Wissenschaftliche Beilage

zum Jahresbericht der

Königlichen Ober-Realschule

in Gleiwitz.

Ostern 1892.

Ein Gang durch die elektrische Ausstellung in Frankfurt a/M.

1891.

Von

Professor Dr. Haussknecht.

REALGYMNASIUM DÜSSELDORF BIBLIOTHEK

1892. Programm No. 213 (22).

Gleiwitz.
Neumann's Stadtbuchdruckerei.

99e/4 (1892)

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Inhalts-Verzeichnis.

I. Einleitung.

Bedeutung elektrischer Ausstellungen . . . . . Seite 3.
Entstehung, Messung und Arbeitsvermögen des elektrischen Stromes . . . » 5.

II. Die Erzeugung der Elektricität.

Kessel- und Maschinenhaus; Motoren . . . . . Seite 8.
Gleichstrom, Wechselstrom und Drehstrom . . . . . » 9.
Die Fernleitung elektrischer Ströme . . . . . » 11.
Die Dynamomaschinen und die elektrischen Centralen der Frankfurter Ausstellung . . . . . » 12.

III. Die Verwendungen der Elektricität.

Elektrische Beleuchtung . . . . . Seite 19.
Telegraphie und Telephonie . . . . . » 20.
Wissenschaftliche Instrumente . . . . . » 23.
Das Bergwerk . . . . . » 24.
Elektrochemie . . . . . » 24.
Elektromotoren und elektrische Eisenbahnen . . . . . » 26.
Die elektrischen Kraftübertragungen . . . . . » 28.

UNIVERSITÄTS- UND LANDESBIBLIOTHEK DÜSSELDORF

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Ein Gang durch die elektrische Ausstellung in Frankfurt a./M.

von

Professor Dr. Haussknecht.

(Zwei Vorträge, gehalten am 2. und 11. Dezember 1891 im Gewerbe-Verein zu Gleiwitz.)

I. Einleitung.

Etwas mehr als 10 Jahre sind verflossen, seitdem die erste elektrische Ausstellung stattfand und die Räume des Pariser Industrie-Palastes füllte, welche noch in der Mitte unseres Jahrhundertes zu der Aufnahme einer ganzen Weltausstellung genügt hatten. So bedeutend waren die Fortschritte, welche die Elektricitätslehre und ihre Anwendungen in kaum einem Menschenalter gemacht hatten. Im Jahre 1881 waren erst vier Jahre seit der Verbesserung des Telephons durch Graham Bell und drei Jahre seit der ersten elektrischen Beleuchtung einer öffentlichen Strasse verstrichen. Um dieselbe Zeit hatte Edison nach längeren, mühsamen Arbeiten die elektrischen Glühlampen erfunden, über welche fortwährend die unglaublichsten Nachrichten in die Oeffentlichkeit gelangten. Die gebildete Welt verfolgte alle Fortschritte auf dem Gebiete der Elektricität mit der grössten Aufmerksamkeit, und darum hätte man keinen günstigeren Zeitpunkt für eine internationale Ausstellung finden können, die dem grösseren Publikum die Wunder zeigen sollte, welche die Elektricität zu vollbringen vermochte. Wissenschaft und Technik waren in gleicher, staunenerregender Weise vertreten und der Laie, welcher das Zauberwort Elektricität meist mit einer gewissen Ehrfurcht vernommen hatte, wähnte sich durch das glänzende Lichtmeer, das Tausende von Glüh- und Bogenlampen ausstrahlten, und durch die auf Telephonen seinem Ohre zugeführte Musik geradezu in das Land der Märchen versetzt. Der Erfolg dieser Ausstellung war so durchschlagend, dass schon i. J. 1882 in München und i. J. 1883 in Wien ähnliche Unternehmungen ins Leben gerufen wurden. In München erregte namentlich der Versuch, die Kraft eines 57 Kilometer entfernten Wasserfalles auf elektrischem Wege zu übertragen, das allgemeinste Interesse, obwohl der erzielte Nutzeffekt nur gering war. Die Wiener Ausstellung zeichnete sich durch einen noch bedeutenderen Umfang und durch noch blendendere Lichtwirkungen als ihre Vorgängerinnen aus, überdies aber durch eine elektrische Eisenbahn von $1^1/_2$ Kilometer Länge und ein elektrisches Boot, das vermittelst Akkumulatoren (Sammelbatterieen) auf der Donau sich bewegte.

Seitdem sind 8 Jahre dahin gegangen, und die Elektrotechnik hat sich zu einem angesehenen und wichtigen Zweige der Industrie entwickelt, welcher einen immer grösseren Einfluss auf unser wirtschaftliches Leben gewinnt, dessen Bedeutung man aber ohne gewisse Vorkenntnisse kaum völlig erfassen kann. Dadurch nehmen elektrische Ausstellungen, zum Teil wenigstens, den Charakter von Fachausstellungen an, wie dies in Frankfurt a. M. in der That schon deutlich

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

hervortrat. Kunst-, Gewerbe-, Gartenbau- und landwirtschaftliche Ausstellungen sowie ähnliche Unternehmungen wirken durch die auf ihnen vorgeführten Gegenstände meist unmittelbar auf unsere Sinne ein und knüpfen fast immer in irgend einer Weise an unsere Erfahrungen, Kenntnisse und Wünsche an. Denn wer erfreute sich nicht an dem Anblicke prächtiger, lieblich duftender Blumen, kunstvoller Gemälde und herrlicher Bildwerke? Wer bewunderte nicht die kostbaren Erzeugnisse des Gewerbefleisses, welche dazu bestimmt sind, unsere Wohnungen zu schmücken und unser Heim behaglicher zu machen? Die Elektrotechnik verfügt über solche Hilfsmittel leider nicht. Kleine, unscheinbare Apparate, allerdings auch grosse, riesenhafte Maschinen, welche sich in geheimnisvoller Weise drehen, und vor allen Dingen unentwirrbare Scharen von Drähten, welche sich trennen und wieder vereinigen, führt sie dem Beobachter vor, welcher sein Wissen bereichern will, dies aber nur durch ernste Arbeit erreicht. Häufig ist bloss das Unwesentliche der unmittelbaren, sinnlichen Wahrnehmung zugänglich, und allein der Geist vermag die einzelnen, getrennten Teile zu einem geschlossenen Ganzen zu vereinigen. So sind mancherlei Vorkenntnisse unerlässlich, wenn man erfolgreich den Wirkungen jener rätselhaften Naturkraft nachspüren will, welche nach Goethes Ausspruch »das durchgehende, allgegenwärtige Element ist und welche man sich unbefangen als Weltseele denken kann.« Aus diesem Grunde hatte der Vorstand der Frankfurter Ausstellung in dankenswerter Weise dafür Sorge getragen, dass täglich allgemein verständliche Vorträge über die Quellen und die Anwendungen der Elektricität gehalten wurden. Ebenso muss rühmend hervorgehoben werden, dass zahlreiche Aussteller besondere Vertreter beauftragt hatten, den Besuchern die eingehendste Auskunft zu erteilen. Solche Verhältnisse rechtfertigen es wohl, dass wir auf eine erschöpfende Behandlung des Stoffes verzichten und den freundlichen Leser nur zu einem Gange durch die Ausstellung einladen, um dabei die bemerkenswertesten Maschinen und Anlagen zu besprechen und die wichtigsten Fortschritte hervorzuheben.

Worin lag nun eigentlich der Schwerpunkt der Frankfurter elektrischen Ausstellung? wird man fragen. Keinesweges, wie vielleicht manche annehmen möchten, in den Lichtwirkungen, so glänzend und überraschend sie auch gewesen sind. »Das elektrische Licht ist nur der Lockvogel«, — sagt ein hervorragender Elektrotechniker —, »mit dem das Publikum für die Elektricität gewonnen werden soll; gutes und billiges Licht haben wir schon in mancherlei Form; viel wichtiger ist die Gewinnung einer Kraftquelle, welche Grosses und Kleines mit gleicher Leichtigkeit leisten kann.« Dass sich dazu die Elektricität in hervorragender Weise eignet und dass man sie zu solchen Zwecken unter gewissen Bedingungen sogar aus der Ferne herbeiholen kann, hat die Frankfurter Ausstellung unwiderleglich nachgewiesen, und darin beruht ihr bleibender Wert.

Die Fernwirkungen der Elektricität hatten von jeher die Aufmerksamkeit der Menschen ganz besonders in Anspruch genommen, namentlich seitdem Gauss und Weber im Jahre 1833 die augenblickliche Mitteilung des Gedankens auf weite Strecken durch den Telegraphen ermöglicht hatten. Trotzdem wurden die kühnsten Erwartungen übertroffen, als es Graham Bell im Jahre 1877 durch sein verbessertes Telephon gelang, auch die menschliche Stimme auf grosse Entfernungen zu übertragen. Aber geradezu unglaublich klang es, dass die Elektricität auch schwere, mechanische Arbeiten, zu denen man bis dahin den Dampf, das Wasser und die Luft herangezogen hatte, mit Leichtigkeit sollte leisten können, und noch dazu an entlegenen Orten, zu denen man sie durch einige dünne Drähte geführt hatte. Da Schall und Licht feine Formen der Energie darstellen, so gelang ihre Uebertragung vermittelst der Elektricität, welche man ja bis vor kurzem als eine »gewichtslose Flüssigkeit« anzusehen gewohnt war, selbstverständlich ohne grosse Schwierigkeiten. Zur Bewältigung beträchtlicher, mechanischer Arbeiten mussten indessen noch besondere

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Vorrichtungen und Maschinen ersonnen werden, und gerade diese fesseln auf der Frankfurter Ausstellung unsere Aufmerksamkeit in erster Reihe. Um sie aber völlig zu verstehen, werden wir uns zuvor noch einen Augenblick mit den Haupteigenschaften des elektrischen Stromes zu beschäftigen haben.

Entstehung, Messung und Arbeitsvermögen des elektrischen Stromes.

Gewöhnlich unterscheidet man zwei Hauptarten der Elektricität, die ruhende oder statische, welche durch Reibung erzeugt wird und uns allen von der Elektrisiermaschine her zur Genüge bekannt ist, sowie die fliessende oder dynamische, welche zuerst durch Berührung mehrerer Metalle mit verschiedenen Flüssigkeiten in den sogenannten galvanischen Elementen hervorgebracht wurde, und welche man auch mit dem Namen Berührungs-Elektricität oder elektrischer Strom bezeichnet. Ausserdem entstehen elektrische Ströme durch blosses Erwärmen zweier, aneinander gelöteter Metalle. Diese Thermo-Elektricität war in der Ausstellung durch die sehr wirksame und bequem zu benutzende Thermosäule von Gülcher vertreten, in welcher 50 Nickel-Antimon-Elemente durch eine Gasflamme erwärmt wurden. Die bei weitem wichtigste Quelle, namentlich starker, elektrischer Ströme ist jedoch die mechanische Arbeit, wobei man eine grössere Zahl von Kupferdrähten in der Nähe kräftiger Magnete oder Elektromagnete in Drehung versetzt. Die Maschinen, welche zur Umwandlung von mechanischer Arbeit in Elektricität oder, besser gesagt, von mechanischer Energie in elektrische Energie bestimmt sind, heissen dynamo-elektrische Maschinen oder Dynamomaschinen oder kurz Dynamos. Die von ihnen hervorgebrachte Elektricität besitzt alle Eigenschaften der aus den Elementen stammenden und kann wie diese zu den verschiedensten Arbeiten benutzt werden. Innerhalb des Stromkreises kann sie Wärme und Licht erzeugen sowie chemische, mechanische und physiologische Wirkungen hervorbringen; ausserhalb des Stromkreises, also in der Ferne, kann sie Magnetismus hervorrufen, andere elektrische Ströme anziehen oder abstossen, und, was wohl das Seltsamste ist, neue elektrische Ströme schaffen oder, wie der wissenschaftliche Ausdruck lautet, »inducieren«.

Die Entstehung der elektrischen Ströme durch mechanische Arbeit lässt sich auch ohne Kenntnis der Induktionsgesetze durch einen einfachen Vergleich veranschaulichen. Man denke sich ein gewöhnliches Flügelrad, wie es bei den zur Lufterneuerung bestimmten Ventilatoren benutzt wird, in ein Gehäuse eingeschlossen und in Drehung versetzt. Dann wird dadurch die Luft von der einen Seite der Flügel fortgesaugt und nach der anderen hin gepresst. Auf der ersteren entsteht folglich eine Luftverdünnung, auf der letzteren eine Luftverdichtung und somit eine Luftströmung in einer ganz bestimmten Richtung, welche von dem Sinne abhängt, nach der sich die Flügel des Ventilators drehen. In ähnlicher Weise wird der elektrische Strom in den Dynamomaschinen hervorgerufen, welche aus zwei Teilen bestehen, einem Magneten oder einem Elektromagneten und aus dem sogenannten »Anker«, einem Cylinder, einem Ringe oder einer Trommel, welche in bestimmter Richtung mit Kupferdraht umwickelt sind. Der Anker entspricht dem Flügelrade und erzeugt durch seine Umdrehung den elektrischen Strom; der Magnetismus entspricht der Luft. Ebensowenig wie der Ventilator in einem luftleeren Raume eine Luftströmung erzeugen kann, ebensowenig kann der Anker bei Abwesenheit von Magnetismus einen elektrischen Strom hervorbringen. Wie ferner die Drehung des Ventilators eine Vermehrung bezw. eine Verminderung der Luftdichtigkeiten an den beiden Seiten des Flügelrades zur Folge hat, so bewirkt die Drehung des Ankers eine Anhäufung bezw. eine Verminderung des »elektrischen Fluidums« an den beiden Enden des Kupferdrahtes. Luft-Verdichtung und -Verdünnung suchen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

sich naturgemäss auszugleichen; in derselben Weise streben auch die Anhäufung und die Verminderung des elektrischen Fluidums, oder, wie man gewöhnlich sagt, die positive und die negative Elektricität nach einem Ausgleiche. Dieser ist um so stärker, je grösser der Spannungs-Unterschied zwischen der verdichteten und der verdünnten Luft, oder der Unterschied zwischen den elektrischen Spannungen an den beiden Drahtenden ist. Die Fähigkeit, eine elektrische Spannung hervorzurufen, heisst elektromotorische Kraft. Bei dem Ventilator wächst der Spannungs-Unterschied der verdichteten und der verdünnten Luft mit der Drehungsgeschwindigkeit, mit der Zahl der Flügel und mit der Dichtigkeit der umgebenden Luft. Ebenso nimmt die elektromotorische Kraft mit der Geschwindigkeit des Ankers, mit der Windungszahl der Kupferdrähte und mit der Stärke des »magnetischen Feldes« zu, das die Magnetpole umgiebt. Verbindet man nun die Drahtenden mit einander, so fliesst die Elektricität von den Stellen der höheren Spannung nach denen der niedrigeren, ebenso wie ein Wasserstrom von einem höher gelegenen Punkte nach einem tiefer gelegenen geht. Es entsteht ein elektrischer Strom, dessen Stärke um so beträchtlicher ist, je grösser die elektrische Spannung oder die elektromotorische Kraft und je geringer der Widerstand ist, den er in den Leitern und den etwa eingeschalteten Apparaten erfährt, wie ja auch die Stärke eines durch ein Rohr fliessenden Wasserstromes um so erheblicher ist, je grösser das Gefälle, d. h. der Spannungs-Unterschied zwischen Anfang und Ende und je kleiner die Reibung der Wasserteilchen aneinander und an den Röhrenwänden ist. So führt diese Betrachtung mit Leichtigkeit zu dem Grundgesetze der elektrischen Ströme, welches schon 1827 von Ohm aufgefunden wurde, und nach welchem die Stromstärke der elektromotorischen Kraft direkt, dem Widerstande aber umgekehrt proportional ist. Der mathematische Ausdruck dieses wichtigen Gesetzes lautet: $S = E/W$, wenn E die elektromotorische Kraft, W den Widerstand und S die Stromstärke d. h. diejenige Menge Elektricität bedeutet, welche in der Zeiteinheit durch den Querschnitt des Leiters fliesst.

