanenten Magnete erzeugten Wirbelströme.

Um die Funkenbildung am Kommutator und ein durch sie bewirktes Verbrennen der Kontaktstellen zu vermeiden, ist zu jeder Nebenschlußspule ein induktionsfreier Nebenschluß parallel geschaltet, in dem der auftretende Öffnungs-

gen Eisenkörper vereinigt. An ihrem unteren Ende hat die Achse einen kugelförmigen Zapfen, der in einem Steinlager

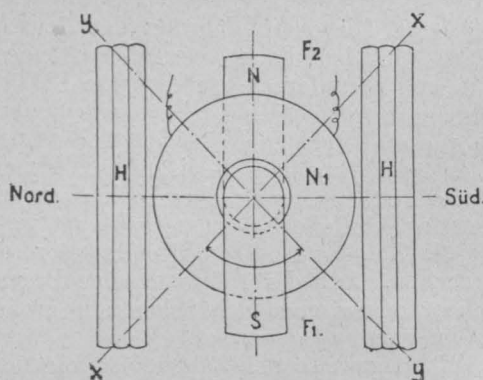


Abb. 37.

strom verläuft. Diese Nebenschlüsse n (Abb. 36) bestehen aus Manganindraht und sind bifilar auf die Kupferwindungen w aufgewickelt. Die Drehung des beweglichen Systems wird durch eine Schraube ohne Ende p auf ein Schneckenrad r und das Zählwerk Z übertragen (siehe Abb. 34).

Die Zahl der Umdrehungen, die der Zähler in einer bestimmten Zeit ausführt, läßt sich durch Beobachten einer auf der Bremsscheibe angebrachten Marke beim Hindurchblicken durch das Fenster an der Vorderseite des Zählers leicht bestimmen. Durch Vergleich derselben mit der auf dem Zähler verzeichneten kann dann ohne Mühe festgestellt werden, ob dieser richtige Angaben liefert oder nicht. Dieser Zähler besitzt auch eine interessante Kompensationsvorrichtung, durch welche die bei geringen Geschwindigkeiten vermehrt auftretenden Reibungswiderstände eliminiert werden. Dies wird durch eine etwas exzentrisch angeordnete Lage der Eisenflügel in Bezug auf die Spule erreicht, wodurch auch ein Drehungsmoment des beweglichen Systems hervorgerufen wird, wenn kein Strom die Hauptspule durchfließt, welches jedoch nie so stark auftritt, daß der Zähler auch im Ruhezustande läuft.

Dieser Zähler wird in drei verschiedenen Größen gebaut, deren größte in Zweileiteranlagen für Ströme bis maximal 1500 Amp. und in Dreileiternetzen bis 2×800 Amp. und 600 Volt verwendet werden kann. Eine zweite Spezialkonstruktion bildet der Doppeltarifzähler, der mit Erfolg da Verwendung findet, wo die elektrische Energie zu verschiedenen Tageszeiten verschieden berechnet werden soll. Zu dem mit zwei Zählwerken, einer einfachen Umschaltvorrichtung und Tarifanzeiger ausgerüsteten Flügelwattstundenzähler tritt ein gesonderter Zeitschalter, bei dem die Zeitpunkte für den Tarifwechsel beliebig eingestellt werden können. Den Zeitschalter bildet ein in ein besonderes Gehäuse eingebautes Uhrwerk mit elektrischem Aufzug. Da dieser nur alle acht Stunden einmal erfolgt, so verbraucht er äußerst wenig elektrische Energie.



Abb. 38.

In kleineren elektrischen Installationen, namentlich in solchen, die stets mit möglichst gleichmäßiger Belastung arbeiten, zieht man es oft vor, statt die elektrische Energie zählen zu lassen, die Zeit zu registrieren, während der die Anlage Strom erhalten hat. Man wird in diesem Falle statt eines Ampère- oder Wattstundenzählers den billigeren Zeitzähler verwenden, den Abb. 38 wiedergibt, und der den gedachten Zweck vollständig erfüllt. Da seine Gangzeit 14 Tage beträgt, so kann er längere Zeit ohne Revision arbeiten.

Anders als der Bau der Gleichstromzähler ist derjenige der Zähler für Wechselstrom und Drehstrom gewöhnlich gestaltet. Auch hier wird man die Motorzähler

bevorzugen, denn sie besitzen außer dem Zählwerk, das ja ein jeder Zähler haben muß, nur einen einzigen beweglichen Teil und demnach nur eine Achse, zeichnen sich also durch Einfachheit in ihrem Aufbau und eine dadurch bedingte große Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit ihrer Angaben aus. Unter den Motorzählern wird man wieder dem Induktionszähler den Vorzug vor dem elektrodynamometrischen geben, denn dem beweglichen Teile des ersteren braucht nicht, wie es bei letzterem vonnöten, Strom zugeführt zu werden, er bedarf also nicht wie dieser eines rotierenden Kommutators und der Schleifbürsten, welcher Umstand ganz wesentlich seine Konstruktion vereinfacht und infolgedessen die Sicherheit seines Funktionierens erhöht. Ich will Ihnen hier einen Induktionszähler vorführen, dessen äußere Ansicht Abb. 39 erkennen läßt. Über seinen inneren Aufbau gibt Abb. 40 Auskunft. Seiner Konstruktion liegt das reine Ferrarische Drehfeld zugrunde, nämlich ein Drehfeld, das sowohl in elektrischer wie in magnetischer Beziehung vollkommen symmetrisch ist. Es wird gebildet durch einen ringförmigen, aus dünnen Blechen hergestellten Eisenkörper A , wie aus Abb. 40 ersichtlich, der vier radial nach innen gerichtete Polansätze EE und FF besitzt. Innerhalb dieses Ringes befindet sich in einem Abstände von den Polansätzen ein feststehender, ebenfalls geblätterter Eisenkern C , über den eine äußerst leichte, um eine Achse D drehbare Aluminiumtrommel B gestülpt ist.

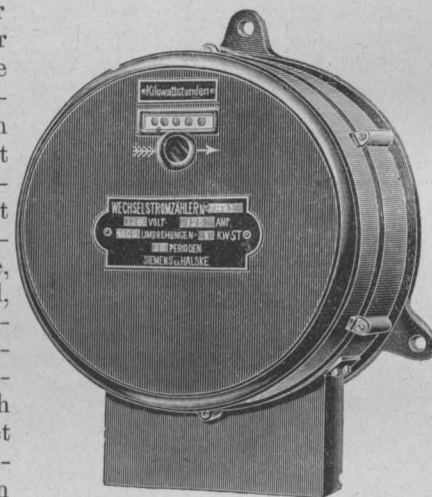


Abb. 39.