Jede dieser drei Grössen lehrt die Wissenschaft in absolutem Mass, d. h. in Zeit-, Längen- und Masseneinheiten ausdrücken, und damit eine Beziehung der Elektricität zu den übrigen Naturkräften herstellen. Die absolute Einheit des elektrischen Widerstandes bezeichnet man nach dem Beschlusse des pariser elektrischen Kongresses vom Jahre 1881, und dem Entdecker des Grundgesetzes für die elektrischen Ströme zu Ehren, als ein »Ohm«. Ein Ohm ist gleich dem Widerstande einer Quecksilbersäule von 1,06 m Länge und 1 qmm Querschnitt bei 0° C. Die absolute Einheit der Stromstärke wird ein »Ampère« genannt, zur Erinnerung an jenen französischen Physiker, welcher den Nachweis lieferte, dass der Magnetismus ein Parallelismus elektrischer Ströme sei. Ein Ampère ist derjenige elektrische Strom, welcher in einer Minute 10,44 ccm Knallgas von 0° und 760 mm Druck entwickelt, d. h. in einer Minute 5,6 mg Wasser zersetzt oder 67,1 mg Silber niederschlägt. Auch durch seine Wärmewirkung kann man ihn erklären; ein Ampère ist derjenige Strom, welcher in einem Leiter von einem Ohm Widerstand in einer Sekunde 0,24 Gramm-Calorieen, d. h. soviel Wärme entwickelt, als zur Erwärmung von 0,24 g Wasser um 1° C. erforderlich ist. Die absolute Einheit der elektromotorischen Kraft heisst ein »Volt« und bedeutet diejenige elektromotorische Kraft, welche in einem Leiter von einem Ohm Widerstand einen Strom von einem Ampère Stärke erzeugt.

Die Aehnlichkeit, welche zwischen den elektrischen und den Wasserströmen obwaltet, ist durch die vorstehenden Ausführungen jedoch noch keinesweges erschöpfend behandelt. Die von der Natur gebotenen Wasserströme werden vielfach zur Leistung bestimmter Arbeiten benutzt. Unter der Arbeit einer Kraft versteht man aber in der Wissenschaft die Ueberwindung eines Widerstandes auf jedem Punkte eines Weges, wobei die Kraft in Kilogrammen und der Weg in

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Metern gemessen wird. Als Arbeitseinheit wird demnach ein Meterkilogramm angesehen, oder diejenige Arbeit, welche imstande ist, ein Kilogramm einen Meter hoch zu heben. Eine Arbeit von 120 Meterkilogrammen (120 mkg) ist demnach eine solche, welche 120 kg um einen Meter oder 1 kg um 120 m oder 40 kg um 3 m oder 6 kg um 20 m hebt. Die Arbeit ist, kurz ausgedrückt, das Produkt aus Kraft mal Weg. Nimmt bei einem bestimmten Arbeitsvorrate die Last zu, so muss folglich der Weg abnehmen und umgekehrt; aber das Produkt beider ändert sich nicht.

Die Arbeit, welche ein Wasserfall zu leisten vermag, ist selbstverständlich proportional der fallenden Wassermenge und der Fallhöhe, so dass die doppelte Wassermenge bei gleicher Fallhöhe auch die doppelte Arbeit verrichtet, und dass bei gleicher Wassermenge eine dreifache Fallhöhe auch eine dreifache Arbeit erzeugt. In gleicher Weise vollbringt ein elektrischer Strom eine Arbeit, welche durch das Produkt aus Stromstärke und elektromotorischer Kraft gemessen wird. Ein Strom von der Spannung E Volt und der Stärke S Ampère liefert eine Arbeit von S·E Volt-Ampère oder von S·E Watt, wie man zur dankbaren Erinnerung an den Erfinder der Dampfmaschine vielfach sagt. Wenn eine Dynamomaschine in einer bestimmten Zeit z. B. 200000 Volt-Ampère erzeugt, so bedeutet dies, dass sie in dieser Zeit einen Strom von 100 Volt Spannung und 2000 Ampère Stärke oder von 25000 Volt Spannung und 8 Ampère Stärke oder drei Ströme von je 50 Volt Spannung und etwa 1400 Ampère Stärke liefert. Würde indessen der zuerst erwähnte Strom in der doppelten Zeit wie der zweite hervorgebracht, so wäre die Leistung der Dynamomaschine nur halb so gross wie im zweiten Falle. So muss jede Arbeit auch nach der Zeit beurteilt werden, innerhalb welcher sie erzeugt wird, und deshalb misst man sie in der Technik allgemein nach Sekunden-Meter-Kilogrammen oder auch nach Pferdestärken, von denen jede gleich 75 Sekunden-Meter-Kilogramm ist. Denn ein Pferd, welches mässig angestrengt wird, leistet in jeder Sekunde durchschnittlich eine Arbeit von 75 mkg. Will man nun die Frage beantworten, wieviel Sekunden-Volt-Ampère eine Pferdestärke hervorbringen kann, so hat man die Zahl 75 einfach mit 9,81, der Beschleunigung der Schwerkraft zu multiplicieren, und erhält dadurch 736 Sekunden-Volt-Ampère, so dass zur Erzeugung der oben erwähnten 200000 Sekunden-Volt-Ampère vermittelst einer Dynamomaschine eine Dampfmaschine von ungefähr 300 Pferdestärken erforderlich ist.

Würde man umgekehrt einen Strom von 200000 Sekunden-Volt-Ampère in diese Dynamomaschine leiten, so würde sie sich drehen und dabei eine mechanische Arbeit von 300 Pferdestärken entwickeln. Sie würde dann als elektromagnetische Kraftmaschine oder Elektromotor wirken.

Um eine Vorstellung von der Grösse der elektrischen Masseinheiten zu geben, sei erwähnt, dass ein Daniellsches Element eine elektromotorische Kraft von etwa 1,1 Volt, einen Widerstand von 2,8 Ohm und eine Stromstärke von 0,4 Ampère hat. Eine 16-kerzige Glühlampe von Siemens & Halske besitzt 200 Ohm Widerstand und 100 Volt Spannung, verlangt also einen Strom von 0,50 Ampère. Ströme von mehr als 200 Volt Spannung müssen als gefährlich bezeichnet werden. In Amerika wendet man seit einiger Zeit Ströme von 2000 Ampère zur Hinrichtung von Verbrechern an.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

II. Die Erzeugung der Elektricität.

Kessel und Motoren.

Wenden wir uns nunmehr zu der Besprechung der Frankfurter Ausstellung selber, so muss zunächst erwähnt werden, dass der amtliche Katalog — des leichteren Nachschlagens wegen — die Namen der Aussteller in alphabetischer Reihenfolge aufzählte. Die ausgestellten Gegenstände hatte man indessen je nach ihrer Beschaffenheit zu einzelnen Gruppen zusammengefasst und diese in besonderen Gebäuden untergebracht. Aus diesem Grunde wird sich unsere Aufmerksamkeit zuvörderst auf die Erzeugung und dann auf die Verwendungen der Elektricität richten müssen.

Die Erzeugung der Elektricität erfolgte in Frankfurt ausschliesslich auf mechanischem Wege vermittelst 48 Dampfmaschinen sowie 24 Gas- und Petroleum-Motoren, von denen die ersteren etwa 3700, die letzteren 300 Pferdestärken darstellten. Zu diesen 4000, an Ort und Stelle hervorgebrachten Pferdestärken kamen noch 400 bis 500, welche von dem Palmengarten, von der benachbarten Stadt Offenbach und von Lauffen am Neckar übertragen wurden, sowie etwa 400, welche in den Akkumulatoren oder Sammelbatterieen aufgespeichert waren. Es standen also im Ganzen ungefähr 5000 Pferdestärken zur Verfügung.

Die zur Erzeugung des Dampfes erforderlichen 22 Kessel waren in einem besonderen Kesselhause untergebracht und besassen eine grosse Heizfläche (von nahezu 3000 qm), weil eine schnelle Dampfentwickelung ein Haupterfordernis für den Betrieb von Dynamomaschinen ist. Vertreten waren Cornwallkessel und ganz besonders Röhrenkessel verschiedener Konstruktionen, auch ein solcher mit ausziehbaren Röhren. Die Feuerung verlangte täglich 5 volle Eisenbahnwagen Steinkohle, stand jedoch durchaus nicht auf der Höhe der Technik; denn sonst hätten die im Freien weilenden Besucher nicht fortwährend durch herabfallende Russflocken belästigt werden können.

Vor dem Kesselhause dehnte sich die Maschinenhalle in einer Länge von 127 m und einer Breite von 27 m aus; durch einen mächtigen Kuppelbau von 40 m Höhe war sie in der Mitte in zwei Längsschiffe geteilt. Die in ihr aufgestellten Kraftmaschinen waren teils stehend, teils liegend angeordnet, meist mit 2 oder 3 Cylindern versehen und für Expansion eingerichtet. Die Steuerung erfolgte durch Schieber oder Ventile. Alle Motoren liessen die erheblichen Fortschritte des Maschinenbaues auf diesem Gebiete in den letzten 10 Jahren deutlich erkennen. Die Uebertragung der Kraft auf die Dynamomaschinen erfolgte zum Teil durch Riemen, weil es auf diesem Wege möglich ist, durch einen langsam laufenden Motor eine andere Maschine in schnellen Gang zu versetzen. Macht der Motor beispielsweise 250 Umdrehungen in der Minute und ist

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

seine Riemenscheibe viermal so gross als diejenige der Dynamomaschine, so vollführt die letztere 1000 Touren in der Minute und liefert somit einen starken Strom. Da die Riemen jedoch leicht gleiten und dadurch einen unregelmässigen Gang der elektrischen Maschinen hervorrufen, welcher sich bei Lichtanlagen durch ein sehr unangenehmes Zucken der Lampen kundgiebt, so hatte man meistens die Motoren direkt mit den Dynamomaschinen gekuppelt und statt der eincylindrigen Dampf- und Gaskraftmaschinen vielfach Zwillingsmaschinen gewählt. Diese zeichnen sich nämlich durch einen nahezu gleichmässigen Gang aus, weil die eine immer am schnellsten geht, wenn die andere ihre geringste Geschwindigkeit besitzt. Auch das Streben nach Raumersparnis sowie nach grösserer Sicherheit und Vereinfachung des Betriebes haben wesentlich zur Einführung der direkten Kuppelung beigetragen, wodurch es gelungen ist, Dynamomaschinen von geringer Umdrehungszahl und doch kräftiger Wirkung zu erbauen.

Gleichstrom, Wechselstrom und Drehstrom.

Auf der Frankfurter Ausstellung waren sowohl Gleichstrommaschinen, welche früher entschieden bevorzugt worden waren, als auch Wechselstrommaschinen vorhanden, welche neuerdings durch den sogenannten Mehrphasenstrom oder Drehstrom wieder an Bedeutung gewonnen haben. Eigentlich liefern alle Dynamomaschinen Wechselströme, weil in den Drahtspulen ihres Ankers bei der Annäherung an einen Magnetpol stets der entgegengesetzte Strom von demjenigen bei der Entfernung entsteht. Bei den Gleichstrommaschinen sind deshalb die Wechselströme erst durch eine besondere Vorrichtung in gleich gerichtete verwandelt worden. Obgleich danach der Bau von Wechselstrommaschinen einfacher als der von Gleichstrommaschinen erscheint, so hat man doch lange Zeit die letzteren vorgezogen, weil gleichgerichtete Ströme sich zu allen Zwecken, zur Beleuchtung, zur mechanischen Arbeit, zur chemischen Zersetzung und namentlich zur Aufspeicherung in den Akkumulatoren ohne weiteres eignen.

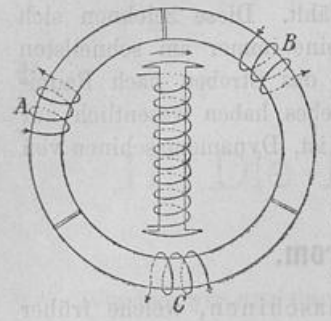
Die grösseren Dynamomaschinen besitzen zur Erzeugung des Stromes nicht einen, sondern mehrere »Feldmagnete« und heissen dann mehrpolig. Nach der gegenseitigen Lage der Magnetpole und des Ankers unterscheidet man gewöhnlich zwei Hauptgruppen von Gleichstrommaschinen. Die Innenpolmaschinen enthalten die Feldmagnete mit ihren 4 bis 12 Polen im Inneren eines Ringes in sternförmiger Anordnung und werden am besten direkt mit dem Motor gekuppelt, weil dadurch der aussen um die Magnete rotierende Ring eine grosse Umfangsgeschwindigkeit erhält. Die Bürsten, welche den Strom abnehmen, liegen dann unmittelbar auf der Aussenseite des abgedrehten Ringes auf, wodurch zugleich eine beträchtliche Raumersparnis herbeigeführt wird. Die Aussenpolmaschinen zeigen entweder die Grammesche Form, bei welcher die Pole kreisförmig um den Ring- oder Trommelanker angeordnet sind, oder die Kappsche Form, bei welcher die Polfortsätze über den Anker greifen, oder den Hopkinsonschen Manchester-Typus, bei welchem das Magnetsystem zu einem stehenden Viereck vereinigt ist.

Die Wechselstrommaschinen, bei denen der Strom in einer Sekunde oft mehrere hundert Male wechselt, erfreuen sich jetzt wieder einer grossen Beachtung, weil die Wechselströme sich in eigentümlichen Apparaten, den »Transformatoren« oder »Umformern«, auf welche wir später noch näher eingehen werden, leicht in Ströme von höherer Spannung, aber geringerer Stärke oder in Ströme von geringerer Spannung, aber grösserer Stärke umwandeln lassen. Die jetzige Bevorzugung der Wechselstrommaschinen hat deshalb den Bau von primären Dynamomaschinen für hohe Spannungen zur Folge gehabt. Bei den beiden grossen Wechselstrommaschinen der Ausstellung, derjenigen von Siemens & Halske in Berlin und derjenigen der Aktien-Gesellschaft

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

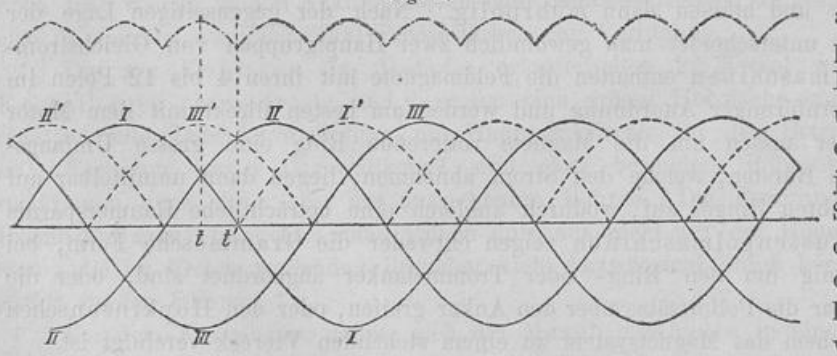
Helios in Ehrenfeld-Köln, ist der Anker aussen feststehend, während der Magnetkranz innen drehbar ist. Die Stromabnahme findet deshalb auch nicht aussen durch Schleifkontakte, sondern im Inneren an einer Stelle statt, welche vor jeder zufälligen Berührung geschützt ist, wie dies die Gefährlichkeit hochgespannter Ströme erfordert.

Fig. 1.



Der durch die Frankfurter Ausstellung allgemein bekannt gewordene mehrphasige Wechselstrom oder Drehstrom lässt sich durch die folgende Betrachtung auf einfache Weise erläutern. Wenn man auf einem eisernen Ringe (Fig. 1)*) mehrere (n) Spulen anbringt, die gleich weit von einander entfernt sind, und den Ring sich vor den Polen eines starken Elektromagneten schnell drehen lässt, so werden in den n Abteilungen Wechselströme erzeugt, weil die Annäherung an den Nordpol die entgegengesetzten Ströme wie die Entfernung von demselben hervorruft. Jeder dieser Ströme besitzt seine grösste Stärke, wenn die betreffende Spule gerade vor einem Pole vorbeigeht; er wird aber zu Null, wenn die Spule sich in der Mitte des Magneten, in der »Indifferenzzone« befindet, in welcher kein Magnetismus vorhanden ist. Bei weiterer Drehung kehrt jeder Strom sein Zeichen um, bis er vor dem zweiten Pole das entgegengesetzte Maximum erlangt und beim zweiten Vorbeigehen an der Indifferenzzone abermals zu Null wird. Von da bis zur Rückkehr zum ersten Pole steigt seine Stärke wieder beständig. Eine eingehendere Untersuchung liefert den Nachweis, dass man den Verlauf jedes dieser Ströme durch eine Wellen- oder Sinuslinie darstellen kann, dass die Anfänge dieser Kurven aber um $^1/_n$ der Wellenlänge gegen einander verschoben sind, da jede Spule nach $^1/_n$ der Umdrehungszeit in die Lage der vorhergehenden gelangt. Diese Einzelströme haben also gleiche Stärke und gleiche Periode, sind jedoch in ihrem zeitlichen Verlaufe, in ihrer Phase, von einander verschieden. Daher der Name Mehrphasenstrom oder mehrphasiger Wechselstrom.

Fig. 2.



Wendet man 3 Spulen an, so erhält man den Dreiphasenstrom (Fig. 2), dessen Einzelströme einen Phasenunterschied von 120° gegen einander besitzen. Wird derjenige Strom, welchen die Spule A (Fig. 1) erzeugt, durch die Sinuskurve I dargestellt, so wird der Verlauf der beiden Ströme, welche die Spulen B und C hervorbringen, durch die Kurven II und III bezeichnet.

Diese Wechselströme zeigen das eigentümliche Verhalten, dass ihre algebraische Summe jeden Augenblick Null beträgt, dass also die Summe je zweier immer dem dritten Strome gleich, aber entgegengesetzt ist, wie unmittelbar aus der Figur hervorgeht, aber auch durch eine einfache Rechnung nachgewiesen werden kann. Bedeutet S die grösste Stärke eines Einzelstromes und α

*) Die zur Erläuterung benutzten Figuren sind von der Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure bereitwilligst überlassen worden, wofür auch an dieser Stelle noch der verbindlichste Dank ausgesprochen sei.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

die Elongation oder Winkelentfernung, welche die Spule **A** von dem einen Pole in einem gegebenen Augenblicke besitzt, so haben die 3 Einzelströme in diesem Zeitpunkte die Stärken

$$S_1 = S \sin \alpha,\ S_2 = S \sin (\alpha - 120^0) \text{ und } S_3 = S \sin (\alpha - 240^0).$$

Folglich ist die Gesamtstärke

$$S_1 + S_2 + S_3 = S\ [\sin \alpha + \sin (\alpha - 120^0) + \sin (\alpha - 240^0)].$$

Da nun $\sin x + \sin y = 2 \sin \frac{x+y}{2} \cos \frac{x-y}{2}$ ist, so ergiebt sich $\sin (\alpha - 120^0) + \sin (\alpha - 240^0) = 2 \sin (\alpha - 180^0) \cos 60^0$. Ferner ist $\sin (\alpha - 180^0) = - \sin \alpha$ und $\cos 60^0 = \sin 30^0 = 1/2$, mithin $\sin (\alpha - 180^0) + \sin (\alpha - 240^0) = - \sin \alpha$ oder

$$S_1 + S_2 + S_3 = S\ (\sin \alpha - \sin \alpha) = \text{Null}.$$

Wenn man diese Ströme wie gewöhnlich mit einander verbinden wollte, so würden sie sich vollständig aufheben. Man schaltet deshalb denjenigen Strom, welcher die entgegengesetzte Richtung wie die beiden anderen hat, umgekehrt wie diese. Dann sind zur Fortleitung dieser drei Ströme auch nur drei Drähte nothwendig, weil der in der einen Leitung fliessende Strom durch die beiden anderen zur Stromquelle zurückgeführt wird. Die Gesamtstärke der drei Ströme ist dann aber nicht mehr jeden Augenblick die gleiche. Man ermittelt sie, wenn man wegen der soeben besprochenen, eigentümlichen Schaltungsweise, diejenigen Teile der Kurven, welche unterhalb der Wagerechten, der Abscissen-Achse, liegen, nach oben als Spiegelbilder (punktiert gezeichnet) abträgt und an jedem Punkte die drei Höhenlinien, die Ordinaten, zusammenzählt. Die dadurch entstehende, durch — · — · — bezeichnete Kurve, deren Periode nur $1/6$ der Periode der ursprünglichen Wechselströme ausmacht, giebt ein Bild des Dreiphasenstromes. Seine grösste Stärke besitzt der Gesamtstrom, wenn einer der drei Einzelströme seinen höchsten Wert S erreicht. Dann ist, z. B. bei t (Fig. 2), der Wert jedes der beiden anderen gleich $S \sin 30^0$ oder $1/2$ S, die Summe aller dreier mithin gleich 2 S. Seine geringste Stärke erhält der Gesamtstrom, wenn einer der ursprünglichen Ströme gleich Null ist, z. B. in t^1; dann ist jeder der beiden anderen gleich $S \sin 60^0 = S\ 1/2\sqrt{3}$, also ihre Summe gleich 1,732 S. Die gesamte Stromstärke schwankt oder »pulsiert« zwischen 1,732 S und 2 S oder mithin um etwa 14 Prozent. Der mehrphasige Wechselstrom ist von Tesla, v. Dolivo-Dobrowolski und Haselwander aufgefunden worden. Den Namen »Drehstrom« hat er davon erhalten, dass er eine Magnetnadel in eine beständige Drehung versetzt, während der Gleichstrom sie in einem bestimmten Sinne ablenkt, Wechselströme aber bewirken, dass sie abwechselnd nach rechts und nach links ausschlägt.

Die Fernleitung elektrischer Ströme.

Die Fernleitung elektrischer Ströme, welche zu den bemerkenswertesten Erscheinungen auf der Frankfurter Ausstellung zählte, ist wegen des Widerstandes, welchen jeder Leiter darbietet, in wirtschaftlicher Beziehung nur dann durchführbar, wenn ihre Stärke gering, ihre Spannung aber hoch ist. Soll z. B. ein Luftstrom durch eine Röhre fliessen, so muss an ihren Enden ein Druckunterschied geschaffen werden, und die Luftmenge ist um so grösser, je grösser der Druckunterschied und je kleiner die Reibung, also je weiter die Röhre ist. In derselben Weise ist die Stärke S eines elektrischen Stromes um so bedeutender, je grösser die elektromotorische Kraft E und je geringer der Widerstand W ist. Diese Wahrheit, welche unter dem Namen des Ohmschen Gesetzes (S. 6) bekannt ist, lautet in mathematischer Form: Stromstärke = $\frac{\text{Elektromotorischer Kraft}}{\text{Widerstand}}$ oder $S = E/W$. Der Widerstand W eines Leiters ist aber 1) proportional einer Constanten c, welche man den »specifischen Leitungswiderstand« nennt, und welche von der

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

chemischen Beschaffenheit des Leiters abhängt, 2) proportional seiner Länge l und 3) umgekehrt proportional seinem Querschnitt q. Folglich ist $W = cl / q$. Will man also einen Strom, welcher durch einen Kupferdraht von 100 m Länge geht, durch einen Kupferdraht von 200 m Länge leiten, so muss bei unveränderter Spannung oder elektromotorischer Kraft auch der Widerstand derselbe bleiben, d. h. wegen der Verdoppelung der Länge muss man auch den Querschnitt verdoppeln, aber nicht allein für die zweiten 100 m, sondern auch für die ersten. Folglich wird das Kupfergewicht vervierfacht. Wird die Länge auf 1000 m ausgedehnt, so muss für jedes 100 m der Querschnitt 10 mal, also das Kupfergewicht $10^2 = 100$ mal so gross werden. Der Materialverbrauch wächst mithin im quadratischen Verhältnis der Länge; und dies ist der Grund, weshalb diejenigen elektrischen Centralen, welche mit niedriger Spannung, aber grosser Stromstärke arbeiten, ihre Wirksamkeit höchstens über ein Gebiet von 800 m Halbmesser ausdehnen können, wenn die Kosten für das Leitungsnetz nicht zu beträchtlich werden sollen.

In einer Wasserleitung findet längs der Röhrenwand bekanntlich ein Druckverlust wegen der Reibung statt, welche der Wasserstrom unter Arbeitsleistung zu überwinden hat. In gleicher Weise bedingt bei einer elektrischen Anlage die Verlängerung des Leitersystems einen Spannungsverlust, der sich dadurch bemerkbar macht, dass ein Teil der elektrischen Energie in Wärme verwandelt wird. Die von dem Strome entwickelte Wärme hängt aber von dem Arbeitsvermögen desselben ab, welches, wie früher (S. 7) nachgewiesen, durch das Produkt aus Stromstärke mal elektromotorischer Kraft, also durch das Produkt $S \cdot E$, gemessen wird. Da nun nach dem Ohmschen Gesetze die elektromotorische Kraft gleich der Stromstärke mal dem Widerstande ist, so wird die von dem Strome erzeugte Wärmemenge auch durch das Produkt S^2W dargestellt. Mit anderen Worten, die Stromwärme oder der Energieverlust wächst mit dem Quadrate der Stromstärke, ist jedoch von der Spannung ganz unabhängig. Will man also elektrische Energie, welche durch das Produkt $S \cdot E$ bestimmt wird, auf weite Entfernungen hin leiten, so muss man dazu ausschliesslich Ströme von geringer Stärke, aber hoher Spannung benutzen. Nun liefern freilich die Dynamomaschinen meist umgekehrt Ströme von grosser Stärke und niedriger Spannung. Aber man besitzt in einem Apparate, welcher in der Wissenschaft Induktor oder Induktionsapparat und in der Technik Transformator oder Umformer genannt wird, ein vorzügliches Mittel, um niedrig gespannte Ströme in hochgespannte und umgekehrt zu verwandeln. Bei dieser Umwandlung wird nach dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft das Produkt S^2W oder $S \cdot E$ jedoch in keiner Weise vermehrt, das Arbeitsvermögen also durchaus nicht vergrössert. Mittels einer grossen Wassermenge von geringem Gefälle kann man unter Anwendung von Turbinen und Pumpen eine kleine Wassermenge zu einer grossen Höhe emporheben, ohne indessen dadurch das Arbeitsvermögen zu vermehren. Vielmehr findet nach dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft hier, wie bei der elektrischen Umformung, ein gewisser Verlust an nutzbarer Arbeit statt. Der letztere wird bei den elektrischen Anlagen dadurch wieder eingebracht, dass Dynamomaschinen für niedrige Spannung einfacher herzustellen und sicherer zu betreiben sind, als solche für Hochspannung.

Die Dynamomaschinen und die elektrischen Centralen der Frankfurter Ausstellung.

In dem grossen Maschinenraume hatte man die verschiedenen Dynamomaschinen absichtlich neben einander aufgestellt und einer jeden besondere Gebiete zur Versorgung mit Licht und Kraft

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

überwiesen, um alle Systeme leicht mit einander vergleichen zu können. Jede Anlage war somit zugleich als eine elektrische Centrale anzusehen.

Den westlichen Flügel der Hauptmaschinenhalle füllte die Centrale von Siemens & Halske in Berlin aus, also derjenigen Firma, welcher der bedeutendste Anteil an der Entwickelung der gesamten Elektrotechnik gebührt, und welche dieses Mal fast ein Viertel aller Ausstellungsgegenstände geliefert hatte. Voll Bewunderung betrachtete man die gewaltige Gleichstrommaschine, die grösste bis jetzt erbaute, welche als 10polige Innenpolmaschine konstruiert war und bei 65 Umdrehungen in der Minute einen Strom von 2200 Ampère und 150 Volt, also eine elektrische Energie von 330000 Volt-Ampère, hervorbrachte. Sie ging geräuschlos, fast unhörbar, und war mit einer Dreicylinder-Expansions-Dampfmaschine von Kuhn in Stuttgart gekuppelt, welche 450 effektive Pferdestärken entwickelte. Ein Teil des erzeugten Stromes diente unmittelbar zur Beleuchtung, ein anderer konnte in den Zeiten einer geringeren Beanspruchung, also besonders in den Vormittagsstunden, in einer Batterie von 168 Tudor-Akkumulatoren aufgespeichert werden, welche so mächtig war, dass sie 1850 Glühlampen während 5 Stunden speisen konnte. Diese Akkumulatoren oder sekundären Elemente, welche von der Aktiengesellschaft in Hagen ausgestellt waren, bestehen aus zwei Bleiplatten, die auf ihrer inneren, gerippten Fläche mit Bleioxyden bedeckt und von verdünnter Schwefelsäure umgeben sind, und erfüllen bei einem Elektricitätswerk denselben Zweck wie ein Gasometer bei einer Gasanstalt. In den Zeiten geringeren Verbrauches nehmen sie die überschüssige elektrische Energie auf, um sie während des gesteigerten Verbrauches, wenn die Leistungen der Dynamomaschinen nicht mehr genügen, an das Leitungsnetz wieder abzugeben. Ihr grösster Wert besteht jedoch darin, dass sie ein plötzliches oder vorübergehendes Versagen der Dynamomaschinen unschädlich machen. Ein dritter Teil des Stromes wurde einem Elektromotor zugeführt, auf dessen Welle zugleich noch eine Dynamomaschine angebracht war, welche bei der richtigen Umdrehungszahl einen Strom von 300 Volt erzeugte. Diese Doppelmaschinen haben die Aufgabe, niedriggespannten Gleichstrom in hochgespannten Gleichstrom oder hochgespannten Gleichstrom in niedriggespannten Gleichstrom unter entsprechender Aenderung der Stromstärke umzuwandeln und heissen deshalb Gleichstrom-Transformatoren. Der oben erwähnte Strom von 300 Volt Spannung diente zum Betriebe der elektrischen Eisenbahn zwischen der Ausstellung und dem Opernplatze. Ein zweiter Umformer setzte die Spannung von 150 Volt auf 70 Volt herab und lieferte dadurch die Zusatzspannung zum Laden der Akkumulatoren, deren Gesamtspannung bis auf 220 Volt steigen konnte.