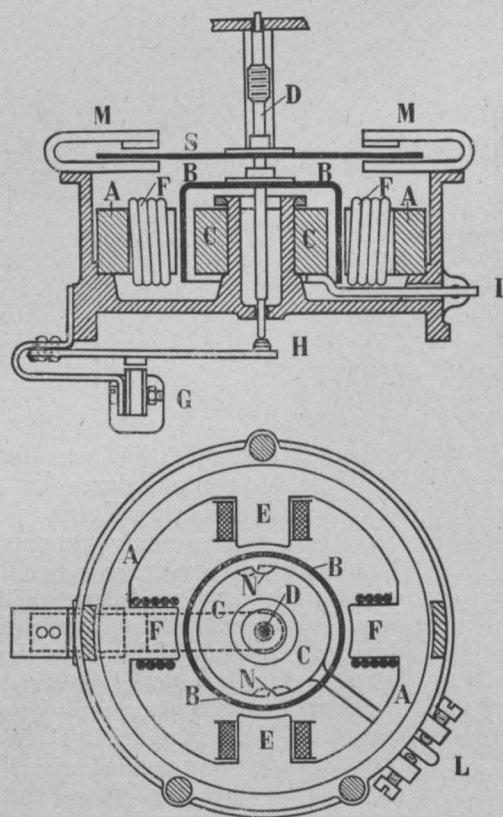


Abb. 40.

Zwei von den Polansätzen, nämlich FF , erhalten eine Wicklung von wenig Windungen dicken Drahtes für den Verbrauchsstrom. Die beiden anderen Polansätze EE sind mit vielen Windungen dünnen Drahtes versehen. Wird nun durch die dicke Wicklung, die Stromwicklung, ein Strom J und durch die dünne Wicklung, die Spannungswicklung, ein Strom i hindurchgeschickt, so wirkt auf die drehbare Aluminiumtrommel ein Drehmoment, das proportional ist dem Produkt aus J und i und dem Sinus der Phasenverschiebung zwischen J und i . Ist diese Null, so wird auch das Drehmoment Null, d. h. die Trommel bleibt in Ruhe. Wir sehen hier den Hauptunterschied zwischen den Induktionszählern und den dynamometrischen Zählern, deren Drehmoment dem Kosinus der Phasenverschiebung zwischen J und i proportional ist. Bei ihnen ist gerade, wenn diese Phasenverschiebung Null ist, das Drehmoment ein Maximum.

Da nun aber die Leistung in einem Wechselstromnetze gleich ist dem Produkt aus dem Strome J und der Spannung E und dem Kosinus der Phasenverschiebung, so müssen wir, da unser Induktionszähler die Arbeit eines Wechselstromes registrieren soll, ihn derartig abändern, daß seine Umdrehungsgeschwindigkeit nicht mehr $J \times E \times \sin \varphi$, sondern $J \times E \times \cos \varphi$ proportional ist. Wir erreichen dies dadurch, daß wir von vornherein dem Strome i der Spannungswicklung eine Phasenverschiebung von 90° gegen die ihn erzeugende Spannung geben, da $\cos \varphi = \sin(90 - \varphi)$. Diese Phasenverschiebung wird mit Hilfe der bekannten Görge'schen Brücke hervorgebracht, die zu diesem Zwecke in folgender Weise abgeändert wurde:

Die beiden Spannungsspulen SS des Meßgerätes werden mit zwei induktionsfreien Widerständen RR zu einer Brücke vereinigt, deren Diagonalzweig ein ebenfalls induktionsfreier Widerstand D bildet (siehe Abb. 41). Vor die so entstehende Brücke schalten wir eine Drosselspule.

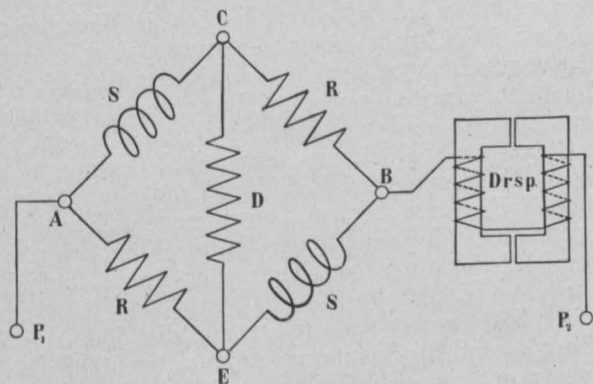


Abb. 41.

Bezeichnet man die Stromstärke in den Spannungsspulen SS mit i_s , wir nehmen sie der Einfachheit halber als gleich an, die in den Widerständen RR mit i_r und endlich die im Widerstand D mit i_d , so gilt für die beschriebene Schaltung die Beziehung

$$i_s = i_r + i_d.$$

Für den Strom in der Drosselspule ergibt sich dann

$$i = i_s + i_r \\ = 2 i_r + i_d.$$

In dem in Abb. 42 dargestellten Diagramm bedeutet die Strecke $ce = fd$ die Spannung an einer Spannungsspule S , $ed = cf$ die Spannung an einem Seitenwiderstande der Brücke und endlich ef die Spannung des Diagonalwiderstandes. Bedeutet noch db die Spannung der Drosselspule, so ist cb die Klemmenspannung. Die Ströme $i_d = eg$ und $i_r = eh$ geben zusammen den Strom $i_s = ek$, der gegen

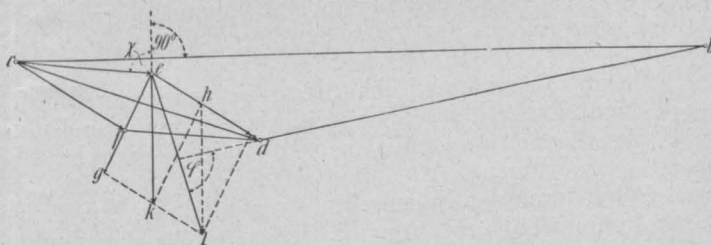


Abb. 42.

seine Spannung ce die Phasenverschiebung x besitzt. Den Gesamtstrom der Brücke $i = el$ erhält man endlich aus i_d und $2 i_r$. Da nun der Strom i_s gegen die Klemmenspannung cb eine Phasenverschiebung von 90° besitzen soll, so ist dadurch die Richtung $cb \perp ek$ gegeben

Um das Diagramm vollständig zu machen, muß noch die Spannung der Drosselspule eingefügt werden. Sie wird dargestellt durch die Strecke db .

Wie aus dem Diagramm zu ersehen ist, besitzt die Spannung db gegen den Strom i eine Phasenverschiebung, die kleiner als 90° ist; daher läßt sich die beschriebene Anordnung mit dem gewünschten Erfolge wirklich ausführen.

Diese Schaltung kann für beliebig hohe Spannungen benutzt werden, da den weitaus größten Teil derselben die Drosselspule aufnimmt. Sie ist auch leicht ausführbar, wie das in Abb. 43 dargestellte Modell beweist, bei dem Widerstände und Drosselspule zu einem Ganzen vereinigt sind. Diese Kombination gelangt für Spannungen bis 500 Volt zur Verwendung, darüber hinaus wird dem Zähler eine besondere Drosselspule beigegeben.