Die Wechselstrommaschine von Siemens & Halske sollte wohl mehr einen Beweis von der Leistungsfähigkeit der Firma auch auf diesem Gebiete als ein Bild einer wirklichen Wechselstrom-Anlage geben. Sie lieferte hochgespannten Strom von 2000 Volt und 165 Ampère, also auch 330000 Volt-Ampère, bei 100 Umdrehungen in der Minute und erhielt ihren Antrieb von einer mit ihr direkt gekuppelten Zweicylinder-Dampfmaschine. Letztere war von der Maschinenfabrik Buckau erbaut worden und entwickelte 450 effektive Pferdestärken. Die riesenhafte Wechselstrommaschine, deren Durchmesser sich auf 4 m belief, wurde durch eine kleine Gleichstrommaschine erregt. Der hochgespannte und deshalb gefährliche Wechselstrom wurde entweder durch Wechselstrom-Transformatoren in niedrig gespannten Wechselstrom von grösserer Stärke verwandelt, oder er wurde in einen Wechselstrom-Gleichstrom-Umformer geleitet, d. h. in eine Wechselstrommaschine, welche mit einer Gleichstrommaschine durch eine gemeinsame Achse verbunden ist. Dadurch wurde der Wechselstrom von hoher Spannung in Gleichstrom von niedriger Spannung, aber grösserer Stärke umgewandelt. Das letztere Verfahren wird in der Wirklichkeit dann angewendet, wenn es nicht möglich ist, eine elektrische Centrale (Primär-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Station) inmitten einer volkreichen Stadt anzulegen, oder wenn eine ausserhalb der Stadt belegene Wasserkraft verwertet werden soll. Dann erzeugt man, wie z. B. bei dem Elektricitätswerk in Cassel, auf der Primär-Station hochgespannten Wechselstrom, leitet diesen nach der Stadt und verwandelt ihn auf einer oder mehreren Unter- (Sekundär-) Stationen durch Wechselstrom-Gleichstrom-Umformer in Gleichstrom von niedriger Spannung.

Ausser den besprochenen Dynamomaschinen und Motoren gewahrte man in dieser Abteilung der Siemens'schen Ausstellung noch mehrere Schaltbretter, die dazu dienen, den Gang und die Leistung sämmtlicher Maschinen von einer Stelle aus zu prüfen, ferner eine Fülle von Dynamomaschinen, Elektromotoren, Spannungs- und Strommessern. Allgemeine Bewunderung erregte ein Wechselstrom-Transformator, welcher Ströme von unglaublich hoher Spannung, 40000 Volt nämlich, hervorbrachte, und ein von Siemens Brothers in London angefertigtes Kabel, welches einen Strom von 30000 Volt Spannung aus der Maschinenhalle nach der Mainausstellung leitete. An der Verwendungsstelle angelangt, wurde der hochgespannte Strom durch Umformer wieder in einen niedrig gespannten zurückverwandelt, welcher dann zur Beleuchtung diente. Höchst überraschend waren die Versuche, durch welche die gewaltigen Lichtbogen gezeigt wurden, die so hohen Spannungen ihre Entstehung verdanken.

Der in der Maschinenhalle durch die Siemens'schen Maschinen erzeugte Strom wurde durch ein Kabelnetz sämtlichen Ausstellungsräumen der Firma, auch den in anderen Gebäuden befindlichen, sowie dem Haupteingange der Ausstellung, der grossen Restauration, einem Musikpavillon, dem Panorama, vier Läden der Installationsmusterhalle und dem Landungsplatze des Bootes Elektra zugeführt. Er wurde teils zur Beleuchtung, teils zur Krafterzeugung benutzt.

Einer der günstigsten Plätze in der Hauptmaschinenhalle, der Raum unter der kühn emporstrebenden Kuppel, war der bekannten Aktiengesellschaft »Helios« in Ehrenfeld-Köln überwiesen worden. Hier fand man die grösste der ausgestellten Wechselstrommaschinen, welche mit einer 600pferdigen Dampfmaschine der Aktiengesellschaft Pauksch in Landsberg a. d. W. direkt gekuppelt war. Nach dem lauten Brummen, welches sie beständig vernehmen liess, hätte man glauben mögen, dass sie die ihr aufgebürdete Arbeit nur widerwillig verrichtete, aber achtunggebietend musste man diese Arbeit doch nennen. Denn sie erzeugte einen Strom von 400000 Watt bei 2000 Volt Spannung, der zum Betriebe von zahlreichen Glühlampen, Bogenlampen und Elektromotoren auf dem Ausstellungsplatze ausreichte, und von dem überdies noch ein Teil durch eine besondere Anlage nach dem $3^1/_2$ km entfernten Palmengarten übertragen wurde. Der dorthin gesandte Anteil des Stromes genügte, um verschiedene Arbeitsmaschinen mit zusammen 20 Pferdestärken gleich 15000 Watt zu treiben und eine Lichtanlage mit 30000 Watt zu versorgen. Da die Spannung von 2000 Volt lebensgefährlich ist, so waren alle Teile, welche hochgespannten Strom führten, der zufälligen Berührung durch die Bedienungsmannschaften entzogen. In der Ausstellung selber wurde dieser Strom vor seiner Verwendung erst durch Umformer, die an geeigneten Stellen angebracht waren, auf eine Spannung von 72 bezw. 36 Volt erniedrigt. Nach dem Palmengarten wurde jedoch aus Gründen, welche früher (S. 11) entwickelt worden sind, nur hochgespannter Strom geleitet und erst dort durch Umformer auf die niedrige Spannung gebracht.

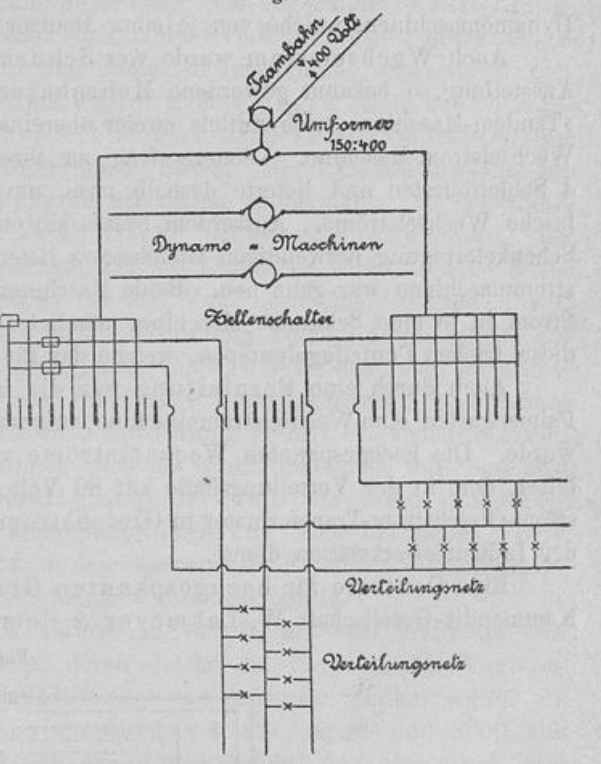
Eine zweite Wechselstrommaschine von 80000 Watt bei 2000 Volt Spannung und eine Gleichstrommaschine von 65000 Watt bei 110 Volt Spannung wurden durch eine 200pferdige Dampfmaschine getrieben, welche von den Gebrüdern Sulzer in Winterthur erbaut worden war. Die Gleichstrommaschine setzte einen Elektromotor in Bewegung, welcher — mit einer Centrifugalpumpe gekuppelt — das für den Wasserfall am Teiche erforderliche Wasser lieferte. Die Wechsel-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

strommaschine erzeugte einen Strom, welcher zur Beleuchtung der Maschinenhalle, namentlich ihres Hauptportales und der Kuppel, verwendet wurde. Die Helios-Ausstellung entfaltete eine gewaltige Lichtfülle und besass in dem grossartigen Bilde des Sonnengottes, das an der Rückwand angebracht war, einen wirkungsvollen Hintergrund.

Das östliche Ende der Maschinenhalle nahm eine dritte Weltfirma, die Kommanditgesellschaft Schuckert & Comp. in Nürnberg, ein, welche eine Centrale nach dem sogenannten Dreileiter-System unter Benutzung von Akkumulatoren vorführte (Fig. 3). Sie verfügte über zwei Dampfmaschinen, eine zu 100 Pferdestärken von der Nürnberger Maschinenbauanstalt und eine zu 270 Pferdestärken von Kuhn in Stuttgart-Berg. Die erstere trieb eine Schuckert'sche Flachringmaschine und der dadurch erzielte Strom wurde zum Laden von 136 Akkumulator-Zellen verwendet, welche dem Tudor-System angehörten und von der Aktiengesellschaft in Hagen in Westfalen ausgestellt waren. Ein besonderer Zellenschalter (Fig. 3) hatte die Aufgabe, durch automatisches Ein- oder Ausschalten von Zellen die Spannung an den Polen der Akkumulator-Batterie auf derselben Höhe zu halten, da die Spannung jeder einzelnen Zelle während des Ladens allmählich wächst und während des Verbrauches allmählich sinkt. Die Akkumulator-Batterie war von einer solchen Grösse, dass sie 860 Glühlampen von 16 Normalkerzen während 5 Stunden speisen konnte. Die grössere Dampfmaschine war mit einer 12poligen Schuckert'schen Flachringmaschine direkt gekuppelt und erzeugte dadurch einen Strom von 900 Ampère und 220 Volt, welcher zur Beleuchtung, zur Kraftübertragung und auch zum Laden der Akkumulatoren benutzt wurde, also den vollen Betrieb der Centrale allein übernehmen konnte. Beide Dynamomaschinen konnten überdies parallel geschaltet werden und dann ihre Ströme an die Sammelschienen eines Schaltbrettes führen. Ein Teil des von der kleineren Maschine gelieferten Stromes von 150 Volt wurde durch einen Umformer auf 400 Volt Spannung emporgebracht und dann zum Betriebe der Eisenbahn verwendet, welche nach der Main-Ausstellung führte (Fig. 3).

Fig. 3.



Die Eigentümlichkeit des Dreileitersystems besteht darin, dass man, wie z. B. bei den elektrischen Centralen in Berlin, zwei Dynamomaschinen von je 100 Volt Klemmenspannung hinter einander schaltet und ihren Strom, der nun 200 Volt Spannung hat, durch Gruppen von je zwei hinter einander geschalteten Glühlampen von je 100 Volt sendet. Dann beträgt die Spannung jedes Lampenpaares ebenfalls 200 Volt. Ausser den beiden Hauptleitungen, welche von dem positiven und dem negativen Pole der Dynamomaschinen ausgehen, ist noch eine dritte, die sogenannte Ausgleichsleitung, zwischen beiden vorhanden. Sie tritt dann in Wirksamkeit, wenn in den beiden, hinter einander geschalteten Gruppen eine ungleiche Anzahl von Lampen brennt; denn in diesem Falle führt sie die überschüssige Electricität der einen Abteilung nach den

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Maschinen zurück. Durch die Verdoppelung der Betriebspannung, welche das Dreileiter-System erlaubt, wird eine erhebliche Verminderung des Leitungsmaterials bewirkt, so dass bei der Versorgung eines Gebietes von 800—1000 m Radius mit Strom die Anlagekosten und die Verluste nur ebenso gross sind wie unter Anwendung des Zweileiter-Systemes bei einem Gebiete von 500—600 m Halbmesser.

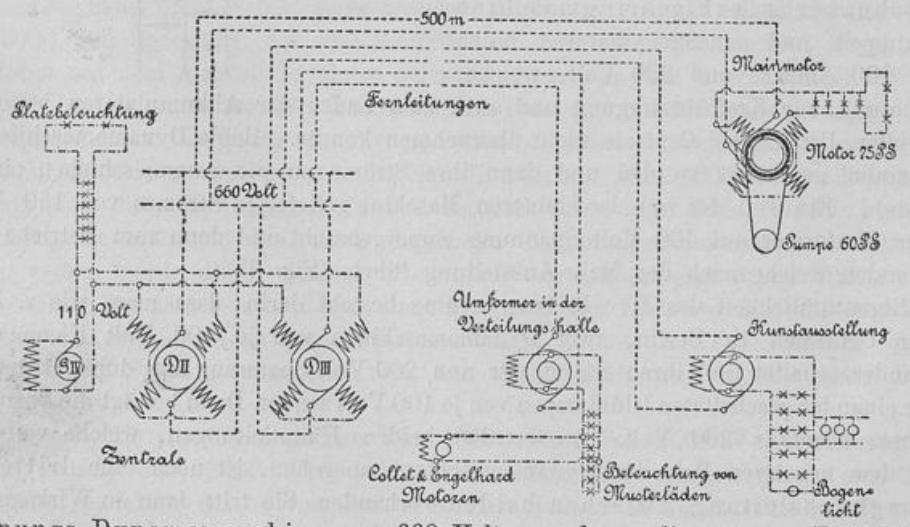
Hervorzuheben sind in der Schuckert'schen Ausstellung noch eine Dynamomaschine, welche mit einer 30 pferdigen Dampfmaschine von Haevel in Kiel gekuppelt war, und drei Dynamomaschinen, welche von je einer Deutzer Gaskraftmaschine getrieben wurden.

Auch Wechselstrom wurde von Schuckert erzeugt und zwar der durch die Frankfurter Ausstellung so bekannt gewordene Mehrphasen- oder Drehstrom. Eine 100 pferdige liegende »Tandem-Maschine« trieb mittels zweier übereinander laufender Riemen eine Gleichstrom- und eine Wechselstrom-Maschine. Letztere trug an ihrem Anker, einem Schuckert'schen Flachringe, 4 Schleifbürsten und lieferte deshalb zwei, um 90° gegen einander verschobene, sogenannte Teslasche Wechselströme. Ausserdem besass sie einen gewöhnlichen Commutator, welcher den zur Schenkelerregung notwendigen Gleichstrom lieferte; diese Verbindung von Gleich- und Wechselstrommaschinen war ganz neu. Beide Maschinen wirkten als Primär-Maschinen und sandten ihren Strom in je eine Sekundär-Maschine, nämlich einen Gleichstrom- bezw. einen Drehstrommotor; diese trieben Centrifugalpumpen, welche das für den Wasserfall am See erforderliche Wasser hoben.

Auch durch eine Fernleitung war die in Rede stehende Firma vertreten, indem sie im Palmengarten eine Wechselstrommaschine aufgestellt hatte, welche von einer Lokomobile getrieben wurde. Die hochgespannten Wechselströme von 1600 Volt wurden nach der Ausstellung geleitet, dort in der Verteilungshalle auf 80 Volt erniedrigt und schliesslich durch einen Wechselstrom-Gleichstrom-Transformator in Gleichstrom von 110 Volt umgewandelt, welcher zum Betriebe der Industriewerkstätten diente.

Eine Centrale für hochgespannten Gleichstrom, also etwas ganz Eigenartiges, bot die Kommandit-Gesellschaft W. Lahmeyer & Comp. in Frankfurt a. M. Sie verfügte über zwei

Fig. 4.



Hochspannungs-Dynamomaschinen zu 660 Volt, von denen die grössere (D II Fig. 4) 110 Ampère und die kleinere (D III Fig. 4) 70 Ampère erzeugte, und über eine Niederspannungs-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Dynamomaschine (GIV), welche einen Strom von 50 Ampère bei 110 Volt hervorbrachte. Die niedrig gespannte Elektricität diente zur Erregung des Magnetismus der Hochspannungs-Maschinen sowie zur Beleuchtung der Centrale und einiger benachbarter Räume (s. Fig. 4). Die Hochspannungs-Maschinen arbeiteten in Parallel-Schaltung auf Sammelschienen und hätten nicht bloss, wie die Niederspannungsmaschinen, eine Fläche von 800 m Radius mit Strom versorgen können, sondern ein Gebiet von 2000 m Halbmesser. Der hochgespannte Strom wurde drei Unterstationen zugeführt, von denen zwei je einen Umformer, die dritte aber eine sogenannte Kraft-Licht-Dynamo (s. u.) enthielt. Die erste Unterstation befand sich in der »Verteilungshalle« und erzeugte niedrig gespannten Strom, welcher zum Teil an Ort und Stelle zur Beleuchtung verwendet wurde, zum Teil jedoch zum Betriebe der Motoren der Firma Collet & Engelhard sowie zur Beleuchtung einiger Läden der Musterhalle diente. Der zweite Umformer stand in der Kunstausstellung und lieferte den zur Beleuchtung derselben erforderlichen Strom. Das Ueberraschendste der ganzen Anlage bestand jedoch darin, dass Lahmeyer an der dritten Unterstation, in der Mainausstellung, mit der hochgespannten Elektricität direkt einen Motor betrieb, der 75 Pferdestärken entwickelte, und dass dieser Motor zugleich als Umformer wirkte. Seine Welle trug nämlich, und zwar im Inneren des Motor-Ankers für 660 Volt, noch einen zweiten Anker, der von dem ersten sorgfältig isoliert war und eine eigene Wickelung besass, durch welche ein Strom von einem Sechstel der ursprünglichen Spannung, also von 110 Volt, aber von der sechsfachen Stärke erzeugt wurde. Der Motor trieb eine 60pferdige Centrifugalpumpe und lieferte gleichzeitig den Strom für 150 Glühlampen. Durch diese Einrichtung gelingt es, von derselben Maschine zugleich Kraft und Licht zu entnehmen, was bis dahin unmöglich war, und deshalb hat man eine solche Maschine treffend als Kraft-Licht-Dynamo bezeichnet. Allerdings ist die Befürchtung nicht unbegründet, dass die angewandte Isolierung nicht ausreichen werde, um die Vereinigung der hochgespannten und der niedrig gespannten Elektricität dauernd zu verhüten, und dass die erstere schliesslich den Commutator verbrennen werde.

Ausserdem hatte die Firma Lahmeyer & Comp. in der 10 km von Frankfurt entfernten Stadt Offenbach eine Primär-Station angelegt, durch welche die vorteilhafte Verwendung hochgespannter Gleichströme zur Fernleitung nachgewiesen werden sollte. In Offenbach wurde durch eine 60pferdige Lokomobile ein Strom von 22 Ampère und 2000 Volt hervorgebracht, der auf 6mm dicken Drähten nach der Ausstellung geführt und dort durch zwei Umformer in zwei Ströme von 115 Volt Spannung und 50 bezw. 300 Ampère Stärke umgewandelt wurde. Die Niederspannungsströme dienten zur Beleuchtung und zur Kraftübertragung. Zur Fernleitung wurde, tageweise mit dem hochgespannten Gleichstrome abwechselnd, auch dreiphasiger Wechselstrom verwendet, welcher in Offenbach durch Maschinen von Haselwander erzeugt wurde, und zu dessen Fortleitung noch ein dritter Draht angebracht worden war. Man darf deshalb wohl ohne Uebertreibung behaupten, dass die Lahmeyer'schen Maschinen und Versuche zu den bedeutungsvollsten der ganzen Ausstellung zählten.

Die Maschinenfabrik Esslingen hatte eine Centrale nach dem Fünfleiter-System ausgeführt, bei welcher eine 100pferdige Dampfmaschine eine 8polige Dynamomaschine trieb und dadurch einen Strom von 124 Ampère und 480 Volt hervorbrachte. Eine Ausgleichdynamo, welche 120 Volt lieferte, hatte die Aufgabe, Ungleichheiten, welche in der Belastung der einzelnen Leiter etwa auftreten sollten, wieder auszugleichen. Der Strom der ganzen Anlage diente zum Teil zur Beleuchtung, zum Teil zum Betriebe von kleineren Motoren sowie eines grösseren, 50pferdigen Elektromotors, welcher in der Pumpstation am Main aufgestellt war.

Durch eine künstlerische Anordnung zeichnete sich die Ausstellung von Gebrüder Naglo

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

in Berlin aus, welche eine dynamoelektrische Ring- und eine Trommelmaschine vorgeführt hatten, deren Ströme zur Beleuchtung der Eisenbahnhalle und des eigenen Ausstellungsplatzes Verwendung fanden.

Die Deutschen Elektricitäts-Werke (Garbe, Lahmeyer & Comp.) in Aachen brachten mehrere Dynamos, welche teils direkt mittels Dampf, teils sekundär mittels Elektricität getrieben wurden. Im Palmengarten hatten sie eine Dynamomaschine von 25 Pferdestärken aufgestellt, deren Strom nach der Ausstellung geleitet und dort zum Betriebe verschiedener Elektromotoren in der Seifenfabrik von Mouson & Comp. und in der Mühlenbau-Anstalt vorm. Gebrüder Seck benutzt wurde.

Die Berliner Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft, vormals L. Schwartzkopff, hatte eine Anzahl Dynamos, Elektromotoren, Dampfmaschinen, Petroleum- und Gasmotoren ausgestellt, welche ganz vorzüglich gearbeitet waren. Sie hatte die Beleuchtung der Halle für Wissenschaft und Medizin sowie des mit einem Personen-Aufzuge versehenen Aussichtsturmes übernommen. Ihr eigener Ausstellungsraum war mit Lampen, Kronleuchtern und Kandelabern der Aktien-Gesellschaft Schäffer & Walker in Berlin prächtig geschmückt.

Die bekannte Firma C. & E. Fein in Stuttgart war durch drei Dynamomaschinen vertreten, welche von Dampfmaschinen getrieben wurden, und durch eine Dynamomaschine, welche mit einer kleinen Hochdruck-Turbine gekuppelt war. Der dadurch hervorgebrachte Strom diente zur Beleuchtung der Halle für Telegraphie und Telephonie sowie der eigenen Ausstellung. In der letzteren lenkten besonders sechs rotierende Bogenlampen, welche an einem Elektromotor befestigt waren und in jeder Lage brannten, die allgemeine Aufmerksamkeit auf sich. Ueberdies waren zahlreiche Schaltvorrichtungen, Mess- und Kontrol-Instrumente vorhanden.

Fritsche & Pischon in Berlin führten eine Radanker-Dynamo vor, bei welcher zur Wickelung des Ankers an Stelle der sonst gebräuchlichen isolierten Kupferdrähte Eisenstäbe verwendet wurden, welche durch eine Luftschicht von einander getrennt waren und dem Anker die Gestalt eines Rades verliehen. Dadurch war ein besonderer Kern überflüssig und zugleich das Auftreten der Foucaultschen Ströme unmöglich gemacht worden. Ausserdem wirkte der Anker als Ventilator und verhütete somit die Erhitzung der Eisenstäbe. Diese Maschine war wegen ihres langsamen Ganges mit einer 50pferdigen Dampfmaschine direkt gekuppelt und lieferte bei 110 Volt 36000 Volt-Ampère.

Von den übrigen deutschen Ausstellern seien nur noch die Fabrik für Elektrotechnik in Bamberg, Kummer & Comp. in Dresden sowie Pokorny & Wittekind in Frankfurt a. M. erwähnt. Das Ausland war unter anderem durch Woodhouse & Rawson in London vertreten, welche eine Kingdon-Wechselstrommaschine für niedrige Spannungen im Betriebe hatten, und durch die Thomson-Houston International Electric Company in Boston, welche mittels einer grösseren Dynamomaschine verschiedene Bergwerksmaschinen betrieb, mit einer kleineren aber Bogen- und Glühlampen in Reihenschaltung speiste.

Endlich muss noch darauf hingewiesen werden, dass in einem besonderen Pavillon zahlreiche, genaue Zeichnungen und Photographieen von vielen, bereits ausgeführten Elektricitätswerken aufgehängt waren.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

III. Die Verwendungen der Elektricität.

Elektrische Beleuchtung.

Unter allen Anwendungen der Elektricität lenkt diejenige zur Lichterzeugung selbstverständlich am meisten die Aufmerksamkeit auf sich. Deshalb war die Frankfurter Ausstellung in ein wahres Lichtmeer getaucht, wie es vorher noch nie gesehen worden war. Glühlampen der verschiedensten Systeme und Helligkeiten, bis zu einer Lichtstärke von 1000 Kerzen herauf, erleuchteten die einzelnen Zimmer, Läden, Restaurants und selbst die Umrisse der Maschinenhalle, des Aussichtsturmes mit Personen-Aufzug und des an der Bergschänke befindlichen Turmes. Die mächtigeren Bogenlampen hingegen, welche ebenfalls in allen Konstruktionen und Helligkeiten bis zu 40000 Kerzen herauf vertreten waren, liessen ihr Licht meist auf den Wegen, den Plätzen und in der Maschinenhalle, also vorzugsweise in offenen Räumen, erstrahlen. Zu den Gleichstromlampen, welche in überwiegender Zahl vorhanden waren, gesellte sich, entsprechend dem Aufschwunge der Wechselstromtechnik, auch eine beträchtliche Anzahl von Wechselstromlampen, deren Licht jedoch nicht ruhig und hell genug war.

Geradezu blendende Lichtwirkungen gingen von den Scheinwerfern aus, welche an verschiedenen Orten der Ausstellung, namentlich auf dem Aussichtsturme und auf dem eisernen Leuchtturme am Main angebracht waren und in den Abendstunden die Strassen und Plätze der Stadt Frankfurt sowie die Ufer des Mains mit ihrem zauberhaften Lichte überfluteten. Wie herrlich hoben sich dann das Opernhaus, der Dom und die anderen Kirchen von dem dunkelen Himmel ab! Wahrlich unvergessliche Anblicke! Die Scheinwerfer waren von Siemens, Schuckert und anderen hergestellt und sind hauptsächlich zur Beleuchtung von Küsten und Häfen sowie für die Schiffahrt und Kriegsführung bestimmt. Der Scheinwerfer von Schuckert in der Marine-Ausstellung am Main entsandte ein Licht von 100000 Kerzen Stärke. Vortrefflich ausgerüstet waren die »Wagen für eine bewegliche, elektrische Beleuchtung«, auf welchen Dynamo- und Dampfmaschinen bezw. Petroleummotoren nebst Lampen und Kabeln untergebracht waren und welche bei Unglücksfällen auf Eisenbahnen sowie im Kriege auf den Schlachtfeldern eine vorübergehende, helle Beleuchtung bewirken sollen.

Die hohe Bedeutung, welche das deutsche Kunstgewerbe in den letzten Jahrzehnten erlangt hat, machte sich auch auf der Frankfurter Ausstellung deutlich bemerkbar. Wandarme, Kronleuchter und Tischlampen für Glühlicht sowie Statuen als Träger für Bogenlicht erfreuten durch ihre künstlerische Ausführung allenthalben das Auge. Besondere Erwähnung verdient die Sächsische Bronzewarenfabrik in Wurzen für ihre vielseitigen Leistungen auf diesem Gebiete; denn ihre metallenen Blumenranken, aus denen inmitten einer gläsernen Blüte ein Glühlicht hervorbrach,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

und ihre eichelförmigen Glasglocken, welche mit einem Kranze von Eichenblättern umgeben waren, fanden ungeteilte Bewunderung. Nicht minder Vortreffliches hatten die Aktiengesellschaft Schäffer & Walker in Berlin, das Gasapparat- und Gusswerk in Mainz, Riedinger in Augsburg, Kramme in Berlin, Armbrüster in Frankfurt a. M. und andere geleistet. Gebrüder Naglo hatten auf einer Rosette 78 farbige Glühlampen in zwei Ebenen angebracht, welche durch einen Elektromotor unter einem Reflektor nach entgegengesetzten Richtungen gedreht wurden. Diese geschmackvolle Vereinigung von Lichtwirkung und Kraftübertragung erfreute sich eines ausserordentlichen Beifalles und wiederholte sich an dem grossen Firmenschilde, auf welchem die Schrift »Gebrueder Naglo, Berlin« fortwährend in anderen Farben erglänzte, als ob hinter ihr sich zahlreiche, farbige Glühlampen bewegten.

Auf der Weltausstellung zu Paris i. J. 1889 und auf der forstwissenschaftlichen Ausstellung zu Wien i. J. 1890 hatten die leuchtenden Springbrunnen durch ihre zauberhaften Lichtwirkungen alle Besucher zu der höchsten Bewunderung hingerissen. Trotzdem gelang es der Frankfurter Ausstellung, in der Beleuchtung eines 10 m hohen Wasserfalles etwas noch Grossartigeres und geradezu Unübertreffliches zu schaffen, das auf jeden einen unauslöschlichen Eindruck machte. Der Gipfel des Hügels, von welchem die Wasserfluten herabrauschten, trug eine Burg, vor deren Eingang ein grimmer Lindwurm Wache hielt. Feurige Wolken sprühten aus dem Rachen dieses Ungetümes hervor; es war jedoch nur Wasser und Wasserdampf, welche von den im Inneren des Drachenkörpers verborgenen Lampen farbig beleuchtet wurden.

Das Panorama, welches die Einfahrt des Dampfers »Lahn« vom Norddeutschen Lloyd in den Hafen von New-York darstellte, zeigte die Verwendung des elektrischen Lichtes für die Schiffe der Handelsmarine. Vom Ausstellungsplatze gelangte man zunächst in einen schmalen Flur und dann in das Treppenhaus der »Lahn«, von welchem man die elektrisch beleuchteten Kajüten betreten und die glänzenden Speisesäle wenigstens bewundern konnte. Nur legte man sich dabei unwillkürlich die Frage vor, ob denn auf den wirklichen Schiffen dieser Gesellschaft in der That ein solcher Luxus herrsche.

Elektrisch beleuchtete Theater wies die Frankfurter Ausstellung zwei auf. Das kleine Modelltheater von Siemens & Halske, das nach den Angaben des Ober-Maschinen-Inspektors Brandt am Königl. Opernhause in Berlin eingerichtet war, enthielt zahlreiche Glühlampen verschiedener Farben in abwechselnder Reihenfolge. Jede Farbe konnte durch Aus- und Einschalten gewisser Widerstände zum langsamen oder schnellen Erglühen oder Erlöschen gebracht werden. Auf der Bühne bemerkte man eine prächtige Alpenlandschaft mit gewaltigen Bergen, hohen Bäumen, einem Wasserfall und einem Häuschen. Zuerst erschien sie bei vollem Tageslichte, dann in einem furchtbaren Gewitter, hierauf in der Dämmerung und endlich bei dem herrlichsten Alpenglühen. Nachdem dieses erloschen war, stieg der Mond, eine von einem Elektromotor getriebene Bogenlampe, am Himmel empor. Die wundervollen Lichtwirkungen, welche hier dem Auge geboten wurden, zogen stets zahlreiche Zuschauer herbei. Auch das grosse Theater, welches von Schuckert & Comp. beleuchtet wurde, und in welchem ein Ballet »Pandora« gegeben wurde, das die Elektricität und die Kultur verherrlichen sollte, erfreute sich beständig eines starken Besuches.

Telegraphie und Telephonie.

Ihre erste bedeutungsvolle Anwendung fand die Elektricität in der Telegraphie, zur augenblicklichen Uebermittelung des Gedankens auf weite Strecken. Der erste Versuch dazu wurde bereits 1809 von Sömmerring in München unternommen, welcher 27 Drähte benutzte, von denen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

jeder zu einem mit Wasser gefüllten Gefässe führte. Der dazu angewandte Apparat war ausgestellt und erregte selbstverständlich ein hohes Interesse. Dank dem Entgegenkommen der Reichspostverwaltung und der Firma Siemens & Halske fand man in der Halle für Telegraphie eine fast vollständige Sammlung derjenigen Telegraphen-Apparate, welche in Deutschland benutzt worden sind, von den ältesten Nadel- und Zeigertelegraphen an bis zu den neuesten Schreibapparaten von Morse und den Typendruckapparaten von Hughes, so dass der ungeheuere Fortschritt auf diesem Gebiete sofort jedem Besucher zum Bewusstsein kam. Neu war der Börsendrucker von Siemens, dessen Aufgabe darin besteht, die auf einem Haupt-Telegraphen-Amte eingehenden Depeschen allen in der betreffenden Stadt wohnenden Abonnenten, in deren Wohnung ein solcher Apparat aufgestellt ist, sofort zu übersenden und daselbst auf Papier zu drucken.