Die eben beschriebene Schaltung bietet aber noch einen Vorteil. Man kann nämlich durch den Diagonalwiderstand D (Abb. 41) die Phasenverschiebung des Nebenschlußstromes gegen die Netzspannung und durch die Seitenwiderstände RR die Empfindlichkeit des Meßgerätes sehr bequem

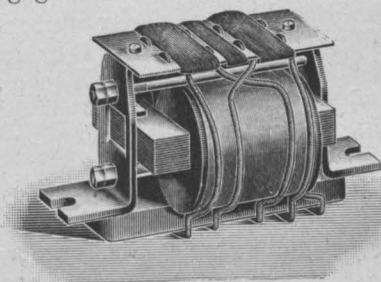


Abb. 43.

und sehr schnell einstellen. Jede dieser Justierungen beeinflusst die vorausgegangene andere nur unwesentlich, so daß man meist nach der zweiten Probe schon zum Ziele kommt.

Beiläufig bemerkt, kann man die Phasenverschiebung von 80 bis 100° ändern, wobei die Empfindlichkeit um nur 5% schwankt.

Der Energieverbrauch des Spannungskreises beträgt bei Zählern für 120 Volt etwa ein Watt, ist also sehr gering. Bei allen Motorzählern macht sich der Einfluß der Zapfenreibung bemerkbar, zu dessen Beseitigung die verschiedensten Hilfsmittel angewendet werden. Um diesen Einfluß tunlichst zu mildern, vermindert man die Geschwindigkeit des beweglichen Teiles des Zählers durch eine möglichst konstant wirkende Bremse.

Hiezu bedient man sich jetzt allgemein der magnetischen Bremsung, die Sie ja schon bei den Flügelwattstundenzählern kennen gelernt haben. Sie besteht in einer Metallscheibe oder Trommel, die zwischen den Polen kräftiger Magnete läuft. In den Metallkörpern entstehen Wirbelströme, die durch den mit ihrer Erzeugung verbundenen mechanischen Energieverbrauch die Bewegung der Metallkörper dämpfen. Dieser Energieverbrauch ist direkt proportional der Geschwindigkeit.

Auch bei unserem Zähler finden Sie die magnetische Bremsung; sie besteht in einer dünnen, zur Erhöhung der Steifigkeit gewellten Aluminiumscheibe S (Abb. 40), die

sich mit der drehbaren Trommel auf einer Achse befindet und sich zwischen den Polen zweier Stahlmagnete $M M$ bewegt.

Durch die magnetische Bremsung wird der Einfluß der Zapfenreibung tatsächlich gemildert. Man war jedoch durch Anwendung verschiedener Hilfsmittel bestrebt, ihn ganz wegzubringen. Alle diese Hilfsmittel beruhen nun darauf, daß durch den Nebenschlußstrom allein ein schwaches Zusatzdrehmoment erzeugt wird, dessen Größe der Zapfenreibung entsprechend abgeglichen wird. Mit der Zeit wird sich die Zapfenreibung verändern; wird sie größer, so genügt das Zusatzdrehmoment nicht mehr, der Zähler verliert seine Anlaufempfindlichkeit und damit seine Genauigkeit bei schwacher Belastung. Meist aber wird die Zapfenreibung durch Einlaufen der Zapfen kleiner, und dann überwiegt das Zusatzdrehmoment, und der Zähler verfallt in den schwersten Fehler, den ein Zähler begehen kann: er zählt, ohne daß Strom verbraucht wird. Kaum eine andere Unart kann einen Zähler in den Augen des Konsumenten mehr herabsetzen als diese. Zur Beseitigung derselben ist bei dem in Rede stehenden Ferrariszähler folgende Einrichtung getroffen: Der verstellbar angeordnete Kern C (siehe Abb. 40) wird an seiner den Spannungspolen gegenüberstehenden Zylinderfläche mit je einer kleinen Nut N versehen. Stehen diese Nuten symmetrisch zu den Spannungspolen, so wird ohne Verbrauchsstrom kein Drehmoment auf die Trommel ausgeübt. Verdreht man jedoch den Kern ein wenig nach der einen oder nach der anderen Seite, so daß etwa die Nuten in die punktiert gezeichnete Stellung kommen, so tritt ein kleines Drehmoment auf, u. zw. bewegt sich die Trommel gerade der Richtung entgegengesetzt, nach der man vorher den Kern drehte.

Der Vorzug dieser Einrichtung besteht nun darin, daß sie justierbar, u. zw. sehr leicht und einfach justierbar ist. Hierzu dient die in der Zeichnung angedeutete Schraubenverstellung L . Ferner zeichnet jene sich dadurch vorteilhaft aus, daß sie das andere Polpaar, die Strompole, nicht beeinflusst.

Die Wirkungsweise dieser Erfindung besteht darin, daß durch die Nuten des Kernes eine kleine Unsymmetrie des Spannungsfeldes hervorgebracht wird. Ein Teil des Feldes erhält einen größeren magnetischen Widerstand als der übrige, so daß der Magnetismus an dieser Stelle eine kleine Phasenverschiebung aufweist. Da nun diese Teile des Spannungsfeldes auch räumlich gegeneinander verschoben sind, so ergibt sich ein Drehmoment, dessen Richtung von dem voreilenden Teile nach dem zurückbleibenden geht.

Um nun das vorher gerügte Übel, den Leerlauf des Zählers, zu vermeiden, verwenden wir eine ebenso einfache wie wirksame Einrichtung. Wir versehen den unteren Rand der drehbaren Trommel mit einer Anzahl, meist vier, ganz kleinen Einschnitten. Man erreicht hiedurch, daß der Widerstand der Trommel nach einer bestimmten Achse ein kleinerer, nach einer anderen, darauf senkrechten Achse ein größerer wird.

Die Trommel stellt sich nun stets so vor die Spannungspole, daß der in ihr erzeugte Strom ein Minimum ist, sie ist dann nach der einen oder der anderen Seite nur mit Aufwand einer bestimmten Kraft drehbar. Wir haben hier ein ähnliches Verhalten wie bei der Reibung, nur daß diese Reibung eine ideale ist, die sich niemals ändert, und die, und das ist gerade die Hauptsache, ganz genau dem Quadrate der Spannung proportional bleibt.

Da nun andererseits das durch die vorher beschriebene Einrichtung hervorgebrachte Zusatzdrehmoment ebenfalls dem Quadrate der Spannung proportional ist, so muß der Zähler, wenn er für eine bestimmte Spannung justiert ist, auch bei jeder anderen Spannung kompensiert sein. Es ergab sich, daß ein solcher Zähler tatsächlich bei um 50, ja um 100% erhöhter Spannung keinen Leerlauf besitzt,

und daß seine Angaben selbst bei schwächster Belastung eine große Genauigkeit bieten. Durch diese Einrichtung ist also das Übel mit der Wurzel ausgerottet.

Eine weitere Anordnung, die den Zähler auch gegen äußere Erschütterungen unempfindlich macht, besteht darin, daß das ganze bewegliche System ständig in äußerst schnelle und kräftige Erschütterungen versetzt und hiedurch zugleich die Zapfenreibung ganz bedeutend verringert wird. Dies bewirkt der kleine Elektromagnet G (siehe Abb. 40), dessen Anker die das Steinlager tragende Feder H in kräftige Schwingungen setzt. Die Reibung der Ruhe wird hiedurch gänzlich beseitigt und die Lagerreibung ganz bedeutend verringert, da die Trommel durch die Pufferwirkung des feststehenden Kernes im Vereine mit den Schwingungen gewissermaßen schwebt.