Durch Vermittelung der Reichspost-Verwaltung hatte die Eastern Telegraph Company in London den neuen, von Sir William Thomson konstruierten Syphon-Recorder oder Heber-Schreibapparat ausgestellt, welcher nur zum Betriebe unterseeischer Linien dient und eine ausserordentliche Empfindlichkeit besitzt, weil für solche Zwecke nur schwache Ströme verwendet werden dürfen. Er besteht aus einer Drahtspule, welche zwischen den Polen eines Magneten an einem Coconfaden aufgehängt und durch einen anderen Faden mit einem Heberröhrchen verbunden ist. Dieses ist mit farbiger Tinte gefüllt und gleitet an einem Papierstreifen vorbei. In der Ruhelage zeichnet das Röhrchen auf dem Papier eine gerade Linie auf, bei den durch Wechselströme bewirkten Ablenkungen der Drahtspule aber Zickzacklinien, bei welchen die Ausbiegungen nach der einen Seite die Punkte und diejenigen nach der anderen Seite die Striche des Morse-Alphabetes darstellen. Dadurch wird der erhebliche Vorteil erreicht, dass man auch bei unterseeischen Linien die Telegramme aufzeichnen kann, was die Lichtzeiger der älteren Spiegel-Galvanometer nicht gestatteten.

Sehr anschaulich und fesselnd waren die Darstellungen über die Entwickelung der Telegraphie in Deutschland seit dem Jahre 1872, wie sie von der Reichspost auf graphischem Wege gegeben worden waren. Danach war von 1872 bis 1890 die Zahl der Reichstelegraphenämter von 1391 auf 11447 gestiegen, die der Eisenbahntelegraphenämter von 1667 auf 3531, die Länge der oberirdischen Leitungen von 98098 Kilometer auf 276169 km, die der unterirdischen — von 1876 bis 1890 — von 1419 Kilometer auf 39532 km und die Zahl der aufgegebenen Telegramme von 8249223 auf 19609411. So bedeutend diese Zahlen auch sind, so treten sie doch gegen die Angaben zurück, welche der Ober-Elektriker des englischen Generalpostamtes, W. H. Preece, auf dem Kongresse der Elektriker in Frankfurt a. M. über den gleichen Verkehr in Grossbritannien und Irland machte. In dem vereinigten Königreiche stieg nach der Uebernahme der Leitungen durch den Staat die Zahl der Telegramme von 9850177 i. J. 1870/71 auf 62403399 i. J. 1890/91. Diese grossartige Leistung wird nur durch vorzügliche Leitungen und Apparate sowie durch gut geschulte Beamte und durch überraschend schnelle Bestellung der Telegramme ermöglicht.

Unter den Apparaten gilt der Morse in England als veraltet; meistens verwendet man dort den Klopfer (sounder), d. h. ein laut anschlagendes Relais, bei welchem die Morseschrift nach dem Gehör aufgenommen wird. Der Hughes-Apparat wird nur für den internationalen Verkehr benutzt. Für den inneren Gross-Verkehr gebraucht man vor allen Dingen den automatischen Lochtelegraphen von Wheatstone, bei welchem das Telegramm in einen Papierstreifen gestanzt wird, und zwar in Form von Löchern, die über oder unter einer Löcherreihe liegen, welche den Papierstreifen seiner ganzen Länge nach durchzieht und seine Fortbewegung bewirkt. Die senkrecht gegenüberstehenden Löcher bedeuten die Punkte, die schräg gegenüber stehenden

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

die Striche des Morse-Alphabetes. Der so vorbereitete Streifen wird durch ein Uhrwerk einem Sender zugeführt, der Wechselströme schliesst. Als Empfänger dient an der Ankunfts-Station ein polarisierter Farbschreiber, auf welchem das Telegramm in gewöhnlicher Morseschrift erscheint. Ein solcher Apparat liefert in der Minute 400, selbst 600 Worte, während ein Morse-Apparat nur 100 Zeichen und ein Hughes-Apparat bis 200 Zeichen in derselben Zeit überträgt. Diese Apparate werden besonders für solche Telegramme benutzt, die vielen Orten und Empfängern übermittelt werden sollen. Ganz gewaltig ist in England die Benutzung des Telegraphen durch die Zeitungen. Im Jahre 1890/91 wurden 5003409 Zeitungs-Telegramme, welche 600409000 Worte enthielten, abgegeben, mithin jeden Tag etwa 2 Millionen Worte. Der Preis für je 100 Worte eines Zeitungs-Telegrammes beträgt nur 2 Pence oder 16 Pfennige, und doch belief sich 1890/91 der Reingewinn aus dem Telegraphen-Verkehr auf 100000 Pfund Sterling.

In demselben Raume, welcher die Telegraphie aufgenommen hatte, war auch für deren jüngere Schwester, die Telephonie, eine Stätte bereitet. Neben dem ursprünglichen Telephon von Philipp Reis aus dem Jahre 1860, das nur die Uebertragung von Tönen gestattete, und neben dem ersten Telephon, das zur praktischen Benutzung sich eignete, demjenigen von Graham Bell aus dem Jahre 1877, waren alle neueren Abänderungen vertreten, unter anderem ein laut sprechendes Telephon, welches viele Personen zugleich hören konnten, ohne es dabei an die Ohren halten zu müssen. Die Töne desselben waren jedoch nicht frei von Nebengeräuschen. Als Sprechapparat wendet man jetzt meistens nicht mehr das Telephon, sondern das Mikrophon an. Bei diesem wird durch die Worte, welche gegen eine elastische Platte gesprochen werden, die Berührungsfläche zweier Kohlenstäbe vermehrt oder vermindert und dadurch die Stärke eines elektrischen Stromes geändert. Diese Schwankungen der Stromstärke werden durch ein gleichzeitig eingeschaltetes Telephon in Schall umgewandelt. Die von der Reichspost verwendeten Walzen-Mikrophone mit Bürstendämpfung waren von Mix & Genest in Berlin ausgestellt, welche zugleich eine übersichtliche Sammlung aller von ihnen bisher ausgeführten Konstruktionen vorgeführt hatten. Vertreten waren ferner die Kohlenpulver-Mikrophone von Berliner in Hannover, welcher auch ein Grammophon ausgestellt hatte, das in ähnlicher Weise wie der Phonograph von Edison zur Aufzeichnung und Wiedergabe von Tönen bestimmt ist.

Die Reichspost-Verwaltung hatte die für Telephonlinien gebräuchlichen Drähte und Kabel ausgestellt sowie einen Telephon-Turm, welcher die Einführung zahlreicher, oberirdischer Drähte in ein Telephonamt veranschaulichte, und einen Klappenschrank, mit dessen Hilfe auf dem Vermittelungsamte die einzelnen Anschlüsse bewerkstelligt werden.

Von der Wirksamkeit der Telephone konnte sich jeder, der Neigung dazu besass, selbst überzeugen; denn in der Ausstellung konnte man verschiedene, auf telephonischem Wege übertragene Konzerte, die Wiesbadener Oper, das Orchester des Löwenbräugartens in München und namentlich die Münchener Oper hören. Die Uebertragung von München her war, in anbetracht der grossen Entfernung (450 km), eine vortreffliche zu nennen, wenngleich die Worte nicht so deutlich wie die Töne vernehmbar waren. Um auch dem Scherze zu seinem Rechte zu verhelfen, hatten Mix & Genest an verschiedenen Plätzen der Ausstellung Telephon-Automaten aufgestellt, welche wie die Cigarren- und Schokoladen-Automaten eingerichtet waren und nach Einwurf eines Zehnpfennigstückes ein Gespräch von 5 Minuten Dauer gestatteten oder die Musik des Frankfurter Opernhauses vernehmen liessen. War bei den ersteren die Linie besetzt, so erhielt man durch Drücken an einem weissen Knopfe das Geldstück zurück. Schäfer & Montanus in Frankfurt a. M. hatten einen anderen Automaten aufgestellt. Sobald man die Platte desselben betrat, wurde ein elektrischer Strom geschlossen, der in dem 3 Kilometer entfernten Vororte

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Bockenheim einen Elektromotor erregte, welcher dort ein Orchestrion in Thätigkeit versetzte. Die Töne des letzteren wurden dann telephonisch nach Frankfurt übertragen.

Aus der graphischen Darstellung über die Entwickelung der Telephonie, wie sie vom Reichspostamte vor Augen geführt wurde, ergab sich, dass Deutschland i. J. 1890 233 Orte mit Fernsprecheinrichtungen und 51419 Fernsprechstellen zählte, dass in den letzten 10 Jahren die Länge der oberirdischen Leitungen von 3179 auf 81319 Kilometer und die Zahl der Verbindungen, welche für die Gespräche im Stadtverkehr erforderlich waren, von 511354 auf 209965756 gewachsen war.

Wissenschaftliche Instrumente.

Die Halle für Wissenschaft und Medizin umfasste eine sehr reichhaltige Sammlung von Instrumenten, welche zu wissenschaftlichem Gebrauche bestimmt sind. Die physikalische Reichsanstalt brachte Normal-Elemente nach Clark, Normal-Widerstände, ein Silbervoltameter, ein Weber'sches Photometer, einen Apparat zur absoluten Strommessung vermittelst der Drehung der Polarisations-Ebene, welcher noch $^1/_{1000}$ Ampère zu messen gestattete. Siemens & Halske hatten ebenfalls die verschiedensten Mess-Instrumente, ein Selen-Photometer, verschiedene Elektricitätszähler, einen Anschütz'schen Schnellseher und ein vollständiges Fabrik-Laboratorium ausgestellt. Ausserdem führten sie zu bestimmten Stunden die Frölich'schen Versuche vor, durch welche die Schwingungskurven des Telephons, der menschlichen Stimme und einiger Musik-Instrumente sowie die Kurven elektrischer Ströme (Induktion, Ladung, Elektrolyse, Wechselströme und deren Phasenverschiebung) mittels elektrischen Lichtes auf einem Schirme dargestellt wurden. Mehrfach vorhanden war der Aron'sche Elektricitätszähler, welcher so vorzüglich arbeitet, dass sein Erfinder dafür von der französischen Regierung mit einem grossen Preise ausgezeichnet worden ist.

Die Weston Electrical Instrument Co. in Newark (New Jersey) hatte ihre vortrefflichen, tragbaren Ampère- und Voltmeter gesandt, welche Spiralen aus unmagnetischem Platin-Iridium enthalten. Eine grosse praktische Bedeutung scheint dem Mönnich'schen Fernmess-Induktor zuzukommen, der die Ablesung von Thermometern, Barometern und Hygrometern an einem beliebig weit entfernten Orte gestattet, sofern diese Instrumente einen Zeiger in Drehung versetzen. Der Apparat enthält an den Orten der Messung und der Ablesung je zwei Spulen aus isoliertem Kupferdraht, eine innere und eine äussere, von denen die inneren drehbar sind. Die Achse derjenigen Nebenspirale, welche an dem Orte der Messung aufgestellt ist, fällt mit dem Zeiger des Mess-Instrumentes zusammen, welcher sich vor einer Skala bewegt. Die beiden äusseren und die beiden inneren Spiralen sind je durch eine isolierte Leitung mit einander verbunden. Schickt man nun durch die feststehenden, grösseren Spulen intermittierende Ströme, so entstehen in den drehbaren Spulen Induktionsströme, welche infolge der getroffenen Verbindung der Drähte entgegengesetzte Richtung haben und deren Stärke von dem Winkel zwischen Haupt- und Nebenspirale abhängt. Dreht man hierauf an dem Ablesungsorte die innere Spule und damit den an ihr befindlichen Zeiger so lange, bis ein Telephon in ihr keinen Strom mehr anzeigt, so steht sie parallel zu der Nebenspirale, welche sich an dem Orte der Messung befindet. Dann sind auch die beiden Zeiger einander parallel und damit ist die Ablesung ermöglicht.

Schlesicky in Frankfurt a. M. hatte einen Apparat ausgestellt, um die durch Magnete bewirkte Störung von Taschenuhren nachzuweisen. Eine gewöhnliche Taschenuhr, welche durch die Drehung einer Scheibe einem Magneten genähert und von ihm wieder entfernt wurde, verlangsamte in seiner Nähe ihren Gang, während eine andere Uhr, bei welcher Feder, Unruhe, Anker

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

und Ankerrad aus Palladium bestanden, durch ihn gar nicht beeinflusst wurde. Als selbstverständlich muss man es wohl bezeichnen, dass die Apparate vorhanden waren, mit denen Hertz i. J. 1888 in seinen berühmten Untersuchungen den Beweis geliefert hatte, dass die Elektricität in Aetherwellen von Decimetern und Metern Länge besteht, und dass die elektrischen Strahlen gleich den Lichtstrahlen reflektiert, gebrochen und polarisiert werden. Die parabolischen Zinkspiegel, das 12 Centner schwere Pechprisma und die Drahtgitter, welche zu diesem Nachweise gedient hatten, erregten in gebührender Weise die Aufmerksamkeit der Unterrichteten. Die durch die Genauigkeit ihrer Arbeiten bekannte Firma Hartmann & Braun in Bockenheim-Frankfurt a. M. hatte eine grosse Zahl ihrer prächtigen Mess-Instrumente in einem besonderen Pavillon ausgestellt.

Die Medizin war nur durch wenige Aussteller und einige Apparate vertreten. Unangenehm fiel es auf, dass man in den der Wissenschaft geweihten Räumen auch zahlreiche, elektrische Spielereien untergebracht hatte, von denen manche, wie z. B. das französiche Geographiespiel geradezu als geisttötend bezeichnet werden müssen. Bei demselben mussten nämlich Frage und Antwort »gestöpselt« werden, und jede richtige Antwort wurde durch das Läuten einer elektrischen Glocke belohnt.

Das Bergwerk.

Unmittelbar neben der Halle für die Wissenschaft hatte man ein künstliches Bergwerk angelegt, zu dessen Einrichtung das preussische Handelsministerium 15000 Mark beigesteuert hatte, und in welches ein 100 m langer Stollen führte. Die Einfahrt erfolgte auf einer Siemens'schen Grubenbahn mit einer elektrischen Lokomotive. Diese erhielt ihren Strom von einem längs der Decke des Stollens ausgespannten Drahte, welcher durch ein Kabel mit der Maschinenhalle verbunden war. Von dem Hauptstollen zweigten sich mehrere Gänge ab, von denen der eine das gleichzeitige Vorkommen von Bleiglanz, Rotkupfererz, Zinkblende, Eisen- und Silbererzen in der Grube »Gottessegen« an der Lahn naturgetreu wiedergab, während zwei andere durch Granitstücke abgeschlossen waren. An den letzteren konnte man die Wirkungen der elektrisch betriebenen Gesteinsbohrmaschinen von Siemens & Halske und der Thomson-Houston International Electric Company beobachten. Die zuletzt genannte Gesellschaft liess den Strom in drei spiralförmig gewundene Kupferdrähte, sogenannte Solenoide, eintreten, wodurch der Bohrer mit grosser Gewalt vorwärts getrieben, dann wieder zurückgezogen und jedesmal noch in eine drehende Bewegung versetzt wurde. Auf diese Weise gelang es, kräftige Stösse hervorzubringen und in hartem Gestein Bohrlöcher von 4 cm Durchmesser und Tiefe in einer Minute zu erzeugen. Das ganze Bergwerk war elektrisch beleuchtet. Hier befand sich auch die explosionssichere, bewegliche Grubenlampe von Pollack in Paris, welche auf zwei kleinen Akkumulatoren befestigt war und 10 bis 12 Stunden brannte. Die Ventilatoren, welche zur Lufterneuerung dienten, und eine Pumpe, welche auch unter Wasser arbeitete, waren von Siemens & Halske geliefert und wurden ebenfalls elektrisch betrieben. Von der Rückseite des Hügels, in welchem sich der Eingang zum Bergwerk befand, erstreckte sich eine schiefe Ebene nach unten, eine sogenannte Bremsbahn, auf welcher die Thomson-Houston Company die Fortbewegung von Felsblöcken in einem Bergwerke vorführte. Bei der dazu erforderlichen Vorrichtung war ein Seil auf einer Winde aufgewickelt, die durch eine Zahnrad-Uebersetzung mit einem Elektromotor in Verbindung stand. Durch Auf- und Abwickeln des Seiles wurden die Wagen herauf und herab bewegt.

Elektrochemie.

Die chemischen Wirkungen der Elektricität sind meist nicht so in die Augen fallend

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

wie ihre übrigen, und darum erfreute sich die Halle für Elektrochemie keines so regen Besuches wie viele andere Abteilungen der Ausstellung. Dennoch war eine kurze Durchwanderung derselben auch für Laien sehr genussreich und belehrend. In grosser Menge waren galvanisch versilberte, vergoldete und vernickelte Gefässe und Gerätschaften vorhanden, welche teils für den häuslichen, teils für den technischen Gebrauch bestimmt waren. Sehr anziehend wirkte eine Sammlung galvanoplastisch hergestellter Gemälde, Stillleben und Studienköpfe. Vielen Beifall fanden auch die Tiere und Pflanzen, welche von Trautmann in München auf galvanischem Wege mit Kupfer überzogen worden waren. Der Kupferniederschlag war so gleichmässig, dass man unter ihm die Blätter, Blüten, Früchte, Haare, Füsse, Fühler u. s. w. deutlich erkennen konnte. Siemens & Halske in Berlin sowie Dr. Höpfner in Giessen hatten ein Verfahren und Apparate zur Reingewinnung des Kupfers und Silbers aus ihren Erzen vorgeführt; Kessler in Oberlahnstein einen elektromagnetischen Scheide-Apparat, um Eisen von Schlacken und um Eisenerze von taubem Gestein zu trennen; die berühmte Fabrik von Heraeus in Hanau reines Platin, verschiedene Legierungen desselben mit Iridium und die Classenschen Apparate zur quantitativen elektrolytischen Analyse. Sehr anziehend war die elektrolytische Gerberei, bei welcher die zu gerbenden Häute mit Wasser und Gerbstoffen in Bottiche gebracht und der Wirkung von Wechselströmen ausgesetzt wurden, wodurch eine beträchtliche Zeitersparnis herbeigeführt werden soll. Nicht minder fesselnd war die elektrolytische Darstellung organischer Farbstoffe und ihre Befestigung auf den Fasern, wie es Prof. Goppelsroeder in Basel durch Präparate, Apparate und gefärbte Proben erläutert hatte. Ozon, aktiver Sauerstoff, wurde in der Siemens'schen Abteilung nach dem Verfahren von Frölich dadurch bereitet, dass man hochgespannte Elektricität sich durch Luftströme entladen liess. Frölich glaubt in dem Ozon ein Mittel gegen die Reblaus gefunden zu haben, das den Weinstöcken in keiner Weise schadet; ausserdem versucht er damit, Weine und Spirituosen alt zu machen. Die Hauptanwendung des Ozons besteht vorläufig jedoch darin, Trinkwasser zu sterilisieren oder keimfrei zu machen, und zwar kann man durch eine Pferdestärke in der Stunde 35 Liter untrinkbares Spreewasser geniessbar machen.

Am meisten bewunderte man in der Halle für Elektrochemie das Aluminium, jenes schöne, weisse Metall, welches im Thon in geradezu unerschöpflicher Menge vorkommt und welches man wohl als »Silber aus Lehm« bezeichnet hat. Obwohl dieses Element bereits 1827 von Wöhler auf chemischem Wege entdeckt worden war und obwohl man seit den fünfziger Jahren in Frankreich nach dem Deville'schen Verfahren bedeutende Mengen desselben gewann, so hinderte der hohe Preis von 240 Mark für das Kilogramm (i. J. 1862) seine allgemeine Anwendung. Jetzt stellt man es auf elektrolytischem Wege viel billiger dar. Die Aluminium-Industrie Aktien-Gesellschaft in Neuhausen, welche die Frankfurter Ausstellung beschickt hatte, benutzt einen Teil des Rheinfalles bei Schaffhausen, um mittels Turbinen zwei mächtige, 600 pferdige Dynamomaschinen zu treiben, welche je einen elektrischen Strom von 14000 Ampère und 30 Volt erzeugen. Dieser gewaltige Strom vermag nicht nur die Thonerde (Aluminiumoxyd), welche jetzt als Rohmaterial dient, zu einer beweglichen Flüssigkeit zu schmelzen, sondern er zerlegt sie zugleich in ihre Bestandteile, wobei das Aluminium am Boden des Tiegels sich absondert während der Sauerstoff sich mit der als positive Elektrode dienenden Kohle vereinigt und als Kohlensäure entweicht. Die elektrolytische Wirkung des Stromes wird durch die ausserordentlich hohe Temperatur lebhaft unterstützt. Durch dieses Verfahren ist der Preis des Aluminiums auf 5 Mark für das Kilogramm gesunken. Die tägliche Produktion beträgt 800 Kilogramm und wurde in Frankfurt durch eine, allerdings hohle, Kugel von Aluminium veranschaulicht, welche einen Durchmesser von etwa 90 cm hatte.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Das Aluminium zeichnet sich durch seine silberweisse Farbe, seinen lebhaften Glanz, seine Beständigkeit an der Luft, seine ziemlich grosse Festigkeit und namentlich durch sein geringes specifisches Gewicht (2,7) aus, weshalb es zu Schmucksachen, Schalen, Vasen, Feldflaschen, Fingerhüten, Instrumenten u. s. w. benutzt wird. Von Säuren und Alkalien wird es aber leicht angegriffen und als Thonerde aufgelöst; es ist also keinesweges ein edles Metall. In der Glühhitze besitzt es eine ziemlich bedeutende Verwandtschaft zum Sauerstoff; deshalb dient es in der Technik dazu, Stahl und Eisen von diesem Elemente zu befreien. Mit Kupfer giebt es eine Legierung (Aluminiumbronze), welche eine goldgelbe Farbe besitzt und wegen ihrer Unveränderlichkeit zur Herstellung verschiedener Geräte sowie im Maschinenbau benutzt wird. Viel bewundert wurde in Frankfurt das Aluminiumboot, das von Escher, Wyss & Comp. in Zürich erbaut worden war und nur 440 kg wog, während das Gewicht eines gewöhnlichen Bootes von gleicher Grösse, das ebenfalls durch Naphta getrieben wird, 600 kg beträgt. Das Aluminiumboot hatte seine Reise nach Frankfurt zu Wasser zurückgelegt.

Elektromotoren und elektrische Eisenbahnen.

So wertvoll die bisher besprochenen Anwendungen des elektrischen Stromes auch sind, so treten sie doch in manchen Beziehungen gegen seine Benutzung zur Leistung von mechanischen Arbeiten zurück. Die Gross-Industrie vermag seit der Erfindung der Dampfmaschine sich mechanische Kraft für geringes Geld zu verschaffen und braucht auch die Mehrkosten nicht zu scheuen, welche dadurch entstehen, dass die Kessel nicht bloss während des Betriebes, sondern auch vorher gefeuert werden und dass die Transmissionen oft leer laufen müssen. Die Klein-Industrie und das Handwerk vertragen jedoch so hohe Erzeugungskosten nicht und bleiben deshalb vorwiegend auf die menschliche Arbeitskraft beschränkt. Daher bemühten sich die Ingenieure seit langer Zeit, auch dem Kleinbetriebe durch die Gaskraft- und Heissluftmaschinen, die hydraulischen und Petroleum-Motoren geeignete Kraftmaschinen zu schaffen, welche an jedem Orte aufgestellt werden können, keiner besonderen Wartung bedürfen und nur während der wirklichen Benutzung Ausgaben verursachen. Zu diesen Maschinen gesellen sich seit kurzem die elektromagnetischen Kraftmaschinen oder Elektromotoren, welche die gleichen Vorteile aufweisen. Ihr Bau wurde von den grossen Elektricitäts-Gesellschaften selbst in die Hand genommen und nach Kräften gefördert, weil sämtliche elektrische Centralen zunächst für die Lichterzeugung angelegt waren und ihre Maschinen bei Tage nicht genügend ausnutzen konnten. Die Elektromotoren können ausserdem durch Ein- und Ausschaltung bestimmter Widerstände mit verschiedener Geschwindigkeit laufen und kommen dadurch berechtigten Wünschen der kleineren Gewerbetreibenden entgegen. Deshalb war es ein glücklicher Gedanke, in den zwei Seitenflügeln der Verteilungshalle eine Anzahl von Werkstätten mit vollem, elektrischem Betriebe einzurichten. Da erblickte man eine vollständige Tischlerei, eine Glasschleiferei, eine Parfümerie-Seifenfabrik, eine Mühlenanlage, eine Nadelfabrik, eine Molkerei-Anlage, ferner Holzbearbeitungsmaschinen, Teigknetmaschinen, Centrifugen, Nähmaschinen, Drehbänke, Bohrmaschinen, eine vollständige Druckerei und dergl. Ueberdies wurden an den verschiedenen Orten der Ausstellung noch Pumpen, Ventilatoren und Aufzüge elektrisch betrieben. Zu den letzteren gehörte auch der Elevator nach dem System »Otis«, welcher in dem grossen, eisernen Aussichtsturme angebracht war und mit so unbedingter Sicherheit arbeitete, dass Tausende und aber Tausende von Besuchern sich ihm im Laufe der Zeit anvertrauten, um den herrlichen Blick auf Frankfurt und seine prächtigen Umgebungen, besonders den Taunus, zu geniessen. Der Betrieb der Motoren erfolgte teils durch Gleichstrom, teils durch gewöhnlichen oder mehrphasigen Wechselstrom.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Elektrische Eisenbahnen waren sowohl in Wirklichkeit als auch in Modellen vorhanden, und bei allen lagen die Motoren unter den Wagen. Siemens & Halske, welche auf der Berliner Gewerbe-Ausstellung des Jahres 1879 überhaupt die erste elektrische Eisenbahn betrieben, hatten in Frankfurt eine Linie mit oberirdischer Stromzuführung von der Ausstellung nach dem Opernplatze erbaut. Ueber der Mitte des Geleises war ein Draht aufgehängt, welcher den Strom von der Maschinenhalle erhielt und ihn durch einen vom Wagen mitgeführten Bügel auf den Motor übertrug, während die Schienen zur Rückleitung dienten. Diese Art der Stromzuführung, welche von den Amerikanern Sprague und Thomson-Houston erfunden ist, wurde auch von Schuckert & Comp. bei der elektrischen Eisenbahn zwischen der Ausstellung und dem Main angewendet und ist einfacher und billiger als die ältere, bei welcher noch zwei Rohre, eins für die Hin- und eins für die Rückleitung, erforderlich waren. Dieselben waren durch seitliche Arme an Masten befestigt und an ihrer unteren Seite mit einem Schlitze versehen, in welchem sich die Kontakt-Rollen bewegten, welche durch Bügel an dem Wagen befestigt waren. Dieses System wird noch jetzt z. B. bei der Frankfurt-Offenbacher Lokalbahn benutzt. Die oberirdische Stromzuführung empfiehlt sich durch ihre Einfachheit und durch die geringen Anlagekosten. Die Drähte, welche sie erfordert, beeinträchtigen jedoch oft die Schönheit der Strassen und gefährden mitunter sogar die Sicherheit. Darum hat man sich vielfach der unterirdischen Stromzuführung zugewandt, welche die genannten Uebelstände nicht besitzt, jedoch erheblich teurer ist. Unter der einen Schiene legt man meistens, wie dies Siemens & Halske bei der elektrischen Stadtbahn in Budapest gethan haben, einen mit einem Schlitze versehenen Kanal an, in welchem sich der Leiter für die Stromzuführung befindet. Vom Wagen reicht in diesen Schlitz ein Arm, welcher ein Schiffchen mit zwei Bürsten trägt, die den Leiter berühren. Bei dieser Anordnung liegt indessen die Gefahr nahe, dass der Schlitz leicht verstopft wird und dass Wasser in den Kanal dringt. Von der Budapester Stadtbahn war eine kleine Musterstrecke in Frankfurt ausgestellt. Das gleiche System soll bei der einschienigen elektrischen Bahn zur Anwendung kommen, welche die Firma Ganz & Comp. zwischen Wien und Budapest erbauen will und von der sie ein kleines Modell nach Frankfurt gesandt hatte. Die ganze, 300 Kilometer lange Strecke soll in $1^1/_4$ Stunde zurückgelegt werden und nur zwei Central-Stationen für hochgespannten Strom von 10000 Volt erhalten, welcher jedoch an etwa 100 Unter-Stationen auf eine niedrigere Spannung gebracht werden soll. Obgleich nur einzelne Wagen von 40 m Länge, aber keine geschlossenen Züge verwendet werden sollen, erscheint die Ausführung dieses Planes doch sehr zweifelhaft. Denn nach den Mitteilungen, welche der Ingenieur v. Zipernowski aus Budapest auf dem Kongresse der Elektriker in Frankfurt machte, belaufen sich die Baukosten auf das $2^1/_2$fache einer gewöhnlichen Bahn, weil man die Schienen wegen der grossen Geschwindigkeit sehr schwer nehmen, jedes Geleise untermauern und Viadukte statt der Dämme aufführen muss.

Ein zweites System der unterirdischen Stromzuführung war, allerdings auch nur im Modell, von Pollack in Paris ausgestellt und besteht darin, dass man einen isolierten Leiter unter der Strasse und kurze Abnahmeschienen, welche für gewöhnlich stromlos sind, in der Strassenfläche anbringt. Befindet sich gerade ein Wagen auf einer solchen Schiene, so wird dieselbe durch Magnete, welche unter dem Wagen liegen, mit dem Leiter in Verbindung gesetzt, wodurch ihr dann Strom zugeführt wird. Bei der neuen elektrischen Bahn in Halle a/S. hat man zugleich ober- und unterirdische Stromzuführung angewendet.

Auf der elektrischen »Waldbahn« zwischen Sachsenhausen bei Frankfurt a. M. und dem Oberforsthause hatte die Maschinenfabrik Oerlikon bei Zürich den Akkumulator-Betrieb eingeführt. Jeder Wagen bekam seinen Strom durch eine Batterie von 80 Akkumulatoren, welche unter den Sitzen angebracht war. Diese Sammelbatterie, welche der Gesellschaft Oerlikon patentiert worden

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

war, bot dadurch ein besonderes Interesse, dass sie einen festen Elektrolyten, nämlich gallertartige Kieselsäure und Schwefelsäure, enthielt. Die Geschwindigkeit der Wagen betrug 12 km in der Stunde, und nach einer Fahrt von 50 km musste neu geladen werden. Bei einer solchen Anlage fallen zwar alle Leitungen längs der Strecke fort; aber der Anschaffungspreis der Akkumulatoren ist so hoch und die Vergrösserung der toten Last so erheblich, dass dieses System bis jetzt noch nirgends dauernd eingeführt ist. Obwohl, namentlich in Amerika, eine ziemlich grosse Anzahl elektrischer Bahnen bereits in Betrieb ist, so stellen sich einer weiteren Einführung derselben doch bedeutende Schwierigkeiten entgegen, da bis jetzt noch kein Mittel gefunden ist, die Elektricität bequem zum Bahnbetriebe zu verwerten. Der Vortrag des Stadtbaurates Lindley auf dem Städtetage in Frankfurt a. M. sowie die oben erwähnten Ausführungen des Ingenieurs v. Zipernowski in Budapest auf dem elektrischen Kongresse haben dies auch offen zugestanden.