Es liegt nun die Vermutung nahe, daß bei einer derartigen fortwährenden Auf- und Niederbewegung der Achse sehr leicht eine Zertrümmerung des Lagersteines eintreten wird. Mehrjährige, an einigen tausend derartigen Zählern gewonnene Erfahrung hat bewiesen, daß jene Befürchtung durchaus unbegründet ist.

Auch sei erwähnt, daß das Gewicht des beweglichen Systems verhältnismäßig klein ist — etwa 27 g — und daß dieses sowie sein geringes Trägheitsmoment bedingen, daß der Zähler auf kurze Stromschwankungen fast augenblicklich anspricht.

Wie die Erfahrung lehrt, und wie sich aus theoretischen Erwägungen herleiten läßt, hat die Periodenzahl des den Zähler betreibenden Wechselstromes nur geringen Einfluß auf dessen Angaben. Erst bei sehr hoher Phasenverschiebung macht er sich geltend, da dann die Verhältnisse im Spannungskreise sich ein wenig ändern. Dies hängt damit zusammen, daß der Spannungsstrom wegen seiner hohen Phasenverschiebung sich fast genau im umgekehrten Verhältnisse mit der Periodenzahl ändert, während das Drehmoment der Periodenzahl proportional ist. Der Einfluß der Periodenzahl fällt somit scheinbar heraus, in Wahrheit macht er sich aber noch, wenn auch nur wenig, durch Änderung der Phasenverschiebung im Spannungskreise bemerkbar.

Die Abhängigkeit von der Kurvenform ist auch nur eine ganz geringe und völlig außer acht zu lassen bei den in der Praxis tatsächlich vorkommenden Formen.

Die Übertragung der Zahl der Umdrehungen des beweglichen Teiles auf das mit springenden Ziffern ausgerüstete Zahlwerk geschieht wie beim Flügelwattstundenzähler mit Hilfe einer am Ende der Achse befindlichen Schraube ohne Ende.

Diese Zähler werden für Ströme, die 300 Amp. nicht überschreiten, und für Spannungen, die unter 500 Volt liegen, ohne Zusatzapparate geliefert. Über 300 Amp. treten Stromtransformatoren, über 500 Volt Drosselspulen hinzu. Für Spannungen über 3000 Volt werden die Zähler nur mit Strom- und Spannungstransformatoren ausgeführt.

Auch für Drehstrom gelangen diese Ferraris-Zähler in ausgedehntem Maße zur Verwendung. Sind in einem solchen Netze alle drei Zweige gleich belastet, wie es z. B. bei allein laufenden Motoren der Fall ist, so bedient man sich eines gewöhnlichen Wechselstromzählers. Man schaltet seine Stromspulen in eine der Drehstromleitungen und schließt die Spannungswicklung an diese und an eine der beiden anderen an. An welche, darüber gibt der in Abb. 44 abgebildete Polsucher Auskunft. Derselbe besteht nur aus drei Elektromagnetkernen, über denen eine Eisenplatte schwebt. An die drei Klemmen des Instrumentes werden die Drehstromleitungen angeschlossen, u. zw. so, daß sich die Eisenplatte in der Pfeilrichtung dreht. Den Klemmenbezeichnungen entspre-

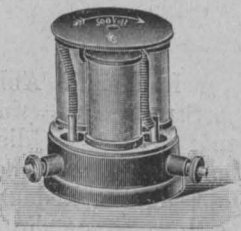


Abb. 44.

chend verbindet man dann die Leitungen mit dem Zähler.

Für die Registrierung der Arbeit in ungleich belasteten Drehstromnetzen verwendet man einen Zähler, der äußerlich dem in Abb. 39 abgebildeten völlig gleicht. Er besitzt zwei Systeme, deren umlaufende Teile miteinander starr gekuppelt sind (siehe Abb. 45).

Die einzige Achse treibt mittels einer Schnecke ein Zählwerk an (Abb. 46); das den Gesamtverbrauch direkt abzu-

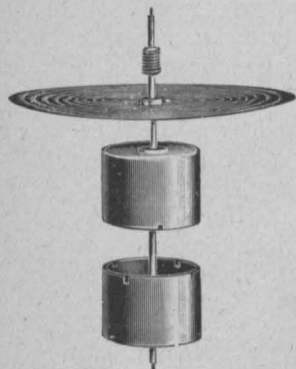


Abb. 45.

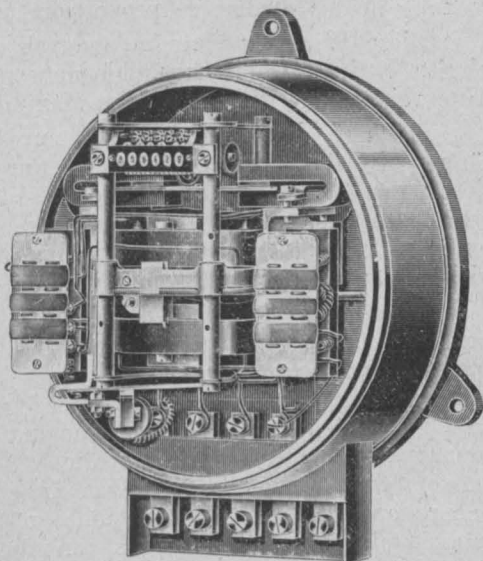


Abb. 46.

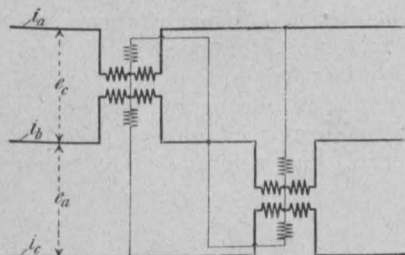


Abb. 47.

lesen gestattet. Jedes der beiden Systeme wird von je zwei Strömen, aber nur von je einer Spannung gespeist, wie Abb. 47, die die Schaltung dieser Zähler wiedergibt, erkennen läßt.

Handelt es sich um die Aufzeichnung der in einem ungleich belasteten Drehstromnetze vorhandenen Arbeit, wenn Ströme über 100 Amp. und Spannungen von mehr als 550 Volt herrschen, so bedient man sich zweier gewöhnlicher Wechselstromzähler, die auf einem gemeinsamen gußeisernen Sockel montiert sind. Die gesamte Arbeit im Drehstromnetze stellt sich dann als die Summe der an beiden Zählern gewonnenen Ablesungen dar.

Nehmen wir dem Zähler das Zählwerk und die Schnecke, und versehen wir seine Achse mit einem Zeiger und einer Spiralfeder, so erhalten wir einen Leistungszeiger. Seine Angaben sind genau der Leistung proportional, da die Geschwindigkeit des beweglichen Systemes Null ist.

Bei dem Leistungszeiger war das auf die Trommel ausgeübte Drehmoment proportional dem Produkt aus dem Strom- und Spannungsfeld und dem Sinus der Phasenverschiebung zwischen beiden.

Schalten wir nun vor die Stromwicklung einen konstanten Widerstand, der die ganze Spannung aushält, so wird der Strom und damit auch das Stromfeld von der Spannung abhängig. Das Drehmoment ist dann dem Quadrate des Spannungsfeldes und damit dem Quadrate der Spannung selbst proportional. Der Leistungszeiger ist also zum Spannungszeiger geworden.

Machen wir nun die Wicklungen aus dickem Drahte, so wird der Spannungszeiger zum Stromzeiger. Dann ist also das Drehmoment dem Quadrate der Stromstärke proportional.

Wir erhalten in beiden Fällen eine quadratische Skala, bei der z. B. dem doppelten Strome der vierfache, dem

dreifachen Strome gar der neunfache Ablenkungswinkel entspricht.

Es ist also die Genauigkeit der Ablesung bei kleinen Stromwerten eine viel geringere als bei hohen Stromwerten. Macht diese Erscheinung auch bei Spannungszeigern nicht viel aus, so ist sie sehr unangenehm bei Stromzeigern.

Man war daher bemüht, die quadratische Gesetzmäßigkeit der Skala zu ändern und sie möglichst der linearen zu nähern. Dies gelingt leicht, wenn man außer der konstanten Kraft der Feder noch die Schwerkraft auf das bewegliche System wirken läßt.

Man erreicht dies durch ein kleines Übergewicht, das man dem Systeme gibt, und wodurch die Feder eine gewisse Vorspannung erhält.

Auch zur Konstruktion von Steuerapparaten ist das Prinzip der Drehstrommeßinstrumente angewendet worden, und haben sich jene recht gut bewährt.

Die große Empfindlichkeit der Drehfeldmeßgeräte führte dazu, einen Isolationsprüfer unter Benützung des ihnen zugrunde liegenden Prinzipes zu bauen, der die Prüfung nicht im Betriebe befindlicher Leitungsteile mit der Betriebsspannung gestattet. Er stellt gewissermaßen einen Leistungszeiger dar, dessen Stromwicklung für sehr kleine Ströme eingerichtet ist. Seine Schaltung ist aus Abb. 48 zu ersehen.

Die Spannungswicklung wird direkt an die Betriebsspannung angeschlossen, und zwar durch die beiden mit *NN* bezeichneten Klemmen. Die zu prüfende Leitung verbindet man mit der mit *L* bezeichneten Klemme, während man die Klemme *E* an Erde oder an die andere Leitung legt, je nachdem man die Isolation einer Leitung gegen Erde oder beider Leitungen gegeneinander messen will.

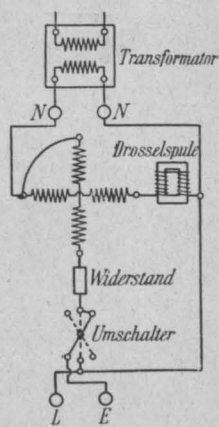


Abb. 48.

An dem Instrumente befindet sich ein Umschalter, der in der ersten Stellung den Isolationsstromkreis unterbricht. Der Zeiger muß dann auf Null stehen, wenn im Instrumente selbst kein Isolationsfehler vorhanden ist.

In der zweiten Stellung des Umschalters wird die Betriebsspannung gemessen, wozu die Voltskala dient.

In der dritten Stellung erhält man den Isolationswiderstand, und zwar direkt in Kiloohm, wenn am Instrument die normale Spannung vorhanden ist. Bei abweichender Spannung benutzt man eine am Deckel des Instrumentes befindliche Tabelle, aus der sofort der entsprechend geänderte Isolationswiderstand entnommen werden kann.

Für den Fall, daß die vorhandene Netzspannung nicht direkt zur Messung benutzt werden darf, oder daß die Messung bei erhöhter Spannung erfolgen soll, ist dem Instrumente ein kleiner Transformator beigegeben (Abb. 49), dessen Übersetzungsverhältnis den Forderungen entsprechend gewählt ist. Er wird mit zwei Klemmen an das Netz und mit den beiden anderen an den Isolationsmesser angeschlossen.

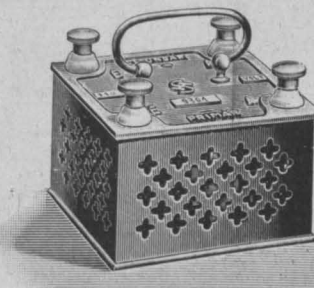


Abb. 49.

Auch die Schaltbrettinstrumente nach dem Prinzip des Ferraris'schen Drehfeldes sind in weiten, für die Praxis genügenden Grenzen in ihren Angaben von der

Periodenzahl und der Kurvenform des sie durchfließenden Wechselstromes unabhängig.

Ebenso wichtig wie gute Meßinstrumente sind aber auch gute und zuverlässige Transformatoren.

So bieten die Stromtransformatoren neben anderen Vorteilen auch den, daß sie die Herausführung starker Schienen auf die Schalttafel überflüssig machen, und daß die Meßgeräte für ganz kleine Stromstärken eingerichtet werden können.

Um aber überhaupt Transformatoren in Verbindung mit Meßinstrumenten anwenden zu können, muß man sicher sein, daß sie dieselben nicht etwa verschlechtern, daß durch sie die Abhängigkeit von der Periodenzahl nicht vergrößert wird, und daß in ihrer Nähe fließende Starkströme keine merklichen Änderungen der Proportionalität zwischen Primärstrom und Sekundärstrom hervorbringen.

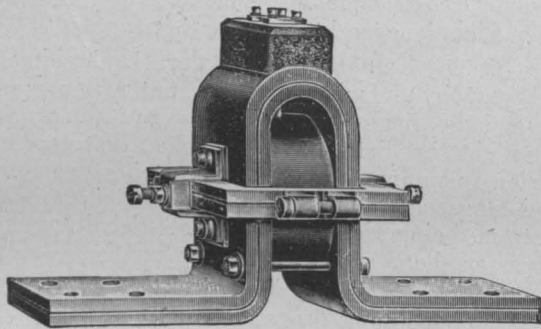


Abb. 50.

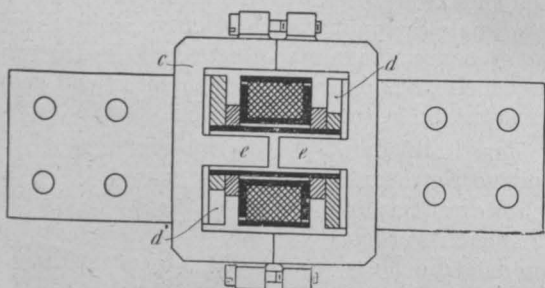
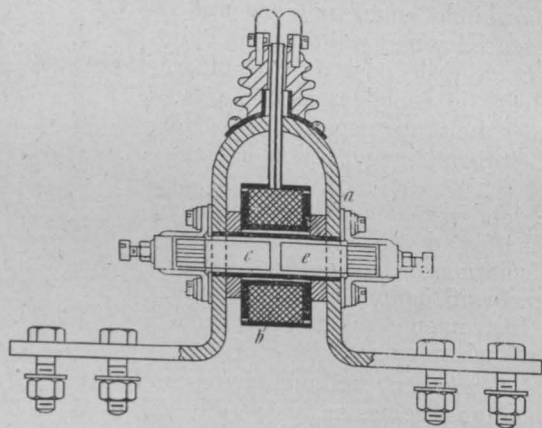


Abb. 51.

Diese beiden Nachteile sind in vollkommen befriedigender Weise bei den Stromtransformatoren, (Abb. 50) vermieden. Über ihren Aufbau gibt Abb. 51 Aufschluß. Die Windungsebene der Sekundärspule *b* ist hier, was auf den ersten Blick paradox erscheint, zu der primären Stromschleife *a* vertikal angeordnet. Die Vermittlung zwischen beiden wird durch einen vollkommen geschlossenen Eisenkörper gebildet. Der Eisenkörper besteht aus zwei E-förmigen Teilen *c*, deren mittlere Stege *e e* die runde Sekundärspule tragen, während sie das

Material der primären Stromschleife parallel zu deren Windungsebene scheinbar gleichmäßig durchsetzen. Der Strom fließt also gleichmäßig an den beiden Seiten der Eisenkerne vorüber, ohne sie zu magnetisieren.

Drängt man jedoch durch passende Einschnitte *d d* den Strom von der einen Seite immer mehr auf die andere, so wird eine Magnetisierung hervorgerufen, die der Differenzwirkung beider Stromteile proportional ist.

Diese Wirkung kann man durch Vertiefung der Einschnitte beliebig verstärken, bis man für einen bis in die Mitte reichenden Einschnitt das Maximum erhält.

Da auf die Sekundärspule nur Kraftlinien wirken können, die die mittleren Stege *e e* durchsetzen, so zeigen diese Transformatoren keine Beeinflussung von außen. Bei Transformatoren für kleine Stromstärken erübrigt sich eine derartige Einrichtung, da bei ihnen die Gefahr der Einwirkung äußerer Ströme kaum vorhanden ist.

Mindestens ebenso bedeutende Vorteile wie die Verwendung der Stromtransformatoren bietet diejenige von Spannungstransformatoren. Ist es doch unser Bestreben, so viel wie möglich von der Schalttafel jegliche Hochspannung fern zu halten und die Apparate und Schalter, die nun einmal von hochgespannten Strömen durchflossen werden müssen, weit ab von jener, gegen unbefugte Berührung gesichert, anzubringen. Dies ist umso nötiger, da man heutzutage teilweise mit Betriebsspannungen von 10.000 und mehr Volt arbeitet und diese hohen Spannungen weitgehende und möglichst vollkommene Schutzmaßnahmen für das Leben der Angestellten bedingen. Die nachstehend angeführten Spannungstransformatoren genügen in hohem Maße diesen Anforderungen, was vornehmlich der hervorragenden Anwendung der Porzellanisolierung zu verdanken ist. Denn nach allgemeiner Erfahrung ist gutes Porzellan das einzige technische Material, das selbst den höchsten Spannungen widersteht.

Abb. 52 zeigt Ihnen einen derartigen Spannungstransformator in geschlossenem Zustande. Er ist für 3000:120 Volt bestimmt. In Abb. 53 ist ein Drehstromtransformator für 15.000:120 Volt abgebildet. Bei allen diesen Transformatoren ist die Hochspannungsspule nicht nur auf einen Porzellankörper gewickelt, sondern auch vollständig in Porzellan eingekapselt.

Durch Ausfüllung der Zwischenräume mit einer geeigneten Isoliermasse im Vakuum, bilden Spule und Mantel ein untrennbares Ganzes, dessen Isolation die denkbar beste ist.

Wie schon früher erwähnt, ist es für die gesamte Elektrotechnik von größter Wichtigkeit, vor Inangriffnahme des Baues eines elektrischen Meßapparates, eines Transformators, einer Dynamomaschine u. s. w. über die magnetischen Eigenschaften des hiebei zu verwendenden Stahles oder Eisens informiert zu sein. Diese Information entnehmen wir der Hysteresisschleife, d. h. einer Kurve, die angibt, wie sich die Zahl der pro cm^2 in einem Stücke Eisen oder Stahl induzierten Kraftlinien (*B*) mit der Stärke und dem Verlauf der sie hervorruhenden magnetisierenden Kraft (*H*) ändert. Wir erhalten also durch die Hysteresisschleife Auskunft über die größte Zahl von Kraftlinien, die in einer Stahl- oder Eisensorte erzeugt werden kann, und über die Feldstärke, die hiezu vonnöten ist.



Abb. 52.

Ferner läßt sie erkennen, wie groß die Remanenz des in Frage stehenden Materialies ist, d. h. wie viel Kraftlinien in ihm zurückbleiben, nachdem die magnetisierende Kraft zu wirken aufgehört, nachdem diese wieder auf Null zurückgegangen ist. Auch unterrichtet sie uns über die Größe der vorhandenen Koerzitivkraft, nämlich über die Feldstärke, die zur Vernichtung der Remanenz erforderlich ist. Endlich kann ihr entnommen werden, wie viel Watt es bedarf, um eine bestimmte Stahl- oder Eisenmasse einem oder einer Reihe magnetischer Zyklen zu unterwerfen, wie sie durch die Hysteresisschleife wiedergegeben werden, und wie sie unter anderem beim Betriebe jeder Dynamomaschine und jedes Transformators auftreten.

Abb. 54, 55, 56, 57 stellen nun derartige Hysteresisschleifen dar. Außer den vorerwähnten Punkten ist aus ihnen, wenn man die ausgezogenen mit den gestrichelten Kurven vergleicht, zu entnehmen, daß bei weichem Eisen (siehe Abb. 56 die gestrichelte Kurve) durch sorgsames Ausglühen die Magnetisierbarkeit erhöht und die Koerzitiv-

relative Vergleiche der magnetischen Eigenschaften verschiedener Materialien, sondern auch die Ermittlung der sie in magnetischer Hinsicht charakterisierenden Werte in absolutem Maße. Außerdem muß ein derartiger Apparat, der dem in der Praxis stehenden Elektrotechniker dienen soll, direkte Ablesung besitzen und ein leichtes, einfaches und zuverlässiges Arbeiten gestatten, so daß er auch in den Händen gänzlich ungeübter Beobachter in kurzer Zeit die gesuchten Angaben mit für die Praxis genügender Genauigkeit lie-

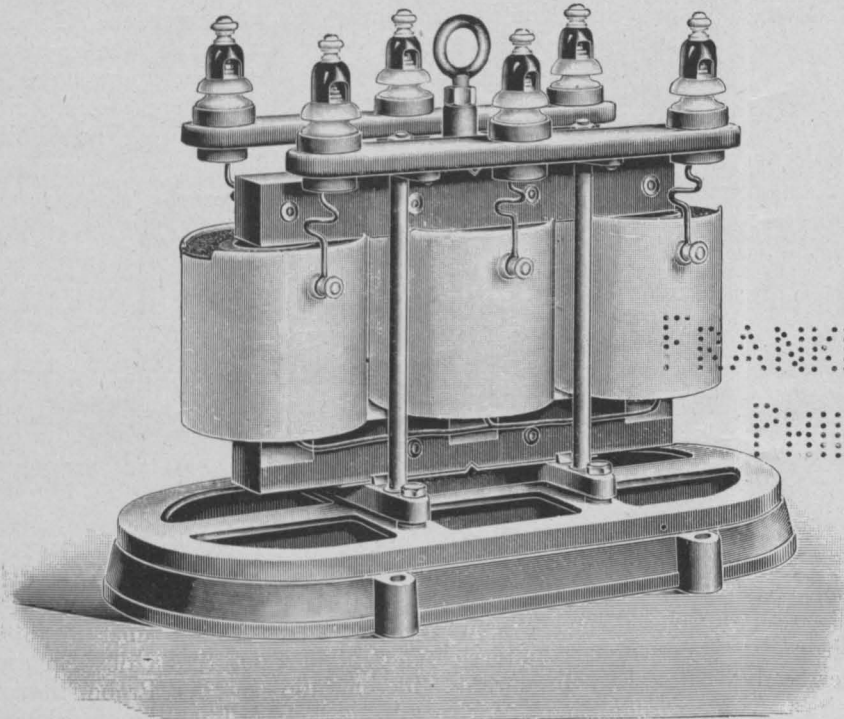


Abb. 53.

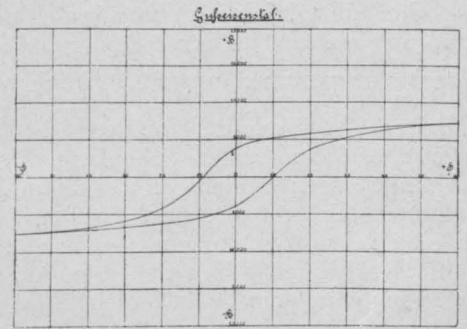


Abb. 54.

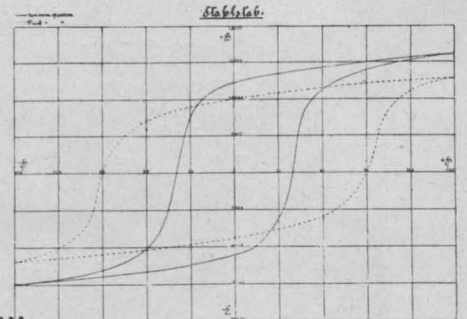


Abb. 55.

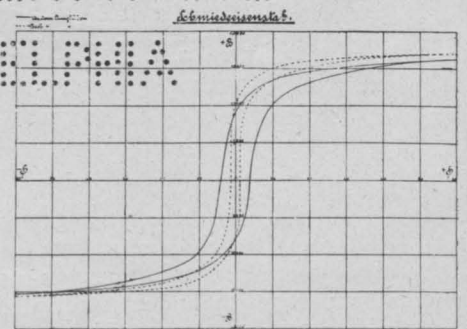


Abb. 56.

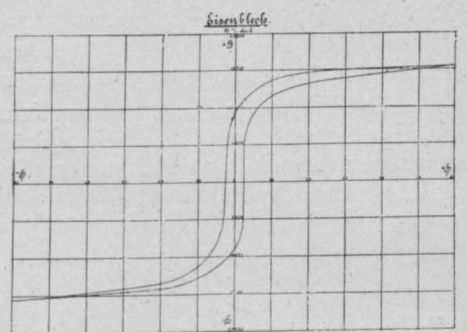


Abb. 57.

kraft vermindert wird. Das Gleiche geschieht auch mit der zur Vollendung eines Zyklus erforderlichen Wattzahl. Das Eisen hat durch das Ausglühen eine Verbesserung seiner magnetischen Eigenschaften erfahren, denn es ist das Bestreben des Elektrotechnikers, bei seinen Transformatoren, Dynamomaschinen u. s. w. eine hohe Wirkung unter Aufwendung von möglichst wenig Eisen und möglichst geringer elektrischer Energie zu erzielen. Wie Abb. 55 erkennen läßt, bewirkt das Härten des Stahles eine Verminderung seiner Magnetisierbarkeit und eine Erhöhung seiner Remanenz und Koerzitivkraft. Da die Elektrotechnik den Stahl fast ausschließlich zur Herstellung permanenter Magnete verwendet und deren Brauchbarkeit hauptsächlich davon abhängt, daß sie den ihnen einmal erteilten Magnetismus dauernd und unverändert bewahren — hat dieser einen recht hohen Betrag, so wird man gewiß darüber nicht ärgerlich sein — so nimmt man gerne mit einem weniger kräftigen Magneten vorlieb, wenn dieser sich nur auf die Dauer als konstant erweist.

Zur Aufnahme dieser Hysteresisschleifen sind eine Reihe von Verfahren und Vorrichtungen vorgeschlagen worden, aber nur ein ganz geringer Teil von ihnen genügt den zu stellenden Anforderungen und gestattet, nicht nur

fert. Alle diese Anforderungen erfüllen in weitgehendem Maße zwei Apparate, die magnetische Wage von du Bois und ein von Herrn Dr. Koepsel konstruierter und auf Grund neuerer Erfahrungen und Fortschritte auf diesem Gebiete verbesserter Apparat, welcher letzteren wir hier näher betrachten wollen. Abb. 59 zeigt ihn in äußerer Ansicht, während Abb. 58 seine innere Einrichtung erkennen läßt.

Der Apparat stellt eine Umkehrung des bekannten Deprez d'Arsonval-Galvanometers dar. Während wir bei diesem eine bewegliche Spule in einem konstanten Magnetfeld sich bewegen lassen und aus der Ablenkung, die sie hier durch die zwischen dem Felde und dem in ihr fließenden Strome auftretende drehende Wirkung erfährt, die

Stärke des letzteren bestimmen, lassen wir bei der Koepsel'schen Vorrichtung die bewegliche Spule von einem konstanten Strome durchfließen und schließen aus den Ablenkungen, die ihr von dem sie umgebenden magnetischen Felde erteilt werden, auf dessen jeweilige Stärke. Dieses wird gebildet aus dem zu untersuchenden Eisen- oder Stahlstabe, den eine Magnetisierungsspule umgibt, und dessen Enden in einem halbkreisförmigen Eisenjoch mittels eiserner Klemmbacken und messingener Schrauben befestigt sind. Das Eisenjoch besitzt in seiner Mitte einen schmalen zylindrischen Ausschnitt, in dem die bewegliche Spule schwingt. Auf den beiden Schenkeln dieses Joches, dessen Querschnitt gegen denjenigen des zu untersuchenden Stabes verhältnismäßig groß ist, sind, wie aus Abb. 58 ersichtlich, noch einige Drahtwindungen angebracht. Zweck derselben ist, die Kraftlinien, die die stromdurchflossene Magnetisierungsspule in dem Joch erzeugt, zu vernichten, so daß die Ablenkungen der beweglichen Spule nur dem in dem zu prüfenden Stabe hervorgerufenen Magnetismus zuzuschreiben und nicht etwa teilweise jenen Kraftlinien zu

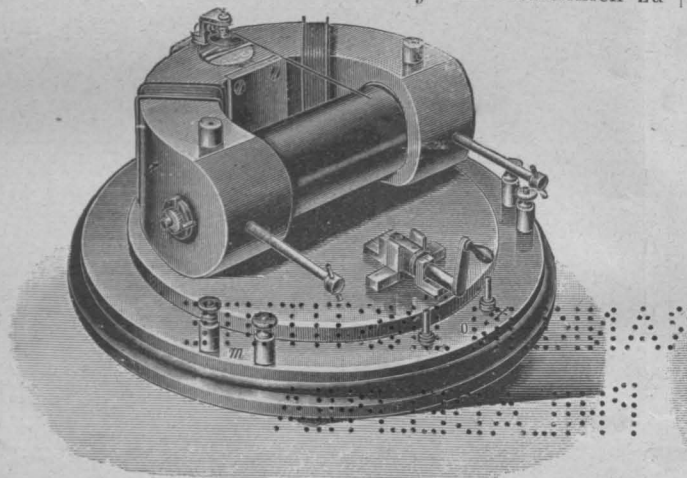


Abb. 58.

verdanken sind, die die Magnetisierungsspule in das Joch sendet. Letztere ist nun so gewickelt, daß wir ihre Feldstärke in absolutem Maße erhalten, wenn wir die sie durchfließenden Ampère mit hundert multiplizieren. Verwenden wir zur Messung des Magnetisierungsstromes eines der früher besprochenen Milli-Ampèremeter in Verbindung mit einem Nebenschluß von $\frac{1}{9}$ Ohm — jeder Teilstrich bedeutet dann 0.01 Amp. — so können wir direkt die Feldstärke ablesen, die auf den zu untersuchenden Stab einwirkt.

Der Hilfsstrom in der beweglichen Spule beträgt wenige Hundertstel Ampère. Seine Größe ergibt sich aus einer auf dem Apparat verzeichneten Konstanten und dem Querschnitte der Probe. Es ist

$$i \text{ (Ampère)} = \frac{\text{Konstante}}{cm^2}$$

Zur bequemeren Handhabung des Apparates hat man denselben mit zwei Regulierwiderständen, drei Trockenelementen und einigen Anschlußklemmen auf einem Brette zu einer Schaltung vereinigt, wie Abb. 59 zeigt. Verbindet man noch mit dieser Schaltung zwei bis drei Akkumulatoren, ein Milli-Ampèremeter nebst einem $\frac{1}{9}$ Ohm und einem zweiten Präzisions-Stromzeiger für die Einstellung des Hilfsstromes, so ist die Schaltung gebrauchsfertig. Das zweite Milli-Ampèremeter ertübrigt sich, wenn man eine

geeignete Umschaltvorrichtung in Benutzung nimmt, die gestattet, das Milli-Ampèremeter abwechselnd an das $\frac{1}{9}$ Ohm und in den Kreis der beweglichen Spule zu schalten. Vor Beginn der Untersuchung ist noch darauf zu achten, daß der Apparat so aufgestellt wird, daß seine Angaben nicht durch benachbarte, fremde Magnetfelder beeinflusst werden können. Man muß daher auch das oder die Milli-Ampèremeter in einiger Entfernung von ihm anordnen und ihn so ausrichten, daß auch der Erdmagnetismus keine Einwirkung auf ihn ausüben kann. Letzteres erreicht man dadurch, daß man durch die bewegliche Spule allein Strom schiebt, ehe sich die Probe im Apparate befindet, und letzteren so dreht, daß sein Zeiger keine Ablenkungen aus der Nulllage erfährt. Ist der Apparat orientiert, sind alle Verbindungen ordnungsgemäß gemacht, der Strom in der beweglichen Spule der Vorschrift entsprechend einreguliert, und hat man den zu untersuchenden Stab oder das Bündel Eisenbleche, das man prüfen will, mittels Klemmbacken und Schrauben in der Magnetisierungsspule befestigt, so kann mit der Untersuchung begonnen werden. Zur Aufnahme einer Hysteresisschleife wird man sich zuerst die höchste Feldstärke mit Hilfe des Regulierwiderstandes einstellen — für die Prüfung von Stahl genügt es in weitaus den meisten Fällen mit einem Felde von 150 Einheiten zu

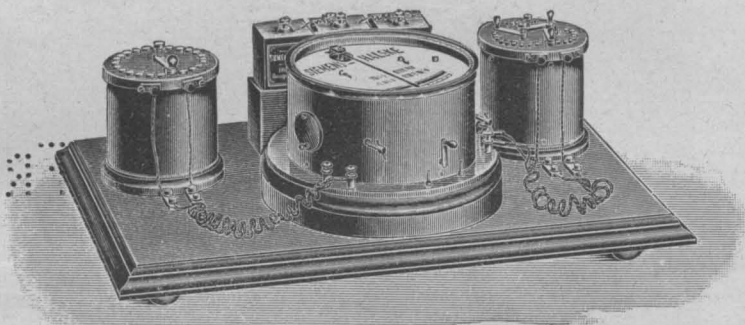


Abb. 59.

beginnen, für weiches Eisen sind fast immer 60 Einheiten ausreichend — am Milli-Ampèremeter sich über die Stärke des Feldes unterrichten und an der Skala des Apparates die Kraftlinienzahl ablesen, die in der Probe induziert worden sind. Man geht alsdann allmählich zu kleineren Feldstärken über und nimmt bei jeder derselben die erwähnten beiden Ablesungen vor. Ist man bei der Feldstärke Null angelangt, so kommutiert man durch Drehen der an der Vorderseite des Apparates sichtbaren Kurbel (siehe Abb. 58) den Magnetisierungsstrom und beobachtet jetzt bei zunehmenden Feldstärken, die man bis zu dem Maximalbetrage ansteigen läßt, mit dem man vorher begonnen. Alsdann verringert man wieder die Feldstärken, kommutiert beim Strome Null und geht wieder auf den Maximalbetrag des Feldes. Auf diese Weise hat man die Unterlagen gewonnen, die zum Aufzeichnen der das betreffende Material charakterisierenden Hysteresisschleife vonnöten.

Die für die einzelnen Feldstärken gefundenen Kraftlinienzahlen weichen nur in sehr geringem Maße von den absoluten Werten ab, wie sie z. B. mit Hilfe der ballistischen Methode im geschlossenen Joch gewonnen werden, deren Anwendung im Fabriklaboratorium viel zu umständlich und zeitraubend sein würde, und deren Stelle hier mit Vorteil der Koepsel'sche Apparat einnimmt, der für die Zwecke der Praxis vollständig genügt.