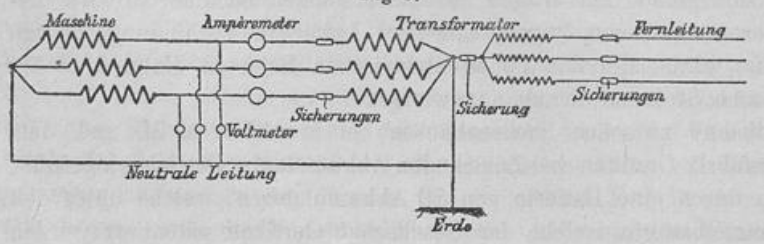
Bei den Schiffen kommt die Vermehrung des toten Gewichtes nicht so sehr in Betracht; deshalb sind Akkumulator-Boote schon mehrfach in Betrieb. Während der Ausstellung machten die Boote »Zürich« und »Elektra« täglich auf dem Main Fahrten mit einer Geschwindigkeit von 12 km in der Stunde. Eine grosse Bedeutung werden die Akkumulatoren voraussichtlich in der Kriegsmarine erlangen, nämlich zur Bewegung von Untersee- und von Torpedobooten.

Die elektrischen Kraftübertragungen.

Das allergrösste Interesse nahm auf der Frankfurter Ausstellung unbedingt die Fernleitung der Elektricität in Anspruch. Die Uebertragungen des elektrischen Stromes von der Ausstellung nach dem Palmengarten ($3^1/_2$ km) und umgekehrt sowie diejenige von Offenbach nach Frankfurt (10 km) sind bereits erwähnt worden, so dass wir uns nur noch mit der wichtigsten Leistung auf diesem Gebiete, mit der Fernleitung von Lauffen am Neckar, welche eine Strecke von 175 km umfasste, zu beschäftigen haben.

Bei der in den achtziger Jahren vorgenommenen Verbesserung der Schiffahrt auf dem oberen Neckar musste man das etwa 4 m hohe Gefälle bei Lauffen, welches eine Wasserkraft von 1200 bis 1500 Pferdestärken darstellt, dadurch überwinden, dass man eine Schleuse und einen Schiffahrtskanal anlegte, welcher sich von dem Mühlgraben abzweigte. Die dazu erforderlichen, beträchtlichen Kosten sollten, zum Teil wenigstens, durch die technische Ausnutzung der vorhandenen Wasserkraft aufgebracht werden. Deshalb schritt man zu der Gründung eines Cementwerkes, und erbaute 5 Turbinen, jede zu etwa 300 Pferdestärken, welche zum Betriebe des Werkes sowie zur elektrischen Kraftübertragung nach Heilbronn und Frankfurt dienen sollten. Eine derselben wurde dem Ausstellungs-Vorstande zur Verfügung gestellt und durch eine konische Zahnrad-Uebersetzung mit einer 300 pferdigen Dynamomaschine verbunden, welche einen dreiphasigen Wechselstrom erzeugte. Diese Primärmaschine, welche der Ober-Ingenieur Brown der Maschinenfabrik Oerlikon konstruiert hatte, war eine 32 polige Innenpolmaschine mit feststehendem Anker. Jeder der drei Wechselströme, welche sie lieferte, besass eine Spannung von 50 Volt und eine Stärke von 1400 Ampère, so dass die gesamte elektrische Energie 210 000 Volt-Ampère betrug.

Fig 5.



Die Anfänge der drei Spulen (Fig. 5) waren in derjenigen Weise, welche bei der Erläuterung des dreiphasigen Wechselstromes beschrieben worden ist, mit einander verbunden, während jedes der drei Enden zu einer primären Spule des in Lauffen aufgestellten

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Transformators führte, welcher die ursprüngliche Spannung von 50 Volt auf 12500 Volt in jedem einzelnen Zweige erhöhte. Die Enden der drei primären Umformer-Spulen vereinigten sich in einem Punkte, welcher durch eine neutrale Leitung mit dem Ausgangspunkte der ganzen Anlage verbunden war.

Fig. 6.

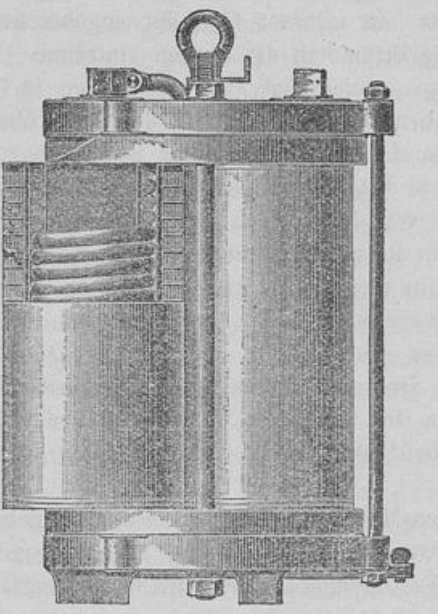
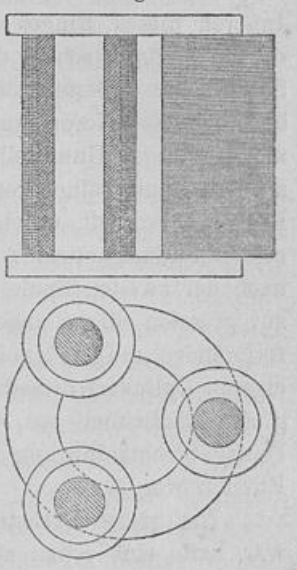


Fig. 7.



Der Transformator (Fig. 6 und 7) bestand eigentlich aus drei einzelnen Umformern, von denen jeder zwei verschiedene Drahtwickelungen enthielt. Die innere primäre, bestand aus wenig Windungen eines dicken Drahtes, die äussere sekundäre, aus zahlreichen Windungen eines dünnen Drahtes. Ganz besondere Sorgfalt war auf die Isolierung verwendet worden. Deshalb waren die Drähte nicht allein mit Guttapercha umhüllt, sondern der ganze Apparat war noch in Oel getaucht, da die Oele zu den vorzüglichsten Isolatoren gehören und zugleich alle in der festen Isolierschicht etwa auftretenden Risse sofort wieder ausfüllen. Die Anfänge der drei sekundären Spulen waren ebenfalls mit dem neutralen Punkte der primären Spulen vereinigt und von jeder Nebenspirale führte ein Kupferdraht von 4 mm Dicke nach Frankfurt.

Da die Spannung des elektrischen Stromes in jedem dieser Drähte 12 500 Volt betrug, also unbedingt lebensgefährlich war, so waren die Transformatoren in Lauffen wie in Frankfurt während des Betriebes vollständig unzugänglich. Ueberdies wurde auf der ganzen, 175 km langen Strecke die erdenklichste Sorgfalt auf die Isolation verwendet, indem man jeden Draht auf Oel-Isolatoren legte, d. h. auf Porzellanglocken, die unten nach innen umgebogen waren und deren hohler Ring mit Oel angefüllt war. Schlug sich nun wirklich Regen auf den Glocken nieder, so musste das Wasser wegen seines grösseren specifischen Gewichtes doch sofort unter das Oel sinken, die Isolation mithin vollständig unvermindert bleiben. Die als Stützen dienenden Stangen waren auf Eisenbahnkörpern aufgestellt, 5—8 m hoch, je 60 m von einander entfernt und trugen je 3 Oel-Isolatoren, so dass die gegenseitige Entfernung der drei Drähte 50 cm ausmachte. Der auf diese Weise übertragene Strom besass ungefähr eine Spannung von 25 000 Volt. In Frankfurt endete die Leitung in den dünnen Spulen dreier Oel-Umformer, von denen einer von der Fabrik Oerlikon, die beiden anderen aber von der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft in Berlin erbaut waren. Dadurch wurde die hohe Spannung, welche zur Beleuchtung und Kraftübertragung ungeeignet ist, zu der sogenannten Gebrauchsspannung von 100 Volt wieder herabgemindert und der gegen 2000 Ampère starke Strom zu einem Schaltbrette geführt, von wo aus ein Teil zur Beleuchtung, ein anderer zur Kraftübertragung benutzt wurde. Am 28. August, Goethes Geburtstage, erglänzten zum ersten Male auf einem vor der Verteilungshalle angebrachten Schilde 1000 Glühlampen, welche durch ihre Stellung zu einander die Worte »Oerlikon«, »Lauffen« und »All-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gemeine Elektricitäts-Gesellschaft« in die Nacht hinausstrahlten, und welche ungefähr die Hälfte der übertragenen Energie, etwa 100 Pferdestärken, verbrauchten.

Ein zweiter, ebenso grosser Teil des Stromes wurde einem grossen und mehreren kleinen Drehstrom-Motoren zugeführt. Die kleineren besitzen einen feststehenden Ring, welcher dem der Primärmaschine in Lauffen sehr ähnlich ist und welcher drei gegen einander versetzte Spulen trägt. Im Inneren dieses Ringes ist ein eiserner Cylinder angebracht, welcher sich um seine Achse zu drehen anfängt, sobald die Ströme in die Spulen eintreten. Wenn nämlich der Strom der ersten Spule seine grösste Stärke erreicht hat, so erzeugt er in diesem Teile des eisernen Ringes beispielsweise Nordmagnetismus und folglich in dem gegenüberliegenden Teile des Cylinders Südmagnetismus. Unmittelbar danach nimmt dieser Strom aber wieder ab, während derjenige der zweiten Spule seine grösste Stärke erreicht und kräftigen Nordmagnetismus an einer Stelle des Ringes hervorruft, welche von der vorigen um 120° entfernt ist. Da aber der eiserne Cylinder seinen Südmagnetismus an der zuerst erwähnten Stelle noch nicht eingebüsst hat, so dreht er sich nach der zweiten Spule hin und bald darauf auch nach der dritten, sowie in dieser der Strom zur grössten Stärke angewachsen ist. Die verschiedenen mehrphasigen Ströme bringen also ein rotierendes magnetisches Feld hervor und dieses Drehfeld bewirkt, dass der Anker (der eiserne Cylinder) dieselbe Drehung ausführt. Die Drehstrom-Motoren zeichnen sich durch ihre grosse Einfachheit aus, da ihre drehbaren Teile keine Drahtwickelung besitzen und deshalb auch keiner Stromzuführung bedürfen. Infolge dessen fallen alle Commutatoren, Schleifringe und Bürsten weg.

Der grosse Drehstrom-Motor, welcher von der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft gebaut war, hatte eine etwas abweichende Einrichtung und war mit einer Centrifugalpumpe gekuppelt, welche einen neben der Verteilungshalle befindlichen Wasserfall von 10 m Höhe speiste. So vollführte ein Teil der elektrisch übertragenen Kraft einen vollkommenen Kreislauf; und der Lauffener Wasserfall, von welchem die ganze elektrische Energie herrührte, erschien in Frankfurt gleichsam im verkleinertem Maasse. Der Verlust bei dieser weiten Kraftübertragung belief sich auf etwa 35 Prozent, wie eine einfache Rechnung nachweist. Die von dem Strome in der Fernleitung erzeugte Wärme rührt von dem Spannungsverluste E her, welcher nach dem Ohm'schen Gesetze durch das Produkt $S \cdot W$ dargestellt wird. Die Stromstärke S beträgt 8 Ampère; der Widerstand W der 175 Kilometer langen und 4 mm dicken Fernleitung ist nach der Formel $c\,l/q$ zu ermittteln, wobei $c = 0{,}018$ den specifischen Leitungswiderstand des Kupfers, l die Länge des Leiters = 175000 m und $q = 12{,}5$ qmm den Querschnitt desselben bedeutet. Der Widerstand aller drei Drähte war mithin $3 \cdot 0{,}018 \cdot 175000 : 12{,}5$ oder ungefähr 750 Ohm. Daraus berechnet sich der Spannungsverlust E gleich $8 \cdot 750 = 6000$ Volt, so dass in Frankfurt noch $25\,000 - 6000 = 19\,000$ Volt durch die Fernleitungsanlagen anlangten, mithin $8 \cdot 19\,000 = 152\,000$ Volt-Ampère zur Verfügung standen. Nimmt man nun die übrigen Verluste in den Umformern und Motoren zu 15 000 Volt-Ampère an, so ergiebt sich ein Nutzeffekt von 137 000 Volt-Ampère oder 65 Prozent, also von etwa 200 Pferdestärken, welche in Frankfurt auch öfter erhalten worden sind.

Das Gelingen einer so bedeutenden Kraftübertragung ist vielfach vorzugsweise der Anwendung des Drehstromes zugeschrieben worden. Dieser Ansicht gegenüber weist der Ober-Ingenieur Brown in einer an die Zeitschrift »Prometheus« (am 16. Okt. 1891) gerichteten Zuschrift darauf hin, dass die Lauffener Dynamomaschine, die Umformer, die Schaltbretter und die Kontroll-Apparate sowie die ganze Leitung durch die Anwendung des Drehstromes viel verwickelter geworden sind, als es bei gewöhnlichem Wechselstrom gewesen sein würde und dass mit dem letzteren die Anlage genau ebenso gut gearbeitet hätte. Nach seiner Ansicht ist der Drehstrom vorzüglich

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

geeignet, um von einer Centralstelle aus verschiedene Motoren zu betreiben, weil die Drehstrom-Motoren sich durch ihren einfachen Bau auszeichnen. Wenn aber derselbe elektrische Strom auch zur Beleuchtung dienen soll, so wird die Anlage, namentlich das Leitungsnetz zu verwickelt, und es wäre deshalb nicht gerechtfertigt, das Drehstrom-System als das Verteilungs-System der Zukunft anzusehen. Zugleich betont Brown aber auch, wie das Lauffener Unternehmen vor allem beweisen sollte, dass man so hoch gespannte Ströme mit praktischer Sicherheit und unter Benutzung des billigsten Isolators, nämlich der Luft, fortleiten könne.

Dieser Nachweis ist in der That vollständig gelungen, und menschlicher Geist und Scharfsinn haben dabei einen grossartigen Triumph gefeiert. Andererseits muss jedoch berücksichtigt werden, dass man diesen wunderbaren Erfolg nur der Aufwendung erheblicher Kosten, dem freundlichen Entgegenkommen und Zusammenwirken verschiedener Behörden, namentlich der Post- und Eisenbahnverwaltungen, sowie der thatkräftigen Beihilfe zahlreicher Männer der Industrie und Wissenschaft verdankt. Aus diesen Gründen ist die Kraftübertragung auf so weite Strecken doch wohl mehr oder minder als ein Versuch im Grossen zu bezeichnen, während es kaum einem Zweifel unterliegen dürfte, dass man bei kürzeren Entfernungen, vielleicht bis zwanzig oder dreissig Kilometer, zu Ergebnissen gelangen würde, welche auch in wirtschaftlicher Beziehung völlig befriedigen. Unter solchen Umständen wäre es ohne grosse Schwierigkeiten möglich, die in der Natur vorhandenen Wasserkräfte zur Erzeugung elektrischer Ströme zu verwerten und dadurch in den Gebirgen und in den Dörfern blühende Industrie-Zweige ins Leben zu rufen. Zahlreiche Arbeiter und kleinere Gewerbetreibende, welche jetzt in der Grossstadt ihr Dasein mühsam fristen und die freie Natur kaum dem Namen nach kennen, würden dann ihren Wohnsitz gern auf das Land verlegen, weil sie sich dort zur Selbständigkeit emporarbeiten und ein angenehmeres Leben als in den Städten führen könnten. Sollten diese Hoffnungen, deren Berechtigung man wohl kaum ernstlich bezweifeln könnte, in Erfüllung gehen, so würde die Elektricität berufen sein, in gewissem Sinne auch zur Lösung der socialen Frage, welche unsere Zeit so mächtig bewegt, beizutragen, und »der Funke, den Volta's erfinderischer Geist dem zögernden Metall entriss«, würde der Menschheit einen ähnlichen Segen bringen, wie das Feuer, welches Prometheus einst den Göttern entwand.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf