Die elektrische Beleuchtungsanlage

des

städtischen Schlachthofs zu Gotha.

Das elektrische Licht wurde in unserer Stadt Gotha zuerst im Jahre 1853 durch Herrn Professor Hassenstein öffentlich gezeigt. Er bediente sich zu dem für die damalige Zeit großartigen Versuche einer Zink-Eisen-Batterie von 60 Elementen, welche auf dem Rathause aufgestellt war, und erleuchtete von dort aus nicht nur den Markt, sondern er war auch imstande, das Licht mit einem Hohlspiegel auf das etwa 450 Meter entfernte Herzogliche Residenzschloß Friedenstein mit solchem Erfolge zu werfen, daß man in den Zimmern des Schlosses die feinste Schrift lesen konnte, eine Leistung, die als Wunder angestaunt wurde. Auch auf unserer Hofbühne wurde das elektrische Licht schon um diese Zeit zu Lichteffekten verwendet. Es erregte hier und auf anderen Bühnen, namentlich als „Prophetensonne" in Meyerbeers Oper „Der Prophet", große Bewunderung.

Aber alle Versuche dieser Zeit, das elektrische Licht für eine dauernde Beleuchtung einzurichten, scheiterten, abgesehen von den unvollkommenen Beleuchtungsapparaten, namentlich an der kostspieligen und umständlichen Gewinnung der hier notwendigen, starken elektrischen Energie aus galvanischen Elementen. Wenn auch diese Elemente, in welchen durch chemische Vorgänge Elektricität erzeugt wird, um diese Zeit in dem Signalwesen, in der Telegraphie und ähnlichen Einrichtungen, kurz in Schwachstromanlagen ihre unschätzbaren Dienste verrichteten, so konnten sie doch zu einer andauernden Erzeugung starker elektrischer Ströme bis heute noch keine praktische Verwertung finden. Es würde auch alles Zink unserer Erde, wenn man es in galvanischen Elementen verbrauchen wollte, nur kurze Zeit zur Beleuchtung weniger Großstädte ausreichen.

Erst die ungewöhnlichen Fortschritte der letzten Jahrzehnte in der elektrischen Wissenschaft und Technik, vornehmlich in der Erzeugung starker elektrischer Ströme durch mechanische Arbeit, haben die Elektricität zu einer Leistungsfähigkeit vor allem in der Beleuchtung, der Kraftübertragung und der Elektrochemie geführt, die jedermann zur Bewunderung zwingt. Die Elektricität ist die herrschende Kraft der Neuzeit geworden, und die Zahl der allerorts entstehenden Starkstromanlagen wächst in schneller Aufeinanderfolge. Elektrische Lichtanlagen sind schon in allen Zonen der Erde vorhanden, und nicht nur große Städte besitzen solche, sondern auch kleinere Ortschaften, ja sogar Dörfer erfreuen sich derselben. In nicht zu ferner Zeit dürfte das elektrische Licht das gebräuchlichste Beleuchtungsmittel sein.

In unserem Herzogtume hat das Städtchen Zella bereits seit August 1891 eine elektrische Straßenbeleuchtung, und auch in unserer Stadt ist jetzt das elektrische Licht keine seltene Erscheinung mehr. Wenn man hier auch in der Frage der elektrischen Straßenbeleuchtung noch vor der Entscheidung steht, so besitzen wir doch eine Reihe industrieller Anlagen mit elektrischer Beleuchtung, zu welchen in jüngster Zeit die Lichtanlagen unseres Hoftheaters und des städtischen Schlachthofes hinzugekommen sind.

In dieser Zeit nun, wo sich die Elektrotechnik durch praktische Verwertung der Starkstromeinrichtungen einen großen Wirkungskreis schon erobert hat und immer mehr und mehr in das tägliche Leben eindringt, ist das Interesse für diese Erscheinungen in allen Schichten der Bevölkerung in hohem Maße wachgerufen. Aber die Entwickelung der Elektrotechnik ist so überraschend schnell vor sich gegangen, daß es nicht jedermann möglich war, sich mit diesen Erscheinungen völlig vertraut zu machen, und so ist der Wunsch nach Aufklärung darüber ein allgemeines Bedürfnis geworden. Unsere Schule glaubt nun, ihren Schülern und den Angehörigen derselben einen Dienst zu erweisen, wenn sie in ihrem Programm als Beispiel einer modernen Beleuchtungsanlage die hier jedermann zugängliche, mustergültige Lichtanlage des städtischen Schlachthofs in einfacher Darstellung einer Besprechung unterzieht, und wir hoffen, daß diese Gabe der Schule freundliche Aufnahme findet.

Die Teile der elektrischen Anlage.

Schon mit dem Eintritt der Dämmerung erglänzt das elektrische Licht der Anlage. Freundlich grüßen den Vorübergehenden die an der Umfahrtstraße und am Eingange angebrachten Glühlichter mit ihrem hellen gelben Scheine und mischen ihre Strahlen auf dem Vorhofe mit dem magisch blauen Lichte der großen Bogenlampe, die vom Brunnen her ihre Strahlen über den freien Platz wirft. Wenn man in den Vorhof eintritt und geht der Richtung der Leitungsdrähte nach, die von den Bogen- und Glühlichtlampen der Gebäude herkommen, so gelangt man zur Maschinenhalle und findet

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

dort als Stromquelle für die große Lichtmenge eine kleine, ganz unscheinbare Lichtmaschine, deren Anker durch seinen schnellen Umlauf den zur Beleuchtung nötigen Strom erzeugt. Unterstützung findet diese Maschine in ihrer Aufgabe noch durch eine im Erdgeschoß dieser Halle aufgestellte Sammelbatterie, deren Strom sich zu dem der Maschine gesellt. An einer Schalttafel, die in der Nähe der Lichtmaschine Aufstellung gefunden, wird der Strom unter der sorglichen Überwachung des Maschinenmeisters reguliert, gezügelt und in vorgeschriebenen Bahnen geführt. Den Antrieb der Lichtmaschine besorgt die gleichzeitig zum Kühlbetriebe des Kühlhauses nötige Dampfmaschine, die so groß ist, daß sie 15—20 Pferdestärken (PS) für den Lichtbetrieb übrig hat.

Die gesamte Beleuchtungseinrichtung besteht also, abgesehen von der Antriebsmaschine, aus folgenden Hauptteilen: den Stromerzeugern (Dynamomaschine und Akkumulatorenbatterie), den Stromverbrauchern (Glüh- und Bogenlampen), der (beide verbindenden) Leitung und einer Vorrichtung zur Direktion des Stromes (Schalttafel mit ihren Hilfsapparaten). Diese Hauptteile finden wir bei jeder elektrischen Anlage, selbst bei einer einfachen Hausklingeleinrichtung, wenn auch in anderer Form, wieder.

Eingerichtet ist unsere Beleuchtungsanlage von dem Generalvertreter der Firma Siemens & Halske, Herrn Ingenieur Fleischhauer zu Magdeburg, und befindet sich seit Oktober 1891 in tadellosem Betriebe. Sämtliche Apparate dieser Anlage, bis auf die Akkumulatoren, sind von der Weltfirma Siemens & Halske in großer Vollendung gebaut. Wir wollen nun an der Hand der beigefügten Abbildungen die in unserer Beleuchtungsanlage verwendeten Haupt- und Nebenteile näher kennen lernen und uns mit ihrer Bedeutung und ihren Leistungen vertraut machen.

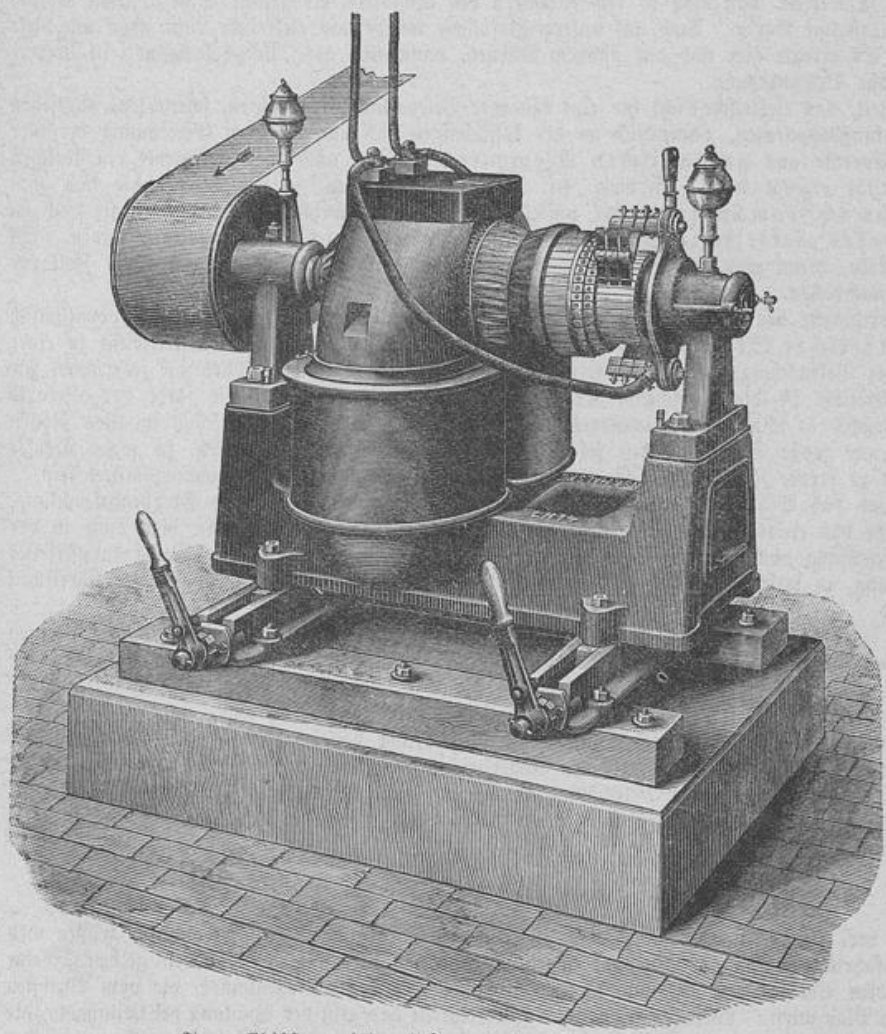

Fig. 1. Gleichstrommaschine mit Trommelanker. (Siemens & Halske.)

Die Dynamomaschine.

Die dynamoelektrische Maschine (kurz Dynamomaschine oder Dynamo genannt) ist wohl die wichtigste technische Errungenschaft dieses Jahrhunderts. Durch sie ist von der Elektrotechnik das Problem gelöst, starke elektrische Ströme auf billige Weise zu gewinnen; sie ist daher der Hauptteil jeder Starkstromanlage, und die heutige Elektrotechnik ist imstande, sie für jede beliebige Stromstärke und Spannung zu bauen. Ihre Formen und Größen sind sehr verschieden. Durch Fig. 1 wird die Gleichstrommaschine unserer Lichtanlage in trefflicher Abbildung dargestellt. Diese Dynamo der genannten Firma ist eine zweipolige Trommelmaschine in Nebenschlußschaltung. Ihre Länge mit der Riemenscheibe beträgt 1115 mm, ihre Breite 778 mm, ihre Höhe 945 mm mit 583 mm Achsenhöhe. Sie wiegt 1030 kg. Ihre normale Betriebsleistung erzielt bei 1030 Umdrehungen ihres Ankers in der Minute 11550 Watt*) (nämlich bei 110 V 105 A und bei 150 V 77 A) mit einer Riemengeschwindigkeit von 16 m in der Sekunde.

*) Die Erklärung dieser Ausdrücke erfolgt auf S. 11.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Von den Teilen der Dynamo ist zunächst der Elektromagnet hervorzuheben. Aus dem eisernen Grundgestell erhebt er sich hufeisenförmig mit zwei starken kurzen Schenkeln, denen Kupferdrahtspulen aufgesteckt sind, und bildet mit dem Grundgestell ein zusammenhängendes Gußstück. Seine Polenden, die sogen. Polschuhe, sind nach außen abgeschrägt und abgerundet. Das viereckige Loch auf der äußeren Fläche dient zum Heben der ganzen Maschine. Nach innen sind die Polschuhe cylindrisch ausgebohrt und umfassen den anderen wichtigen Teil der Maschine, den sogen. „Anker", den man wegen seiner Form Trommelanker nennt. Dieser Anker wird von zwei rechts und links auf das Grundgestell aufgeschraubten Lagerböcken getragen und mittelst der Riemenscheibe, auf welche die Kraft der Dampfmaschine mit einem breiten Riemen angreift, in rotierende Bewegung gesetzt. Seine empfindlichen Teile sind rechts und links durch Messingkappen gegen Verletzungen geschützt. Rechts zeigt die Abbildung der Lichtmaschine, auf der Ankerachse aufgesteckt, eine Walze, den sogen. „Stromsammler" (Kollektor), der aus durch Lufträume von einander isolierten Stahllamellen besteht. Auf ihm schleifen mit leisem Drucke verstellbare Kupferdrahtbündel, die Schleifbürsten, die den elektrischen Strom aufnehmen und ihn durch die angeschraubten Kabel zur Ausnutzung fortführen.

Der Nichteingeweihte wird aus der Beobachtung einer in Thätigkeit befindlichen Dynamomaschine nicht erkennen können, wie Kupfer und Eisen, die die Hauptbestandteile solcher Maschinen ausmachen, solches Wunder verrichten können. Eine Erinnerung an die bekannte Glasscheiben-Elektrisiermaschine der Jugendzeit, die uns etwa den Gedanken brächte, daß hier wie dort durch tüchtige Reibung der Maschinenteile die Elektricität erzeugt würde, müssen wir sofort fallen lassen, wenn wir uns vergegenwärtigen, wie bei solcher Geschwindigkeit des rotierenden Ankers (an unserer Maschine mit 1030 Umdrehungen in jeder Minute) die Stücke desselben umherfliegen würden, wenn er sich an den Magnetschenkeln riebe. Nun verbraucht aber unsere Maschine von noch nicht 1 Meter Höhe für die Bewegung ihrer einen Ankerachse rund 17 PS; wie ist dies nur möglich? Die schwache Reibung der Bürsten auf dem Kollektor hat sicher nicht diese große Betriebskraft nötig. So stehen wir denn zunächst vor einem Rätsel über den Verbrauch der Kraftmenge solcher einfachen Maschine, und doch ist der Kraftverbrauch unserer Maschine im Vergleich zu dem ihrer Schwestern in den Lichtzentralen großer Städte, die 1000 und mehr PS verbrauchen, bescheiden zu nennen. Die gewaltigste Stromerzeugungsmaschine der Welt, die London in einer seiner Lichtzentralen im Betriebe hat, verlangt nicht weniger als 10000 PS zu ihrem Antriebe.

Suchen wir nun uns näher über die Hauptteile der Dynamomaschine zu unterrichten.

Der Elektromagnet. Die epochemachenden Erfolge der Elektrotechnik gründen sich auf die Wechselwirkung zwischen Magnetismus und Elektricität. Bei dieser Wechselwirkung spielt der Elektromagnet sowohl in den modernen Stromerzeugern als auch in fast allen elektrischen Apparaten eine wichtige Rolle, und doch ist er nur eine ganz einfache Vorrichtung aus Eisen und Kupfer. Ein Eisenstab und eine ihn umgebende Kupferdrahtspule bilden ihn. Leitet man einen elektrischen Strom durch den isolierten Kupferdraht der Spule, so wird das Eisen dadurch zu einem kräftigen Magneten gemacht, der alle Eigenschaften eines Stahlmagneten besitzt, ihn aber bei weitem an Kraft übertrifft. Auch die bekannten beiden Pole findet man vor. Das Ende des Eisenstabes, welches, dem Beobachter zugewandt, von dem elektrischen Strome im Sinne der Uhrzeigerbewegung umkreist wird, ist der Südpol, das andere Ende, das im entgegengesetzten Sinne umflossen wird, der Nordpol des Magneten. Unterbricht man den Stromkreis, so verschwindet auch der Magnetismus; doch bleibt bei nicht sehr weichem Eisen ein Teil des einmal erzeugten Magnetismus zurück, der zurückbleibender (remanenter) Magnetismus genannt wird.

Die Gestalt der Elektromagnete kann eine sehr mannigfaltige sein und richtet sich nach dem Zwecke, dem sie zu dienen bestimmt sind. Die gebräuchlichste Form ist die eines Hufeisens. Man kann Elektromagnete von ungeheurer Kraft konstruieren, und es ergiebt sich ihre Stärke einmal aus der Form und Beschaffenheit des Eisens (das weiche Eisen besitzt die größte Erregbarkeit), dann aus der Anzahl der Drahtwindungen und der Stärke des aufgewandten Stroms. Das Produkt aus der Stromstärke und der Anzahl der Drahtwindungen ist ein Maß für die erregte magnetische Energie. Z. B. wirkt eine bestimmte Stromstärke in hundert Drahtwindungen gerade soviel, wie die fünffache Stromstärke in 20 solchen Windungen oder die zehnfache in 10 Windungen. Der erzeugte Magnetismus ist dem Produkt aus der Stromstärke und der Anzahl der Drahtwindungen proportional. Nähert sich ein Eisenstück aber dem Zustande der magnetischen Sättigung, so läßt sich die magnetische Energie nicht mehr in dem Maße steigern, als man den elektrischen Strom und die Anzahl der Drahtwindungen steigert. Man verwendet daher für die recht starken Elektromagnete der Dynamomaschinen kurze und dicke Schenkel, damit die Sättigungsgrenze nicht sobald erreicht wird. Wie bekannt, ist die Wirkung eines Magnets an seinen Polen am stärksten, und der seine ungleichnamigen Pole umgebende Raum, auf welchen sich ihr Einfluß bemerkbar macht, heißt das „magnetische Feld" derselben. Man faßt die magnetische Wirkung als eine von Pol zu Pol gehende magnetische Strömung auf, deren Kraft der Magnetisierungsintensität proportional ist. Für das Auge ist diese Kraftströmung nicht ohne weiteres wahrnehmbar. Man gewinnt aber ein anschauliches Bild derselben, wenn man ein Stück Papier oder eine Glastafel in das magnetische Feld bringt und mit Eisenfeilspänen bestreut. Bei leisem Klopfen ordnen sich dieselben zu regelmäßig gestalteten Linien an. Diese führen von einem Pole strahlenförmig durch den Raum zum nächsten ungleichnamigen Pole und geben in jedem ihrer Punkte die Richtung der dort vorhandenen Kraftströmung an (s. Fig. 2 auf S. 6). „Magnetische Kraftlinien" nennt man diese Linien. Jedes Feilspänchen in diesem Felde ist ein kleiner Magnet geworden, und jede einzelne durch die Eisenfeile gebildete Kurve des Kraftlinienbildes stellt eine Menge aneinandergereihter, kleiner Magnete

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

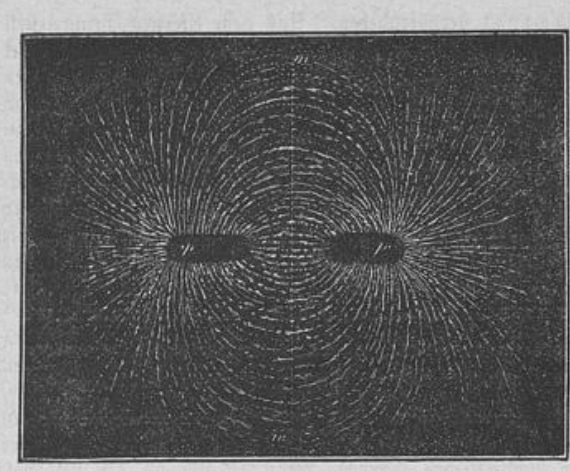

Fig. 2. Durch Eisenfeilspäne sichtbar gemachte magnetische Kraftlinien. p und p sind die Pole, m m ist Indifferenzzone. (Aus Wäber, Lehrb. der Physik, 7. Aufl.)

dar. Die Richtung, nach welcher der Nordpol dieser kleinen Magnete zeigt, nimmt man als die positive Richtung der Kraftlinien an und denkt sich, daß jede magnetische Kraftlinie einen magnetischen Stromkreis bildet, der vom Nordpol durch die Luft, die als magnetischer Leiter zu betrachten ist, zum Südpol, und von hier durch die eisernen Schenkel des Magneten zum Nordpol zurückführt. Je gedrängter diese Kraftlinien in einem Teile des magnetischen Feldes laufen, desto größer ist die an diesem Punkte herrschende Kraft des Magneten.

Das Kraftlinienbild wird ein anderes, wenn man zwischen die Pole des Magneten ein Eisenstück bringt. Die Kraftlinien werden nun von ihrem Wege abgelenkt und in großer Zahl und Dichtigkeit durch das Eisen geführt, da dieses eine etwa tausendmal so große Aufnahmefähigkeit oder Leitbarkeit für magnetische Kraftlinien besitzt als die Luft (vgl. Fig. 6). In dem magnetischen Felde wird das Eisen selbst durch die Aufnahme der magnetischen Kraftlinien ein Magnet.

Diese wenigen Thatsachen genügen, um einzusehen, daß bei der Konstruktion des Elektromagnets unserer Dynamomaschine (Fig. 1) das Bestreben Ausdruck gefunden hat, einen Magneten mit großem Wirkungsgrade zu gewinnen. Für die Bildung eines starken magnetischen Feldes wirken hier günstig einmal die Elektromagnetspulen mit ihrer großen Windungszahl von dünnem Drahte, die bei wenig Stromverbrauch eine starke erregende Kraft entfalten können, dann die dicken Eisenschenkel, die eine große Steigerung der magnetisierenden Kraft gestatten, ohne daß der Sättigungsgrad derselben zu bald erreicht wird. Dadurch, daß die Schenkel mit dem Grundgestell aus einem Stücke hergestellt sind, finden die magnetischen Kraftlinien auf ihrer Kreisbahn durch das Schenkeleisen einen ununterbrochenen Weg. Bei aufgeschraubten Schenkeln würden sie durch Fugen und Luftzwischenräume, welche magnetische Widerstände darbieten, geschwächt werden. Die beiden Polschuhe der Elektromagneten sind deswegen nach außen abgeschrägt und abgerundet, um möglichst alle Kraftlinien durch den in ihrem magnetischen Feld befindlichen Anker zu führen und auf seine Teile gleichmäßig zu verteilen. Damit dürften wir über den „Feldmagneten" der Maschine genügend orientiert sein und kommen nun zu dem zweiten Hauptteile, dem Anker.

Der Anker. Wie durch den elektrischen Strom Magnetismus erzeugt werden kann, so ist auch genau das Umgekehrte möglich, nämlich die Entstehung eines elektrischen Stromes durch Magnetismus. Diese Entdeckung wurde durch Englands größten Experimentator, Faraday, 1832 gemacht. Sie ist von außerordentlicher Bedeutung, denn sie bildet den Ausgangspunkt der modernen Elektrotechnik.

Bewegt man in dem Felde eines Magneten einen zu einem elektrischen Kreislaufe geschlossenen Kupferdraht rasch zu einem Pole desselben hin oder von demselben weg, so entsteht in dem Drahte in jedem Augenblick, in welchem derselbe eine Kraftlinie des Feldes durchschneidet, ein Stromimpuls. Die Menge der durchschnittenen Kraftlinien erzeugt in der geschlossenen Strombahn eine ebensolche Menge von Stromimpulsen, die sich zu einem kurzandauernden Stromstoße summieren, dessen Druckkraft oder elektromotorische Kraft (kurz EMK) um so größer ist, je größer die Geschwindigkeit der Bewegung, und je größer die Kraftlinienzahl des magnetischen Feldes ist, die durchschnitten wird. Durch fortgesetztes Bewegen der Spirale im magnetischen Felde ist man imstande, elektrische Ströme in unerschöpflicher Weise hervorzurufen, ohne daß der Magnet dadurch Einbuße an seiner Kraft, noch die Spirale in ihrer Leistungsfähigkeit erleiden. Sobald aber die Spirale in Ruhe verharrt, entsteht kein elektrischer Strom. Hieraus ist ersichtlich, daß nicht etwa Magnetismus in Elektricität umgewandelt wird, sondern die mechanische Energie es ist, welche hier verbraucht wird, um in der Form von elektrischer Energie wieder zu erscheinen. Auch umgekehrt kann eine frei bewegte Spirale durch einen elektrischen Strom in dem magnetischen Felde in Bewegung versetzt werden. Die Energie wechselt darin nur ihre Form, und der Magnetismus dient lediglich zur Anregung dieser Umwandlung.

Die durch die Bewegung eines Leiters im magnetischen Felde erzeugte Elektricität nennt man „induzierte" oder Induktionselektricität; dieselbe wird sehr verstärkt, wenn man in die Kupferrolle (Induktionsrolle) weiches Eisen einfügt.

Die Anker unserer Dynamomaschinen sind nun weiter nichts als mit Eiseneinschlüssen versehene und zu geschlossenen Strombahnen verbundene Kupferspulen.

Es genügt uns aber nicht allein zu wissen, wie der Induktionsstrom entsteht, wir wollen auch seine Richtung, die für die folgende Darlegung wesentlich ist, bestimmen lernen. Man ermittelt dieselbe mit Hilfe einer Magnetnadel. Die Richtung der induzierten EMK hängt davon ab, ob die in der Zeiteinheit durchschnittene Zahl der Kraftlinien zu- oder abnimmt, was wir in Beziehung auf Fig. 3 (s. S. 7) noch näher erörtern wollen.

In einem durch zwei große und cylindrisch ausgehöhlte Magnetpole gebildeten gleichmäßigen magnetischen Felde, in dem die Kraftlinien fast parallel von einem Pole zum anderen laufen, denken wir uns einen ringförmigen Leiter im

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

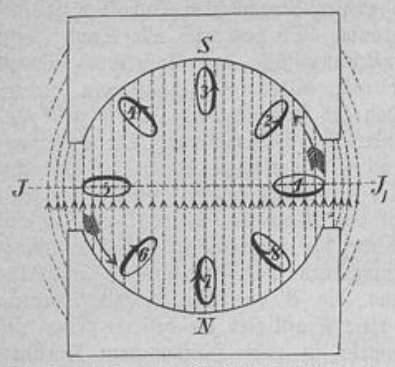

Fig. 3. Ringförmiger Leiter im magnetischen Felde.

Kreise herum in der Richtung von 1 über 2, 3 u. s. w. bis 8 bewegt. In 1 und 5 der neutralen oder indifferenten Zone des Feldes (Fig. 3, $J J_1$) liegt die Ringebene senkrecht zu den Kraftlinien, daher umschließt der Ring in dieser Lage die meisten derselben, aber er durchschneidet keine. Die Induktionswirkung ist hier gleich Null. Auf dem Wege von 1 bis 3 oder von 5 bis 7 nimmt die Zahl der von dem Ringe umschlossenen Kraftlinien ab, aber die der durchschnittenen und damit die EMK zu, um in 3 und 7, in der der Ring parallel zu den Kraftlinien gestellt ist, die maximale Wirkung der Induktion zu geben. Von 3 nach 5 und 7 nach 1 nimmt die Anzahl der umschlossenen Kraftlinien zu, aber die der durchschnittenen und auch die EMK ab. Für die Bestimmung der Stromrichtung der EMK wollen wir die von dem Ringe umschlossene Fläche immer von derselben Sehrichtung, und zwar in der Richtung der Kraftlinien, also vom Nordpol nach dem Südpol hin betrachten und werden dann auf folgende Regel geführt: „Nimmt in dem Leiter die Zahl der durch seine Fläche tretenden Kraftlinien während der Fortbewegung ab, so hat der inducierte Strom die Drehungsrichtung des Uhrzeigers, nimmt dagegen die Anzahl der Kraftlinien zu, so entsteht ein Strom, der der Uhrzeigerbewegung entgegen gerichtet ist."

Nach dieser Regel erhält der Ring in Beziehung auf Fig. 3 in seiner Bewegung von 1 über 2 nach 3 einen Zeigerstrom, der auf der vorderen Ringhälfte von unten nach oben fließt, dessen Richtung aber auch während der Weiterbewegung von 3 über 4 nach 5 ungeändert bleibt, obgleich er, allerdings von der entgegengesetzten Seite betrachtet, ein Gegenzeigerstrom sein muß. Die Stromrichtung bleibt somit während der Bewegung des Leiters in dem Bahnhalbkreise der Südpolseite ungeändert, und zwar so gerichtet, daß er an der vorderen Seite vom Zentrum des Kraftfeldes abgekehrt ist. Dieselbe Betrachtung auf die Bewegung des Leiters in dem Bahnhalbkreise der Nordpolseite übertragen, erzielt auch hier eine für die ganze Polseite einheitliche Stromrichtung, die an der vorderen Seite des Leiters dem Zentrum der Kraftfläche zugekehrt ist. Der Stromwechsel dieser beiden Richtungen tritt während der Bewegung beim Passieren der Indifferenzzone ein.

Dieser Leiter, dem wir bis dahin unsere Aufmerksamkeit schenkten, umfaßt in dem magnetischen Felde nur einen Teil der vorhandenen Kraftlinien. Es ändert sich aber die Gesetzmäßigkeit der Stromrichtung in einem solchen Leiter auch dann nicht, wenn er so weit ist, daß er das ganze magnetische Feld einschließen kann. Fig. 4 soll uns einen solchen Leiter veranschaulichen.

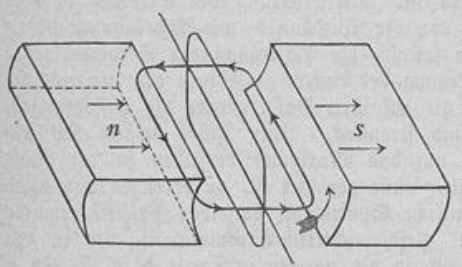

Fig. 4. Rechteckiger Leiter im magnetischen Felde.

Denken wir ihn uns in der Form eines Rechteckes in einem magnetischen Felde um die Mittellinie gedreht, so ergiebt sich aus dem obigen Induktionsgesetze, daß, wenn dasselbe in seiner Bewegung aus der Indifferenzzone nach den Polen des Magneten kommt, also einen Winkel von 90° beschreibt, es in seiner einen Hälfte, der Nordpolseite, einen Zeigerstrom, und in der anderen Hälfte, der Südpolseite, einen Gegenzeigerstrom erhalten muß. Da nun der Draht zusammenhängend ist, so addieren sich diese Stromimpulse der Drahthälften zu einem Gesamtstrome von derselben Richtung. Auch eine weitere Drehung bis zur Indifferenzzone ändert nichts an der Stromrichtung. In der letzten Lage wird das Rechteck wieder stromlos und erhält auf seinem weiteren Wege von hier ab umgekehrten Stromverlauf. Auch hier ist das Ergebnis der Induktion derartig, daß bei der angegebenen Drehungsrichtung und Anordnung der Pole von Fig. 3 die Ströme in den Drähten auf der vordern Seite unter dem Einflusse des Südpols von der Achse her, und unter dem des Nordpols zu ihr hin gerichtet sind.

Nach dieser Darlegung wird es uns nicht schwer fallen, die beiden wichtigsten Ankerarten der Dynamomaschine, nämlich den Ring- und Trommelanker, in ihrer Wirkungsweise verstehen zu können.

Der Ringanker, „Grammescher Ring", wurde durch Gramme in Paris im Jahre 1871 allgemein bekannt, war aber schon 1860 von Pacinotti in Florenz in einer magnetelektrischen Maschine angewendet und 1865 beschrieben worden. Er besteht in einem Eisenringe, der in der Regel aus Eisenblechen (auch aus Eisendraht oder Eisenband) zusammengesetzt ist, die durch Papierzwischenlagen voneinander isoliert gehalten werden. Um diesen Eisenring ist in gleichmäßiger Verteilung isolierter Kupferdraht zu Induktionsspulen aufgewickelt. Unsere kleine, für Handbetrieb gebaute Schulmaschine, die Fig. 5 (s. S. 8) darstellt, ist eine gut wirkende Ringmaschine mit 26 solcher Spulen auf dem Anker; bei großen Maschinen kann die Zahl derselben über 100 und mehr betragen.

Der so bewickelte Eisenring ist senkrecht zu seiner Ebene auf einer Achse befestigt, die auf einem Ende den Stromsammler (Kollektor) trägt. Derselbe besteht aus einem Cylinder, der in der Regel aus Kupfer- oder Broncestreifen gebildet wird, die durch nichtleitende Substanz voneinander und von der stählernen Achse getrennt werden. Die Zahl dieser Metallstreifen richtet sich nach der Spulenzahl des Ringes, und jeder dieser Streifen des Kollektors ist mit dem

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

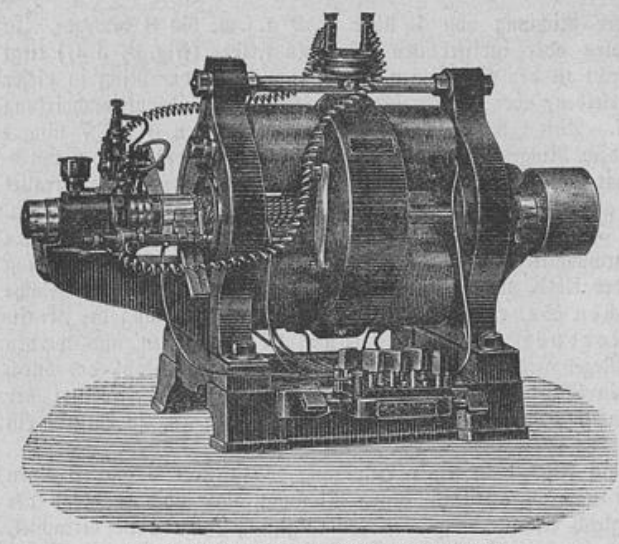

Fig. 5. Ringmaschine von Gebr. Fraaß, Wunsiedel.

Anfang und Ende zweier benachbarten Induktionsspulen verlötet und verschraubt. So sind also alle Spulen des Ringes durch die Leitungsstücke des Kollektors hintereinander geschaltet und bilden eine vollständig gleichlaufende Umwickelung des Eisenringes. Fig. 6 stellt die Skizze eines Ringankers mit 8 Spulen dar. Die Kollektorstreifen a bis h sind im Querschnitt gezeichnet. Befindet sich dieser Ringanker an seinem Platze zwischen den entgegengesetzten Polen des Magneten, so wirkt seine Eisenmasse auf die Richtung der magnetischen Kraftlinien ein; diese werden hier nicht mehr das Feld gleichmäßig durchziehen, wie es uns Fig. 3 darstellte, sondern gehen, da das Eisen für diese Kraftlinien ein besserer Leiter als die Luft ist, nunmehr in zwei Hälften vom Nordpol aus durch das Eisen des Ringes zum Südpol, ohne in den inneren Raum des Ringes einzudringen (s. Fig. 6). So bietet der Eisenring ein vorzügliches Mittel zur Konzentrierung der Kraftlinien und Ausnutzung des magnetischen Feldes für die Induktion, und dabei wird er selbst ein Magnet. Die den Magnetpolen gegenüberliegenden Stellen des Ringes erhalten den entgegengesetzten Magnetismus. Die Stellen desselben, welche die Linie J J_1 in Fig. 6 schneiden, sind unmagnetisch und bilden die neutrale oder Indifferenz-Zone des Eisenringes. Auch bei der Rotation des Ringes zwischen den Magnetpolen bewegt sich zwar das Ringmaterial, doch die Polarität desselben, die ja durch die Magnetpole bedingt ist, bleibt in ihrer festen Lage zu ihnen.

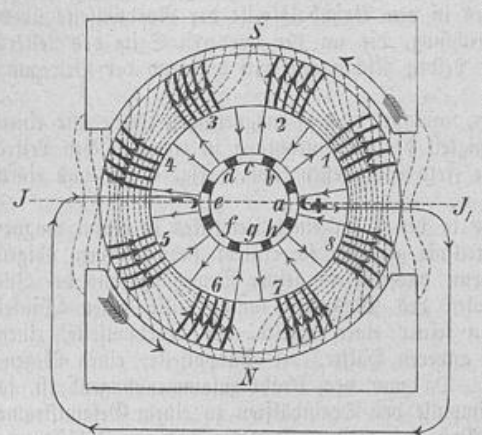

Fig. 6. Skizze eines Grammeschen Ringes.

Mit der Rotation des Ringes bewegen sich auch die auf ihn gewickelten Kupferspulen durch das Kraftfeld, wodurch nach den oben angeführten Sätzen elektrische Ströme induziert werden, die zu erzeugen ja die Aufgabe des Ankers ist. Die Richtung des Stromes in dem ganzen Ankerdrahte hängt von der Wickelungs- und Bewegungsrichtung im Magnetfelde ab. Wir knüpfen die Darlegung des Stromverlaufes an Fig. 6 an, die eine Drehung des Ankers im Sinne der Pfeilrichtung voraussetzt. Die Spulen, die auf ihrer Bahn gerade die Differenzlinie (Fig. 6 J J_1) passieren, sind stromlos. Ihre EMK steigert sich auf dem Wege zu den Polen, um das Maximum derselben in der Linie, die senkrecht zur indifferenten Linie gerichtet ist, zu erreichen und dann wieder abzunehmen. Sämtliche Spulen an derselben Polseite erhalten nach der bekannten Regel gleichgerichteten Stromverlauf, der in den Spulen 1, 2, 3 und 4 der oberen Ringhälfte vorn der Achse abgekehrte und in der unteren in Spule 5, 6, 7 und 8 vorn der Achse zugekehrte Richtung hat. Da nun die Spulen mit einander durch die Kollektor-Lamellen in leitender Verbindung stehen, so summieren sich die Ströme der einzelnen Spulen jeder Seite zu einem Summenstrome, der in der oberen Ringhälfte stets entgegengesetzt zu dem Strome der unteren Ringhälfte läuft. Es fließen also bei der nach der Zeichnung angenommenen Drehungs- und Bewickelungsrichtung des Ankers zwei Induktionsströme, die in der links liegenden Indifferenzstelle J von dem Kollektorsegment e anheben, von dort über die obere und untere Ringhälfte sich ergießen, um sich in dem in der Indifferenzzone rechts liegenden Kollektorstreifen a zu vereinigen. Von dieser Stelle aus wird der Gesamtstrom durch die hier schleifende Kollektorbürste dem äußeren Stromkreise zur Verwendung zugeführt, worauf er weiter durch die zweite Bürste zu der Indifferenzzone J zurückkehrt, um sich hier wieder in zwei Ströme zu spalten.

Wir erhalten also in Beziehung auf das durch Fig. 6 fixierte Bild eines rotierenden Ringes folgenden Stromverlauf: $e \left\{ \begin{matrix} 4\ d\ 3\ c\ 2\ b\ 1 \\ 5\ f\ 6\ g\ 7\ h\ 8 \end{matrix} \right\} a$. Bei fortlaufender Drehung um $^1/_8$ des Umkreises nehmen die Kollektorstreifen d und h die gegenüberliegenden Stellen der Indifferenzzone ein, und die in den beiden Ringhälften erzeugten Ströme haben den Verlauf: $d \left\{ \begin{matrix} 3\ c\ 2\ b\ 1\ a\ 8 \\ 4\ e\ 5\ f\ 6\ g\ 7 \end{matrix} \right\} h$ u. s. w.

Der Grammesche Ring ist eine recht gebräuchliche Ankerform, die in neuester Zeit auch für große Gleichstrommaschinen, die sogen. „Innenpol-Ringmaschinen", Anwendung findet. In unserer Stadt verrichten eine ganze Anzahl

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Ringmaschinen ihre Dienste, weshalb hier die Anführung des Baues und der Wirkungsweise dieses Ankers nicht überflüssig sein dürfte, namentlich aber auch deswegen nicht, weil wir mit seiner Kenntnis eine gute Grundlage für das Verständnis des Trommelankers gewonnen haben.

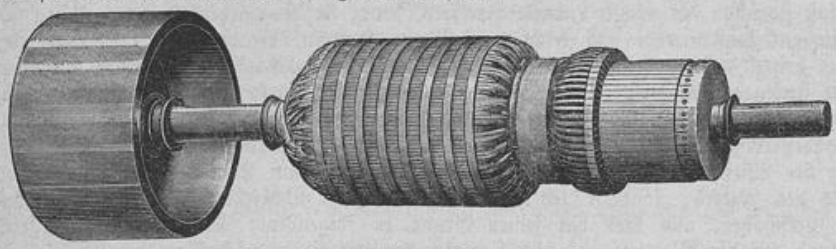

Fig. 7. Trommelanker von Siemens & Halske.

Den Trommelanker, die andere gebräuchliche Ankerform, ersann im Jahre 1872 der Chef-Ingenieur der Firma Siemens & Halske, v. Hefener-Alteneck. Der Eisenkern dieses Ankers ist ein länglicher Cylinder, der aus lauter durchlöcherten und durch Papier von einander isolierten Eisenscheiben zusammengesetzt ist, die durch Bolzen und Schrauben auf der Achse zusammengehalten werden. Dieser Eisencylinder ist nun der Länge nach, also parallel zur Achse, mit isolierten Kupferdrahtlagen knäuelartig bewickelt (vgl. Fig. 7). Unsere Lichtmaschine des Schlachthofs hat eine in 30 gleiche Drahtgruppen (Spulen) eingeteilte Ankerbewickelung, die mit ebensoviel Segmenten des Stromsammlers in entsprechende Verbindung gebracht sind.

Der Stromsammler hat an unserer Maschine eine eigenartige Form. Während er in der Regel, wie schon hervorgehoben, aus durch Zwischenlagen von Papier oder Asbest isolierten Kupfer- oder Broncelamellen besteht, finden wir hier Stahllamellen, die durch Lufträume von einander isoliert sind. Um bei dieser Längsbewickelung des Ankers den Draht vor Beschädigung durch die Centrifugalkraft zu bewahren, wird der Anker, wie an Fig. 7 ersichtlich ist, an mehreren Stellen mit Drahtbändern umgeben. Dieser rotiert nun mit wenig Zwischenraum zwischen den cylindrisch ausgehöhlten Polschuhen des sehr breiten Elektromagneten und giebt einmal durch seine gute Konzentration der magnetischen Kraftlinien seines cylindrischen Eisenkernes, dann dadurch, daß hier der Draht mehr als beim Grammeschen Ringe der induzierenden Wirkung der Magnetpole unterworfen ist, da er sich in sehr engem, daher intensiv magnetischem Felde bewegen muß, ein hohes Güteverhältnis.

In Bezug auf die Richtung der Ströme in dem Ankerdrahte knüpfen wir an das oben zu Fig. 4 Gesagte an. Das Ergebnis der Darlegung war, daß für unseren Trommelanker mit gleicher Drehungsrichtung folgender Stromverlauf eintreten muß: In den Drahthälften der der Einwirkung des Südpols ausgesetzten Ankerseite werden auf der in Fig. 8 dargestellten Stirnfläche die Ströme von der Achse fortfließen, während sie an der anderen Hälfte zu ihr hinfließen werden. An der Hand dieser Fig. 8 soll uns noch klar werden, wie die Ströme der einzelnen Drahtgruppen mit Hilfe des Kollektors in eine Richtung gebracht und zu zwei Summenströmen zusammengefaßt werden. Die Fig. 8 zeigt die den Stromsammler tragende Stirnfläche des Trommelankers und stellt der besseren Übersicht wegen einen Anker mit nur 8 Spulen von je einer Windung und deren Verbindungen mit dem Stromsammler dar. Die Lage der Magnetpole und die Drehungsrichtung des Ankers ergiebt sich aus der Zeichnung. Der Anfang und das Ende jeder Wickelung haben dieselbe Ziffer, für das Ende gilt die Strichziffer. Die Segmente des Stromsammlers sind mit den Buchstaben a bis h bezeichnet, wovon a und e in dieser fixierten Stellung die Indifferenzlinien J J_1 einnehmen. Wie uns von dem Ringanker bekannt geworden, so sind auch hier Anfang und Ende jeder Spule an zwei aneinanderliegende Lamellen des Stromsammlers geführt, und jede Lamelle verbindet den Anfang jeder Spule mit dem Ende der zunächst vorhergehenden. Nur daß der Anfang und das Ende der Spulen sich bei diesem Anker diametral gegenüberliegen, veranlaßt diese scheinbar verwickelte Führung der Drähte zu den Kollektorstreifen. Die links von der neutralen Linie oder Indifferenzzone J J_1 des Ankers auf seine Stirnfläche tretenden Drahtenden (5 1_1 6 2_1 7 3_1 8 4_1) bringen den Strom, die der rechten Seite (1 5_1 2 6_1 3 7_1 4 8_1) führen ihn fort, und wir erhalten in dieser Stellung des Ankers folgenden Stromverlauf der beiden Zweigströme, die von der Kollektor-Lamelle der Indifferenzzone a anheben und bei e zusammentreffen:

$$a \left\{ \begin{matrix} 1\ 1_1\ b\ 2\ 2_1\ c\ 3\ 3_1\ d\ 4\ 4_1 \\ 8_1\ 8\ h\ 7_1\ 7\ g\ 6_1\ 6\ f\ 5_1\ 5 \end{matrix} \right\} e.$$

Bei $^1/_8$ Drehung des Ankers nehmen die Segmente b und f die Indifferenzzone ein, und die beiden Zweigströme fließen dann von b durch den Ankerdraht nach f u. s. f. Auf den Kollektor-Lamellen der Indifferenzzone schleifen die Bürsten. Die obere nimmt aus

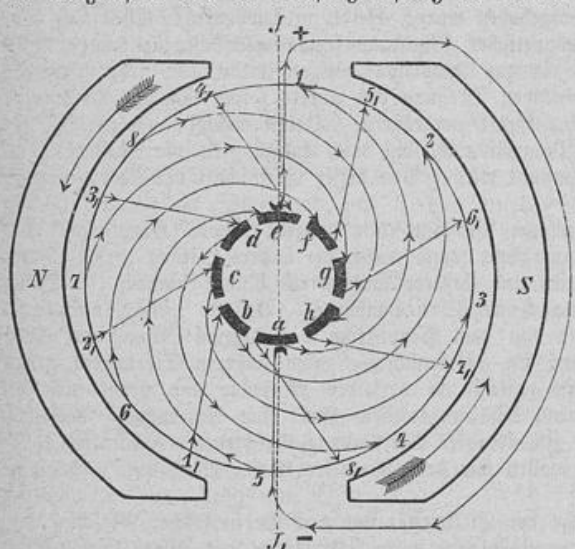

Fig. 8. Stromverlauf auf der Stirnfläche des Trommelankers.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

der Lamelle, in welcher jeweilig die beiden Summenströme zusammentreffen, den vereinigten Strom auf. Von hier aus geht er durch die Gebrauchsleitung zur unteren Bürste, die auf der der ersten diametral entgegengestellten Kollektor-Lamelle schleift. Damit die isolierenden Zwischenräume des Kollektors den Strom beim Abheben der Bürsten nicht unterbrechen, sind letztere so gestellt, daß sie schon die nächste Lamelle berühren, bevor sie die vorhergehende verlassen.

Die Bürsten selbst stecken in gut konstruierten und leicht verstellbaren Haltern, die uns Fig. 1 von unserer Maschine recht deutlich zur Anschauung bringt. Auch bemerken wir dort an jeder Stromabnahme statt einer größeren Bürste drei parallele, im Bürstenhalter steckende Bürstenteile. Mit einer solchen geteilten Bürste gewinnt man an vielen Stellen des Kollektorsegments eine innigere Berührung als mit einer ungeteilten großen. Auch kann man während des Betriebes einen Bürstenteil behufs Ausbesserung abheben, ohne den Betrieb zu stören. Aber noch etwas ist an unserer Abbildung in Bezug auf die Stellung der Bürsten ersichtlich. Wir finden die tangential am Stromabgeber schleifenden Bürsten nicht in der neutralen Linie des Ankers, sondern sehen sie im praktischen Betriebe stets, wie hier, im Sinne der Drehrichtung des Ankers verschoben, und dies hat seinen Grund in folgendem: Die im Anker erregten magnetischen Pole üben eine Rückwirkung auf die Magnete aus und bewirken dadurch eine Verschiebung der Kraftlinien und auch der neutralen Linien des Ankers. Die richtige Stellung der Bürsten wird in der Praxis immer durch Einstellung auf die geringste Funkenentwickelung erkannt werden.

Zerteiltes Ankereisen. Die Induktionswirkung des magnetischen Feldes beschränkt sich nicht allein auf die Kupferdrahtspulen, sondern bezieht sich auf jeden beliebigen bewegten Leiter; so kommt es, daß in dem Eisenkörper des rotierenden Ankers gleichfalls Induktionsströme erzeugt werden. Diese sogen. Wirbel- oder Foucaultschen Ströme erhitzen den Anker, auch erschweren sie unnötig seine Bewegungen, weshalb sie immer einen Verlust an mechanischer Arbeit bringen. Die oben angegebene Verteilung des Ankereisens bezweckt nun, die Bahn dieser Ströme, die parallel der rotierenden Ankerachse verläuft, zu unterbrechen, um diese Ströme dadurch, wenn auch nicht ganz zu zerstören, so doch sehr zu beschränken. Um das Ankereisen aber nicht zur Leitung der Kraftlinien untauglich zu machen, dürfen seine Zerteilungsebenen nur senkrecht zur Richtung der Drahtbewickelung und parallel zur Drehungsrichtung und zur Richtung der Kraftlinien auftreten. In radialer Richtung ist diese Trennung zu vermeiden.

Das dynamoelektrische Prinzip. Die hier beschriebenen Anker wurden anfangs durch Stahlmagnete zur Stromerzeugung erregt. Da diese aber nur eine beschränkte Stärke haben, so war auch die Leistungsfähigkeit solcher Magnet-Maschinen eine sehr geringe. Erst die Entdeckung des „dynamoelektrischen Prinzips" durch Werner Siemens (1866), welches die Verwendung der Elektromagnete ermöglicht, gestattet eine fast grenzenlose Steigerung der Leistung solcher Maschinen und hat eine ganz neue Ära der Elektrotechnik hervorgerufen. Die nach diesem Prinzipe gebauten Maschinen sind solche, deren magnetisches Feld durch Elektromagnete gebildet wird, und die den zu ihrer Erregung nötigen Strom für ihre Drahtbewickelung von dem Anker derselben Maschine entnehmen.

Wenn wir nun wissen, daß die im Gange befindliche Dynamomaschine ihr magnetisches Feld mit ihrem eigenen Strome erzeugt, so muß es rätselhaft erscheinen, wie solche Maschine zu ihrer Kraft bei der Inbetriebsetzung kommt. Sie ist ja, wenn sie stillsteht, stromlos und bedarf doch zunächst eines Stromes, der ihre Magnetschenkel zur Erzeugung eines magnetischen Feldes anregt. Bei Maschinen mit Stahlmagneten ist stets ein zur Induktion nötiges Feld vorhanden.

Wie bei der Besprechung der Elektromagnete bereits hervorgehoben wurde, bleibt im gewöhnlichen Eisen von dem in ihm einmal erregten Magnetismus immer ein schwacher magnetischer Rückstand (remanenter Magnetismus) übrig und schafft so bei ihrem Anlauf in der stromlosen Maschine ein zur Induktion nötiges, wenn auch sehr schwaches magnetisches Feld. Dieses schwache Feld erzeugt bei der beginnenden Drehung des Ankers sofort schwache Ströme in ihm, die, durch die Drähte über die Elektromagnete geleitet, ihre Kraft vergrößern. Damit wächst auch zugleich der Induktionsstrom, und so steigern sich gegenseitig Strom und Magnetismus, bis nach kurzer Zeit die Maschine das Maximum ihrer Leistungsfähigkeit erreicht hat und der Strom konstant wird. Von dieser Eigenschaft der Selbsterregung rührt ihre Benennung: Dynamo-(Kraft-)Maschine her.

Schaltung der Maschine. Führt man in einer solchen Maschine den ganzen Strom (Hauptstrom) des Ankers von der einen Bürste durch die Wickelung ihrer Elektromagnete, dann durch die äußere Leitung zurück zu der anderen Bürste des Ankers, so daß hier also Anker, Elektromagnet und äußerer Stromkreis hinter einander (in Serie) geschaltet sind, so heißt solche Maschine eine Hauptschlußmaschine (Serienmaschine). Bei der „Nebenschlußmaschine" zweigt man für die Bewickelung der Magnetschenkel von dem Hauptstrom der äußeren Leitung nur einen kleinen Teil des Ankerstromes ab, so daß die Magnetbewickelung im „Nebenschlusse" zum äußeren Stromkreis gelegt ist (s. Fig. 25). Endlich hat man auch beide Schaltungsweisen zugleich an derselben Maschine und nennt dieselben „Verbund- (Compound-) Maschinen". Diese verschiedenen Schaltungsweisen sind eine Anwendung desselben dynamoelektrischen Prinzips und verleihen der Maschine für die Zwecke ihrer Verwendung verschiedenen Charakter.

Unsere Lichtmaschine ist eine Nebenschlußmaschine, deshalb wollen wir dem Charakter solcher Maschinen noch einige Aufmerksamkeit widmen. Ihre Schaltung zeigt Fig. 25.

Es ist ohne weiteres verständlich, daß die größere Menge der Elektricität von den ihr in solcher Maschine von der Ankerklemme aus gebotenen zwei Wegen stets den bequemeren einschlagen wird. Ist dieser der äußere Stromkreis, so wird sich für die Magnetbewickelung nur eine geringe Stromstärke abzweigen, die also auch geringen Magnetismus und daher einen schwachen Strom im Anker hervorbringen wird. Nimmt der Widerstand im äußeren Stromkreis zu, so

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

hat dies eine Steigerung der Stromstärke im Nebenschluß zur Folge, wodurch ein stärkeres magnetisches Feld und eine große EMK im Anker hervorgerufen wird. „Die Stromstärken in beiden Zweigen verhalten sich umgekehrt wie ihre Widerstände.“ Da es aber notwendig ist, die Spannung im äußeren Stromkreis auch bei wechselndem Stromverbrauch auf einer bestimmten gleichen Höhe (der Betriebsspannung) zu erhalten, gleichviel, ob mehr oder weniger Lampen brennen, oder mehr oder weniger Widerstand vorhanden ist, so sind Einrichtungen erforderlich, durch welche die Spannung reguliert wird, was am besten durch die Regulierung der magnetischen Wirkung geschieht. Zu diesem Zwecke ist in der Magnetbewickelung unserer Maschine ein durch Handkurbelschaltung zu verändernder Zusatzwiderstand eingeschaltet, den wir weiter unten als Nebenschlußregulator kennen lernen werden.

Das Maß des elektrischen Stromes und die Arbeitsleistung der Maschine.

Wenn nun auch der elektrische Strom eine hervorragende Bedeutung in unserem ganzen Kulturleben gewonnen hat, so konnte doch sein Wesen bisher noch nicht ergründet werden. Also die Frage, was diese unsichtbare und unwägbare Naturkraft ist, die der Mensch gewinnt, fortleitet und zu mannigfachen Dienstleistungen zwingt, kann bis heute noch nicht genügend beantwortet werden. Die Kraftäußerungen des elektrischen Stromes lassen sich aber auf das genaueste verfolgen und messen. Es ist zum Verständnis der Arbeitsleistung des elektrischen Stromes notwendig, uns einige Begriffe des elektrischen Maßsystems geläufig zu machen.

Bei jeder in Betrieb gesetzten elektrischen Anlage bewegt sich der elektrische Strom in einem fortgesetzten Kreislaufe, von der einen der beiden Polklemmen des Stromerzeugers anhebend, durch die Hinleitung zu den Verbrauchsapparaten und von dort durch die Rückleitung zu der anderen Polklemme zurück. Die Elektricitätsmenge, das ist die „Stromstärke“, die in jeder Sekunde in solchem Stromkreise in Bewegung ist, hängt in erster Linie von der Stromquelle, dann aber auch von der Länge und Beschaffenheit des Weges, nämlich der Stromleitung, ab. Recht anschaulich ist der Vergleich der strömenden Elektricität mit dem in einer Rohrleitung fließenden Wasser, bei dem dann die Elektricität dem Wasser, der leitende Draht den Röhren der Wasserleitung entspricht. Die das Wasser treibende Kraft, das Gefälle oder die den Druck hervorrufende Ursache der Wasserleitung, ist gleichbedeutend mit der elektrischen Druckwirkung oder elektromotorischen (d. i. Elektricität in Bewegung versetzenden) Kraft (kurz EMK) des Stromerzeugers, die man auch „Spannung“ nennt. Diese ist der Größenunterschied, der in dem elektrischen Zustande während der Erregung der Stromquelle andauernd zwischen ihren beiden Polklemmen herrscht und die Elektricität von einer Polklemme durch den Stromkreis zur anderen Polklemme treibt.

Wie das Wasser bei dem Fließen in Röhren durch die Reibung an den Wänden einen Widerstand zu überwinden hat, der um so größer wird, je enger und länger die Rohrleitung ist, so setzt auch jede Drahtleitung der Triebkraft des elektrischen Stromes einen hemmenden Widerstand entgegen, dessen Größe ebenfalls von dem Querschnitte und der Länge des Drahtes abhängig ist. Da nun aber die verschiedenen Metalldrähte bei demselben Querschnitt verschiedene Leitungsfähigkeit besitzen, so ist der Widerstand im Stromkreise auch von der Leitungsfähigkeit des Drahtes abhängig. Die Stromstärke wird daher um so größer sein, je größer die Spannung und je geringer der Widerstand in der Leitung ist. Die Abhängigkeit dieser drei Größen von einander drückt das nach seinem Entdecker genannte Ohmsche Grundgesetz der Elektrotechnik, wie folgt, aus: „Die Stromstärke ist gleich der elektromotorischen Kraft, dividiert durch den Widerstand.“

Auf dem internationalen Kongreß der Elektrotechniker, der 1881 in Paris tagte, sind für diese drei Fundamentalgrößen Maßeinheiten festgesetzt und mit den Namen berühmter Physiker belegt worden. Diese drei jetzt allgemein gebräuchlichen Einheiten sind: 1) das Volt (V), die Einheit für die Spannung oder die EMK, 2) das Ohm (O), die Einheit für den Widerstand, und 3) das Ampère (A), die Einheit für die Stromstärke. Das Volt ist etwa gleich der EMK eines Daniel-Elements. Verbindet man dessen Pole mit 100 m des gewöhnlichen Telegraphendrahtes, so findet der elektrische Strom in diesem Kreislaufe einen Widerstand von 1 Ohm, und die Stromstärke, die mit der Druckkraft (EMK) von 1 Volt durch einen Widerstand von 1 Ohm getrieben wird, hat die Größe von 1 Ampère. Bei dem 2fachen, 3fachen, 4fachen u. s. w. Widerstande der Drahtleitung wird die EMK von 1 V nur eine Stromstärke von $^1/_2$ A, $^1/_3$ A, $^1/_4$ A u. s. w. erzielen. Wird dagegen die Spannung 2-, 3-, 4fach u. s. w. gesteigert, so wird der elektrische Strom bei demselben Widerstande gleich 2-, 3-, 4fach u. s. w. stark sein: „Die Stromstärke ist dem Widerstande umgekehrt, aber der Spannung direkt proportional.“

Gebrauchen wir zum Betriebe von Turbinen und Motoren die Wasserkraft, so ist die Arbeitsleistung dieser Kraft gleich dem Produkte aus Wasserdruck und Wassermenge. Auch die Arbeitsleistung des elektrischen Stromes ergiebt sich aus dem Produkte der entsprechenden Größen, also aus Spannung und Stromstärke. Die elektrische Leistung, das Voltampère (VA), heißt auch Watt.

Unsere Maschine hat nun, wie schon bemerkt, eine Leistungsfähigkeit oder Klemmenspannung von durchschnittlich 105 A bei 110 V, das ist eine elektrische Arbeitsleistung von 11550 Watt. Nun entspricht eine mechanische Pferdestärke (PS) = 736 Watt. Wollten wir die für die oben angegebene Leistung unserer Maschine nötige Kraftbeanspruchung zahlenmäßig bestimmen, so haben wir noch zu berücksichtigen, daß bei der Umsetzung von mechanischer Kraft in Elektricität

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

durch die Dynamo 90% Güteverhältnis, also 10% Verlust in Rechnung zu setzen sind. Es beanspruchen somit 11550 Watt eine Kraftleistung von 11550 : (736 . 0,9) = 17,4 PS.

Die Schulmaschine, durch welche unsere Anstalt zu jeder Zeit über eine bequeme und starke Stromquelle verfügt, hat eine Gesamtleistung von 500 Watt (10 A bei 50 V), wofür sie etwa 1 PS verbraucht. Wir setzen diese Maschine durch die gern zur Verfügung gestellte Muskelkraft der Schüler in Betrieb, und solcher Handbetrieb lehrt am besten die Stelle der Maschine auffinden, an der sie die große Betriebskraft verbraucht, deren sie zur Erzeugung starker Ströme bedarf. Läuft die Maschine bei offenem Stromkreise, also leer, so läßt sich ihr Anker spielend leicht drehen. Schließt man aber den Stromkreis, so kostet es sofort große Anstrengung, den vom Strome durchflossenen Anker durch das entstandene starke magnetische Feld zu treiben. Es erscheint dem Drehenden, als müsse er nun den Anker durch einen überaus zähen Körper bewegen, der seinen Lauf stetig hemmt.

Hier in dem magnetischen Felde, in welchem der Ankerdraht die Kraftlinien desselben zu durchschneiden hat, findet der große Kraftverbrauch solcher Maschinen statt, also genau an derselben Stelle, an der, wie wir gesehen, ihre EMK entsteht. Daher sind solche Maschinen weiter nichts als die Wechsler der genannten Energien.

Die Akkumulatoren.

Nächst der Dynamomaschine ist die Akkumulatoren-Batterie ein wichtiger Teil unserer Anlage, eine elektrische Nebenstation, wenn wir so wollen. Die Akkumulatoren sind für den elektrischen Betrieb das, was bei den Gasanstalten und Wasserleitungen die Gas- und Wasserreservoire sind, nämlich Sammelapparate oder Sparbüchsen für die elektrische Energie, die allerdings nicht wie ein greifbarer Körper eingeschlossen werden kann, sondern behufs einer Aufspeicherung erst in chemische Energie umgewandelt werden muß.

Diese elektrischen Sammelapparate sind eine geniale Erfindung der letzten Jahre und in ihrer Einrichtung höchst einfach, weiter nichts als Gefäße mit verdünnter Schwefelsäure, in welchen Bleiplatten stehen.

Um zu einem Verständnis der Wirkungsweise eines solchen Stromsammlers zu gelangen, stellen wir in ein Glas, welches mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt ist, zwei Bleiplatten in möglichst geringem Abstande einander gegenüber. Bringen wir dann diesen Apparat in den Stromkreis einer elektrischen Batterie oder einer Dynamomaschine, so beginnt sofort eine chemische Einwirkung des elektrischen Stromes auf den Apparat, die sich durch Aufsteigen einer Menge Gasbläschen in der Schwefelsäure kund thut. Der galvanische Strom muß nämlich, um in dem Gefäße von der einen, der positiven Bleiplatte (der Anode), zu der anderen, der negativen (der Kathode), zu gelangen, seinen Weg durch die Schwefelsäure ($H_2 SO_4$) nehmen, wodurch dieselbe (in $SO_3 + O + 2H$) zerlegt wird. An der positiven Platte, an die der Strom zuerst gelangt, scheidet sich der Sauerstoff aus, der hier mit dem Blei eine Verbindung eingeht und diese Platte nach und nach mit einer braunen Schicht von Bleisuperoxyd überzieht. Der Wasserstoff der zersetzten Schwefelsäure wird an die negative Platte, wo der Strom den Akkumulator verläßt, ausgeschieden, und jene erhält durch seine Einwirkung dabei ein ganz blankes Aussehen, denn hier verbindet sich der Wasserstoff mit jeder Spur des in dem grauen Bleioxyd gebundenen Sauerstoffes und strömt dann nach Beendigung dieser Reduktion in Form kleiner Gasbläschen aus der Flüssigkeit empor. Die durch den galvanischen Strom entstandene wasserfreie Schwefelsäure (SO_3) bildet sich durch Aufnahme von Wasser (H_2O) sogleich wieder zu wasserhaltiger Säure ($H_2 SO_4$) um, worauf sie sofort durch die elektrische Einwirkung wieder zersetzt werden kann. Es wird also durch das Laden eine gewisse Menge Wasser verbraucht, wodurch der Säuregehalt der Flüssigkeit größer wird.

Von wesentlicher Bedeutung ist bei dem ganzen Vorgange die Bildung des braunen Überzuges von Bleisuperoxyd an der positiven Platte, der um so stärker sein wird, je poröser die Oberfläche derselben ist, je tiefer also die Oxydation in die Platte eindringt. Treten auch an dieser positiven Platte Gasbläschen, also freier Sauerstoff auf, so haben wir dadurch ein Zeichen, daß der Sauerstoff nicht weiter in die Platte einzudringen vermag. Der Akkumulator ist nun als geladen zu betrachten, jede weitere Zuführung von Elektricität ist nutzlos und geht mit den entweichenden Gasen verloren.

Unsere beiden durch den galvanischen Strom veränderten Bleiplatten besitzen nun eine gewisse EMK, eine Spannungsdifferenz. Es hat sich diese Zelle durch den verwendeten galvanischen (primären) Strom in ein galvanisches (sekundäres) Element umgebildet, welches aus Bleisuperoxyd und metallischem Blei in verdünnter Schwefelsäure besteht. Die elektrische Energie ist in chemische umgewandelt und läßt sich in dieser Form aufbewahren.

Der Akkumulator ist nun imstande, sogleich oder in späterer Zeit die in ihm aufgehäufte chemische Energie wieder in elektrische umzuformen, sobald die beiden Platten durch einen Leitungsdraht verbunden werden.

Benutzen wir den geladenen Akkumulator als galvanisches Element und schließen seine Stromleitung, so geht der Strom in einer der Ladung entgegengesetzten Richtung durch die Schwefelsäure und den äußeren Schließungsdraht. Er zerlegt wieder die Schwefelsäure und scheidet den Wasserstoff an der Bleisuperoxydplatte ab, der hier mit einem Teile des Sauerstoffes Wasser bildet (die Säure also verdünnt) und so den Überzug der Platte zu Bleioxyd umwandelt, mit dem sich die Schwefelsäure zu Bleisulfat ($Pb SO_4$) vereinigt. Der Sauerstoff dagegen wird an der reinen Bleiplatte ausgeschieden, an deren Oberfläche er Bleioxyd bildet, das auch hier in Bleisulfat verwandelt wird. Nach der Umbildung des Bleisuperoxydes hat sich die chemische Spannung ausgeglichen, der Strom hört auf, und

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

der Akkumulator ist entladen. Die chemische Energie ist wieder in elektrische zurückgeführt, und der Akkumulator muß für weitere Dienstleistung von neuem geladen werden.

Solche Erscheinungen der Polarisation waren schon im Anfange dieses Jahrhunderts bekannt; aber erst 1860 gelang es dem Chemiker Planté in Paris, brauchbare sekundäre Elemente von größerer Stärke herzustellen. Durch wiederholtes Laden und Entladen („Formierung" der Platten genannt) machte er die Bleiplatten porös und für größere Aufnahmefähigkeit von Sauerstoff geeignet. Eine Anzahl solcher Zellen vereinigte Planté zu einer Batterie, welche ihm die Aufspeicherung einer beträchtlichen Menge elektrischer Arbeit gestattete.

Jetzt baut man Akkumulatoren nach ganz verschiedenen Systemen, die namentlich in der Konstruktion und der Präparierung der Bleiplatten zum Zwecke eines guten Aufspeicherungsvermögens von einander abweichen.

Für unsere Beleuchtungsanlage im städtischen Schlachthof ist eine Tudor-Akkumulatoren-Batterie von 60 Elementen (Zellen), Type „Nr. 6b'", aus der Akkumulatorenfabrik in Hagen im Gebrauch.

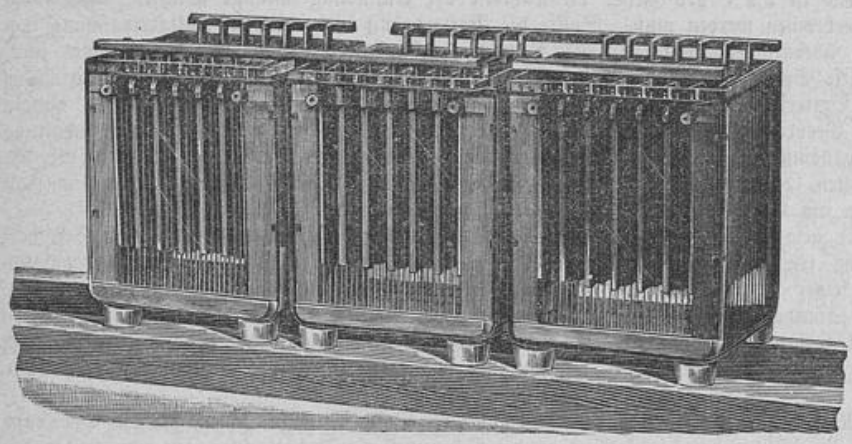

Fig. 9. Drei Akkumulatorzellen der Akkumulatoren Fabrik A.-G. Hagen i. W.

In Glaskästen von je 36 cm Länge, 27 cm Breite und 42 cm Höhe hängen mit seitlich angebrachten Nasen auf starken Glasplatten 5 negative und zwischen ihnen 4 positive Platten, so daß also jede positive Platte von negativen eingeschlossen wird. (Fig. 9 stellt drei Zellen einer solchen Batterie mit je 7 negativen und 6 positiven Platten dar.)

Die 4 positiven Platten jeder Zelle sind an einer Seite und die 5 negativen an der anderen Seite verlötet. Zwischen je 2 Platten stehen 3 Glasröhren von etwa 1 cm Durchmesser, die die Platten auseinanderhalten. Unterhalb der Platten hat man in den Gefäßen einen über 5 cm freien Raum gelassen, damit das herabfallende Bleioxyd keine leitende Verbindung im Elemente giebt, die eine Zerstörung desselben nach sich ziehen würde. Diese 60 Zellen stehen nun zweireihig in zwei Etagen auf einem Holzgerüst im Erdgeschoß der Maschinenhalle auf isolierenden Untersätzen. Sie sind alle hintereinandergeschaltet, d. h. die positiven Platten des ersten Elements sind mit den negativen des zweiten, die negativen des zweiten mit den positiven des dritten u. s. w. verbunden, so daß vom ersten Element die negativen und vom letzten die positiven Platten an die Leitung angeschlossen werden.

Die Herstellung der Bleiplatten ist nach dem System der Gebrüder Tudor vorgenommen. Zur Vermehrung ihrer Oberfläche besitzen sie eine große Anzahl horizontaler konischer Nuten. Die positiven Platten werden zuerst mehrere Monate in der Fabrik „formiert", dann getrocknet, darauf mit sogen. aktiver Masse (einem Brei von verdünnter Schwefelsäure und Mennige) ausgestrichen, wieder getrocknet und dann wieder kurze Zeit formiert. Die negativen Platten werden nur mit aktiver Masse ausgestrichen, aber nicht formiert. So kamen die Platten hier an und wurden von dem Monteur zu Elementen zusammengesetzt. Die in die Elemente gefüllte verdünnte Säure hat 19° B. (mit dem Aräometer nach Beaumé gemessen; ihr spezifisches Gewicht ist 1,15, die Konzentration 20%). Im Betriebe aber steigt der Säuregehalt der normalen Ladung auf 20° B. und fällt bei der normalen Entladung auf 18° B.

Die Akkumulatoren-Batterie schließt sich so an die Anlage an, daß sie parallel zur Dynamo und der Verbrauchsleitung geschaltet ist, wie das Schaltungsschema der Anlage in Fig. 25 zeigt. Diese Schaltung ermöglicht einesteils, die Batterie in einfachster Weise zu laden, und gestattet anderenteils, wenn es sich nötig macht, das Brennen von Lampen während der Ladezeit. Im Hauptlichtbetriebe können dann Maschine und Batterie im Verein die Leitung speisen, wobei die Batterie eine vorzügliche Handhabe zur Regulierung der Spannung abgiebt. Endlich gewährt diese Schaltung die Möglichkeit, den Lichtbetrieb durch die Maschine oder die Batterie allein vornehmen zu können.

Wie wir wissen, finden beim Laden und Entladen der Akkumulatoren auf der Oberfläche der Elektroden chemische Vorgänge statt, die am Ende jeder Periode genau wieder dem entsprechenden früheren Zustande gleichkommen. Wird nun dem Akkumulator im normalen Betriebe eine sorgfältige Behandlung zuteil, so bringt dieses stetige chemische Wechselspiel auf der Oberfläche der Bleiplatten keine Abnutzung derselben mit sich, und wir können eine große Haltbarkeit und hohe Lebensdauer der Batterie als sicher annehmen, wenn auch die Erfahrung hierüber sich erst auf 10 Jahre erstreckt. Vor allem erweist sich die Bildung von Bleisulfat für die Aufspeicherung und Haltbarkeit der Batterie schädlich; deshalb müssen die Zellen immer im Besitze einer gewissen EMK verbleiben, die solcher Bildung entgegenstrebt, und die bei der Batterie im normalen Betriebe in jeder einzelnen Zelle nicht unter 1,8 V sinken darf. Da nun die Betriebsspannung

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

unserer Anlage für 110 V eingerichtet ist, so ergiebt sich daraus, daß 110 : 1,8 = 60 Zellen die passende Zahl für unsere Anlage sind.

Die höchste Stromstärke, mit der unsere Batterie durch die Dynamo geladen werden darf, beträgt 32 A. Während des Ladens steigt die EMK der Batterie in den ersten 4 Stunden langsam, dann schneller bis auf 2,75 V pro Zelle, also für die ganze Batterie auf 60 . 2,75 = 165 V und wird dann unterbrochen. Unsere Dynamo, die, wie wir wissen, für eine Leistung von 105 A bei 110 V gebaut ist, darf nur für das Laden 32 A bei 110 bis 165 V hergeben. Es muß sich also, wenn sie für diese Aufgabe brauchbar sein soll, ihre Leistungsfähigkeit (ihre Klemmenspannung) in weiten Grenzen veränderlich gestalten lassen, was mittelst des Nebenschlußregulators geschieht.

Der maximale Entladestrom, den die Batterie nach Garantie 5 Stunden lang leisten kann, darf nicht über 30 A betragen. Die Entladung der Batterie, welche, wie schon hervorgehoben wurde, wieder eine Umbildung der chemischen Energie in elektrische vorstellt, ergiebt 33 V Spannungsverlust, daher setzt die Batterie für die Entladung mit einer Entladespannung von 132 V ein, das ist 2,2 V pro Zelle, die während der Entladung anfangs schneller, dann langsamer auf 1,8 V sinkt und nun unterbrochen werden muß. Sollte die Batterie mit dieser ganzen Entladespannung von 132 V im Anfange die Beleuchtung übernehmen, so würden die Lampen, die auf 110 V Spannung eingerichtet sind, erheblich geschädigt werden. Für diese Spannung genügen schon 50 Zellen der Batterie. Es ist also eine Einrichtung nötig, durch welche 10 Zellen der Batterie abgeschaltet werden können, die dann, wenn die Spannung sinkt, einzeln zugeschaltet werden. So kann die Verbrauchsspannung immer auf gleicher Höhe erhalten werden. Diese Schaltung wird mit dem „Zellenschalter" vorgenommen. Derselbe ermöglicht in unserer Anlage, noch weitere 11 Zellen, also im ganzen 21 Zellen ab- und zuzuschalten, damit auch während des Ladens Lampen brennen können, in welchem Fall dann schon 110 : 2,75 = 40 Zellen am Ende der Ladung die nötige Spannung in der Beleuchtung herstellen.

Ist die Akkumulatoren-Batterie geladen, so kann sie monatelang unbenutzt stehen, wie dies ja in den Sommermonaten, in welchen die Beleuchtung keine Verwendung findet, wirklich geschieht. Der Akkumulator erleidet dadurch keinen Schaden, nur geht ein Teil seiner Ladung durch die chemische Einwirkung zwischen Platten und Säure verloren. Ihn aber ungeladen länger als 24 Stunden stehen zu lassen, ist schädlich, weil sich dann an der Oberfläche der Platten eine reichliche Menge von festem Bleisulfat bildet, das sich sehr schwer wieder in poröses Superoxyd an der positiven und schwammiges Blei an der negativen Platte umbilden läßt und so der Kapazität des Akkumulators erheblichen Schaden bringt.

Auch die Vorschrift, alle 2 Monate eine Überladung der Akkumulatoren-Batterie vorzunehmen, die die Spannung derselben über 175 V treiben darf und erst beendet sein soll, wenn der Säuremesser während einer Zeit von 4 Stunden um nichts mehr gestiegen ist, hat lediglich den Grund, das an den Platten haftende Bleisulfat einer energischen und andauernden Einwirkung der beiden Gase Wasserstoff und Sauerstoff im Moment des Entstehens auszusetzen und umzubilden.

Eine Überentladung dürfte im normalen Betriebe nicht vorkommen. Sollte eine solche ausnahmsweise notwendig werden, die eintreten müßte, wenn etwa während des Betriebs plötzlich die Betriebsmaschine oder die Dynamo den Dienst versagte, so dürfte solch seltene Überanstrengung bei den soliden Platten keinen Schaden hervorbringen.

Fragen wir noch nach dem Nutzeffekt, d. i. nach dem Verhältnis der Leistung unserer Batterie zu der bei ihrem Laden aufgewendeten Energie, so muß zugegeben werden, daß nicht die ganze elektrische Arbeitsleistung der ladenden Maschine beim Entladen der Batterie nutzbar gemacht werden kann. Eine beträchtliche Menge elektrischer Energie geht durch diese Aufspeicherungsart, die eine zweimalige Umwandlung derselben beim Laden und Entladen ist und daher auch zweimalige Wechselgebühr erfordert, verloren. Fassen wir zunächst nur die bei der Entladung in Ampère-Stunden gemessene Leistung der Batterie ins Auge, die nach Garantie 150 Ampère-Stunden ausmacht, so ist für diese zu liefernde Strommenge eine Ladezeit von etwa 5 Stunden bei 32 A Stromstärke notwendig. Das giebt einen Verlust von 10 Ampère-Stunden oder 6,7 % der Elektricitätsmenge; mithin bleibt ein Wirkungsgrad von 93 % übrig.

Um nun den Verlust der elektrischen Arbeit zu berechnen, ist aber noch die EMK, die Spannung, die doch einen wesentlichen Faktor der elektrischen Arbeitskraft ausmacht, in Rechnung zu bringen. Wie wir wissen, ist die Ladespannung der Batterie erheblich höher als die dafür bei der Entladung gewonnene.

Der berechnete Mittelwert der Ladespannung ist etwa 2,2 V, der der Entladespannung 1,9 V für jede Zelle. Somit beträgt die dem ganzen Akkumulator in 5 Stunden zugeführte elektrische Energie in Watt-Stunden: 5 . 2,2 . 60 . 32 = 21120 Watt-Stunden. Dafür leistet er: 5 . 1,9 . 60 . 30 = 17100 Watt-Stunden, das giebt einen Verlust von 4020 Wattstunden oder 20 %. Also ist der Nutzeffekt in elektrischer Arbeit 80 %. Im gewöhnlichen Betriebe, in dem nicht die größte Sorgfalt auf die Ladung und Entladung verwendet werden kann, ist nur auf einen Nutzeffekt von 75 % zu rechnen. Wie wir sehen, ist hier ein hoher Prozentsatz an Wechselgebühr zu tragen und somit der elektrische Strom, den wir der Akkumulatoren-Batterie entnehmen, im Verhältnis zu dem der Dynamomaschine ein teurer. Dennoch bietet ihre Verwendung in der Beleuchtungsanlage große Vorteile, und jede neuere Gleichstromanlage wird damit ausgerüstet.

Die Zusammenwirkung von Akkumulator und Dynamomaschine mit entsprechender Schaltung gestattet in unserer Anlage einen recht ökonomischen Beleuchtungsbetrieb, indem der Akkumulator genau die Stelle übernimmt, die der Gasometer bei der Gasbeleuchtung hat.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Da der Stromverbrauch während der Betriebszeit ein ungleichmäßiger ist, so übernimmt der Akkumulator jederzeit die Differenz zwischen der gewonnenen und verbrauchten elektrischen Energie. Wenn z. B. bei Beginn der Dunkelheit die Dynamomaschine zunächst für eine geringe Lampenzahl in Betrieb gesetzt wird, so ist der erzeugte Strom der Stromquelle größer als der verbrauchte. Diese überschüssige Kraft, die ohne Akkumulator nutzlos verloren gehen würde, wird dem Akkumulator zugeführt. So ermöglicht der Akkumulator die Aufspeicherung auch der Abfälle der elektrischen Energie. Bei sich steigerndem Verbrauche übernimmt die Maschine mit ihrer ganzen Kraft die Beleuchtung, und endlich beim Maximalverbrauche übernehmen beide, Akkumulator und Dynamo, vereint die Speisung der Lichtleitung. Gleichzeitig hat hierbei der Akkumulator die Aufgabe der Regulierung der Verbrauchsspannung.

Ist der Maschinenbetrieb eingestellt, so bietet der Akkumulator mit seiner aufgespeicherten Energie eine zuverlässige Reserve, die noch am späten Abend oder an dunklen Wintermorgen zur Beleuchtung einiger Räume Verwendung finden kann, oder endlich für die Notbeleuchtung bei Störung des Maschinenbetriebes eine nicht zu unterschätzende Sicherheit gewährt.

Die elektrischen Lampen.

Die elektrische Energie, deren Erzeugungs- und Aufbewahrungsweise uns bisher beschäftigt hat, ist eine Naturkraft, die in ihrer eigentlichen Form als solche nicht Verwendung finden kann. Was ihr die große Bedeutung in der Technik verschafft, ist ihre Fähigkeit, sich leicht in andere Kraftarten umbilden zu lassen, in einer Vielseitigkeit, wie keine andere Naturkraft es gestattet. Man braucht den elektrischen Strom nur durch Drähte, Kohlenfäden oder Kohlenstäbe zu führen, um ihn in Wärme und Licht umzubilden. Leitet man ihn um Eisen, so macht er dasselbe zum Magneten und wird durch diese Kraftform zu akustischen und mechanischen Wirkungen geführt. Nimmt er seinen Weg durch Flüssigkeiten, so leistet er in diesen chemische Arbeit. Uns soll hier nur die Verwendung der elektrischen Energie zur Erzeugung von Licht beschäftigen, für welchen Zweck ihre starken Ströme bis jetzt am häufigsten Anwendung gefunden haben.

Eine direkte Überführung der elektrischen Energie in Lichtenergie ist zur Zeit noch nicht möglich. Die Umbildung der elektrischen Energie in Wärme aber giebt uns die Lichtenergie als Nebenleistung, freilich mit großem Verlust an Strom, der hierbei in die für das Auge nicht sichtbare Wärmeenergie übergeht.

Für die elektrische Beleuchtung verwendet man zwei Lichtarten, das Glühlicht und das Bogenlicht, die sich beide in unserer Beleuchtungsanlage vorfinden.

Die Glühlichtlampe. Es ist eine allbekannte Erfahrung, daß der galvanische Strom den Stromkreis, den er durchfließt, mehr oder weniger erwärmt, wodurch ein Teil seiner Energie in Wärme umgewandelt wird. Nach dem Gesetze des englischen Physikers Joule ist die Wärmemenge, die ein elektrischer Strom auf seinem Wege in jeder Sekunde hervorbringt, gleich dem Produkte aus dem Quadrate der Stromstärke und dem Widerstande des Leiters. Verwendet man dieselbe Stromstärke für verschiedene Leiter, so gewinnen wir bei demjenigen die größere Wärmemenge, dessen Substanz dem Strome den größten Widerstand entgegensetzt, und man kann nach Belieben durch größeren oder geringeren Widerstand in der Leitung eine größere oder geringere Menge der Elektricität in Wärme umbilden.

Schaltet man sonach ein Leitungsstück von großem Widerstande bei geringer Länge, z. B. einen dünnen Eisen- oder Platindraht, in einen Stromkreis ein, so wird derselbe zum Glühen, ja selbst zum Schmelzen gebracht und strahlt dabei ein helles Licht aus. Auf diesem Prinzipe des Glühens eines kurzen Leitungsstückes von großem Widerstande beruht die Einrichtung der elektrischen Glühlampe.

Da alle Metalle, auch das Platin, durch den galvanischen Strom geschmolzen werden, so erwies sich bald bei den Versuchen die Kohle als bestes Glühmaterial. Sie schmilzt bei keiner bekannten Wärme und leuchtet außerdem in glühendem Zustande in sehr hellem Lichte. Nun verbindet sich aber glühende Kohle leicht mit dem Sauerstoffe der Luft und verbrennt. Um dies zu verhindern, mußte der Kohlenfaden in ein luftleeres Gefäß eingeschlossen werden.

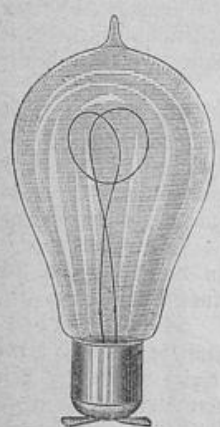

Fig. 10. Glühlichtlampe von Siemens & Halske.

Edison schuf (1879) die ersten brauchbaren Glühlampen und führte sie in die Praxis ein. Er benutzte verkohlte Bambusfasern zu seinen Kohlenbügeln. Jetzt liefern Baumwolle, Papier, Leinen, Gelatine u. a. m. Rohstoffe für die Kohlenfäden solcher Lampen.

Als diese Lampe zuerst in den Handel kam (1881), kostete sie 25 ℳ, und heute kann man sie in vorzüglicher Konstruktion noch unter 1 ℳ pro Stück kaufen.

Die Glühlampen unserer Lichtanlage (Fig. 10) entstammen der Firma Siemens & Halske und werden auf folgende Weise hergestellt: Auf einer glatten Glasscheibe wird Kollodium (d. i. in Alkohol und Äther gelöste Schießbaumwolle) in einer dünnen Schicht gleichförmig ausgebreitet, getrocknet und mit einer Maschine in schmale Streifen von passender Länge geschnitten, die dann durch ein heißes Biegeeisen hufeisenförmig oder spiralig gebogen und durch Glühen in Kohlenpulver unter Luftabschluß verkohlt werden. Die so erhaltenen Kohlenfäden müssen nun zu einer gleichmäßigen Dichte und auf denjenigen Widerstand reguliert werden, welcher der Erfüllung ihrer Aufgabe entspricht. Zu diesem Zwecke bringt man sie durch einen Strom im Kohlenwasserstoffgase (z. B. im Leuchtgase) zum Glühen, wodurch sich aus diesem Gase Kohlenteilchen ausscheiden und auf den Kohlenfaden niederschlagen. Da durch das Glühen des Fadens seine dünneren

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Stellen am heißesten werden, so setzt sich auch an diese mehr Kohle an, und man erhält so einen gleichmäßig festen und dichten Faden, dem man jeden gewünschten Widerstand zu geben vermag.

Der fertiggestellte Kohlenfaden ist sehr elastisch und sieht wie ein Stahldraht aus. Er wird nun an die spiraligen Enden zweier dünnen, in Bleiglas eingeschmolzenen Platindrähte angeschlossen und mit diesen Zuleitungsdrähten in birnenförmige Glasbehälter eingesetzt.

Zur Gewinnung des luftleeren Raumes in der Birne verbindet man sie durch ein Ansatzrohr mit der Quecksilberluftpumpe, welche die Luft aus ihr entfernt, worauf die Lampe am Grunde des Ansatzrohres zugeschmolzen wird. Zur Zuführung des Stromes müssen dünne Platindrähte deswegen Verwendung finden, weil Platin von allen Metallen allein annähernd mit dem Glase die gleiche Ausdehnung erleidet, mithin die innige Verbindung des Drahtes und Glases im Lampenfuße durch keine ungleiche Ausdehnung beider während ihrer Erwärmung gelockert wird. Da die Lampen nicht unmittelbar an den herausführenden Enden des Platindrahtes eingeschaltet werden, so sind sie an zwei Messingplättchen (Kontakte) befestigt, die durch Gips am Fuße der Lampe in einen Messingring eingekittet und isoliert sind. Die Lampen sind nun zum Gebrauche fertig. Sie werden in der Prüfstation auf ihre Lichtkraft, ihre Spannung und ihren Energieverbrauch untersucht und sortiert. Jede Glühlichtlampe ist für eine bestimmte Spannung und Leuchtkraft gebaut. Wird das vorgeschriebene Maß der Spannung einer Lampe überschritten, so leuchtet sie zwar stärker und mit weißerem Lichte, aber ihre „Lebensdauer" wird dadurch erheblich verkürzt.

Die Leuchtkraft einer Lichtquelle ermittelt man durch Vergleichung mit einer Lichteinheit, und diese ist die Flamme einer „Normalkerze" (NK), d. i. einer Paraffinkerze von 20 mm Durchmesser bei 50 mm Flammenhöhe. Sie besitzt $^1/_{20}$ desjenigen Lichtes, welches 1 qcm Fläche geschmolzenen Platins bei seiner Erstarrungstemperatur ausstrahlt, und diese Lichtmenge wird als Einheit allen photometrischen Messungen zugrunde gelegt.

Die in unserer Anlage am meisten verwendete Glühlampe ist die 16kerzige Lampe, die etwa die $1\frac{1}{2}$fache Leuchtkraft einer gewöhnlichen Gasflamme besitzt. Zur Beleuchtung der Straße und des Hofes unserer Anlage wurden 25kerzige, für die Treppen und Vorräume dagegen 10kerzige Lampen angebracht. Alle sind auf die für Glühlicht besonders geeignete Spannung von 110 V eingerichtet, und es verbraucht bei dieser Spannung die 16kerzige 0,50 A (= 55 Watt), die 25kerzige 0,78 A (= 86 Watt) und die 10kerzige 0,32 A (= 35 Watt); das giebt einen Effektverbrauch von 3,1 bis 3,5 Watt pro Kerze.

So werden also z. B. 13 Lampen zu je 16 NK Leuchtkraft eine Pferdestärke verbrauchen. Bringen wir die 160 Lampen unserer ganzen Anlage als lauter 16kerzige in Berechnung, so sind zu deren Betrieb zusammen 55 . 160 = 8800 Watt elektrischer Arbeit zu leisten; da nun 1 Watt = 1 : 736 PS ausmacht, so verbrauchen diese 160 Lampen (8800 : 736) rund 12 PS und geben dafür 16 . 160 = 2560 NK Leuchtkraft.

Die Brenndauer der Glasglühlampen ist aber keine ewige, sie altern durch den Gebrauch. Jede Lampe ohne Ausnahme ist einem allmählichen Rückgange ihrer Lichtstärke und einer Zunahme von Kraftverbrauch unterworfen. Da die Glasglocken nie vollständig luftleer zu machen sind, so findet die Oxydation ihres Kohlenfadens immer in gewissem Grade statt. Auch werden von dem Faden während des Gebrauches Kohlenpartikel auf die Innenfläche der Lampe übertragen und trüben dieselbe, wodurch die Wand der Lampe einen großen Teil des Lichtes absorbiert; dazu bietet der allmählich dünner gewordene Faden dem Strome mehr Widerstand dar, weshalb die Lampe, da sie nun weniger Strom erhält, an Leuchtkraft verliert.

Man sollte alte, getrübte Lampen eher, als es gewöhnlich geschieht, gegen neue vertauschen. In der Regel läßt man sich aber erst durch das Zerreißen des Fadens zu solchem Umtausch bewegen. Die durchschnittliche Brenndauer der Lampe beträgt 800—1000 Stunden.

Durch die Erfindung der Glühlampe ist es gelungen, die Teilung des elektrischen Lichtes, die anfangs so großen Schwierigkeiten begegnete, auf jede beliebige Stärke zu bringen und jedem praktischen Bedürfnisse anzupassen. Die Glühlampe ist die elektrische Hauslampe und ihr Licht zur Beleuchtung von Innenräumen der Theater und Privathäuser das beste.

Fig. 11. Lampenfassung mit Ausschalter.

Das Licht der Glühlampe ist dem Auge angenehm; es erwärmt die Luft fast gar nicht und entwickelt keine Verbrennungsprodukte, verdirbt also auch die Luft nicht, wie es das Gaslicht thut. Die Gefahr einer Entzündung an der Glühlichtlampe ist ausgeschlossen; denn wird die Glashülle der brennenden Lampe zerschlagen, so verlöscht die Lampe augenblicklich. Sie giebt keine Unsauberkeiten und gestattet neben einer leichten Handhabung eine elegante Ausstattung und Anbequemung an die verschiedentlichen Einrichtungen.

Zur Aufnahme der Lampen sind in der Leitung Fassungen in Form der durch Fig. 11 abgebildeten mit und ohne Ausschalter angebracht, welche ein schnelles Auswechseln durch den sogen. Bajonettverschluß ermöglichen.

Die Bogenlampe. Wird ein starker elektrischer Strom an zwei Kohlenstäbe geführt, deren Spitzen sich berühren, so erhitzen sie sich stark; entfernt man sie hierauf einige Millimeter von einander, so werden die Kohlenenden in Weißglut versetzt, und es bildet sich der elektrische Lichtbogen zwischen ihnen.

Da die Luft ein Nichtleiter der Elektricität ist, so sollte man meinen, daß die trennende Luftschicht zwischen den Kohlenenden eine Unterbrechung des Stromkreises hervorrufen müsse. Wenn aber die Spannung des galvanischen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Stromes groß genug ist (etwa 40 V) und auch seine Stärke einige Ampères ausmacht, so kann er diesen Luftwiderstand zwischen den Kohlenelektroden, sofern dieser eine gewisse Größe nicht überschreitet, überwinden. Er geht dann von einer Kohle durch die Luft zur andern über, wobei die Luft sehr stark erwärmt wird, zum Glühen kommt und eine flammenartig wogende Lichtgarbe bildet. Die Kohlenenden geraten in Weißglut und strahlen ein starkes, blendendes Licht aus, welches an Helligkeit alle anderen Lichtquellen der Erde übertrifft. Es reißen sich dabei besonders von der positiven Elektrode fortwährend Kohlenteilchen los und fliegen leuchtend zu der anderen hinüber. Während die negative Elektrode spitz bleibt und wenig leuchtet, bildet sich an der positiven eine weißglühende, kraterförmige Vertiefung, die die meisten Lichtstrahlen des Bogenlichtes hergiebt und dabei doppelt so schnell als die andere verbrennt, weshalb man ihr die doppelte Stärke der anderen giebt. (Vgl. Fig. 12.)

Wird nun durch dieses Abbrennen der Kohlenenden der Abstand derselben und dadurch die trennende Luftschicht so groß, daß der elektrische Strom den sich ihm entgegenstellenden Widerstand nicht mehr überwinden kann, so verlischt der Flammenbogen. Man muß also, soll sich der Lichtbogen andauernd erhalten und ruhig brennen, die Kohlen beweglich machen und in demselben Tempo einander nähern, in welchem ihr Abbrennen stattfindet. Diejenigen Apparate nun, die dieser Forderung entsprechen, heißen Bogenlampen. Bei ihren künstlichen Mechanismen spielen die Elektromagnete die Hauptrolle, und von einer sachgemäßen Konstruktion des Regulierungsmechanismus hängt das ruhige Brennen der Lampe ab.

Die Konstruktionen der Bogenlampen sind außerordentlich verschieden. Wir wollen an dieser Stelle nur die Einrichtung der in unserer Lichtanlage verwendeten „Bandlampe" von Siemens & Halske näher erörtern.

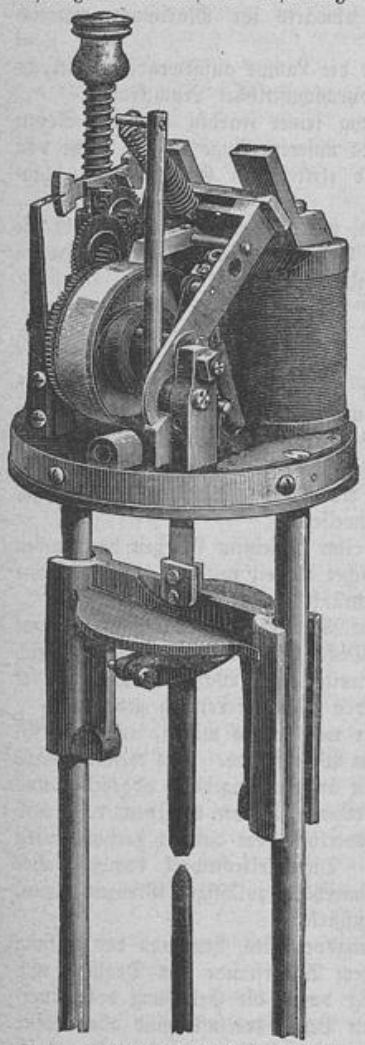

Fig. 12. Bandlampe von Siemens & Halske.

Die Bandlampe (Fig. 12) ist eine Nebenschlußlampe und hat ihren Namen von dem Kupferbande erhalten, welches den oberen Kohlenhalter trägt. Ihr Reguliermechanismus liegt auf einer gußeisernen Platte und macht den Oberbau der Lampe aus. Der regulierende Elektromagnet hat aufgeschraubte, schiefe Polschuhe und ist durch seine beiden mit feinem Drahte bewickelten Spulen zwischen den Klemmen der Lampe in den Nebenschluß geschaltet. Seinen Anker stellt der im Mechanismus der Lampe leicht erkennbare schrägstehende Rahmen vor. Derselbe ist unten auf horizontaler Achse drehbar und trägt die mit einem Zahnkranze versehene Bandtrommel, dazu ein darüber stehendes Triebwerk mit Hemmvorrichtung, durch welches die Bandtrommel in ihrem Umlauf gehindert werden kann. Die Schwere des Rahmenankers und die des am Trommelbande hängenden Kohlenhalters, sowie die magnetische Anziehungskraft führen nach abwärts und bringen die Kohlen aneinander. Diesen beiden Kräften wirkt die oben an dem Rahmenanker angebrachte kräftige Abreißfeder entgegen, sie hebt die oberen Kohlen zur Bildung des Lichtbogens empor. Der senkrecht links neben die Trommel gestellte federnde Haken hat die Aufgabe, den Balancierer des Triebwerkes an seiner Zunge festzuhalten.

Die Wirkungsweise der Lampe ist nun folgende: Tritt bei auseinanderstehenden Kohlen der Strom in dieselbe ein, so kann er seinen Weg von ihrer positiven Klemme aus nicht über die einander gegenüberstehenden Kohlenstäbe nehmen, sondern ist gezwungen, den zweiten unbequemeren Weg durch den Nebenschluß zu wählen, und macht den Elektromagneten magnetisch. Sogleich zieht dieser seinen Anker abwärts, indem er den Gegenzug der Abreißfeder überwindet. Trommel mit Triebwerk werden gleichzeitig durch den Rahmenanker fortgeführt. Dadurch wird der Balancierer frei, und das Triebwerk setzt sich in Bewegung. Das Kupferband wird durch das Gewicht des oberen Kohlenhalters von der Trommel abgewickelt, und Kohlenhalter nebst Kohle sinken langsam herab, bis die obere Kohle auf die untere stößt. Nunmehr nimmt der Strom den kürzeren und bequemeren Weg über die Kohlen. Dieselben entzünden sich, und der Nebenschluß wird stromlos. Die Abreißfeder zieht den Anker und damit zugleich den Rahmen und die obere Kohle hoch. Nun entsteht der Lichtbogen. Das Laufwerk wird durch den Haken gesperrt, und es stellt sich im Mechanismus der Lampe zwischen der Abreißfeder und dem Elektromagneten das Gleichgewicht her. Je größer der Lichtbogen wird, desto größer wird auch der Widerstand des Hauptstromkreises in der Lampe, so daß der Strom im Nebenschluß nach und nach wieder die Stärke erhält, mit der er das Triebwerk auf wenige Sekunden zum Nachrücken der Kohle frei macht, bis das Gleichgewicht der wirkenden Kräfte wieder hergestellt ist.

Die kleine, den Rahmenanker abwärts ziehende Feder hat die Aufgabe, das Gewicht, welches seine abwärts führende Zugkraft durch das Abbrennen der oberen Kohle verliert, auszugleichen.

Zum Schutze der Lampe gegen Schmutz und Witterungseinflüsse wird ihr

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Mechanismus durch eine gut anschließende gußeiserne Kappe bedeckt, welche oben die Klemmen trägt. Die Kohlenstäbe nebst ihrem Halter werden mit einer runden Glaskugel umgeben, die das grelle Licht der Lampe etwas dämpft, gleichzeitig aber auch das Herabfallen glimmender Kohlenteilchen verhindert.

In unserer Anlage sind 8 solcher Lampen im Gebrauch: 6 Lampen von je 6 A und 2 von je 9 A Stromstärke bei 40 V Klemmenspannung, die mit ihrem Vorschaltswiderstand bei 110 V Betriebsspannung eine elektrische Energie von etwa 3000 Watt verbrauchen, das sind etwa 4 PS.

Die verwendeten Kohlenstäbe sind rund und werden aus sehr harter Kohle künstlich hergestellt. Ihr Querschnitt richtet sich nach der Stromstärke, für welche sie bestimmt sind. Die positive, stärkere Kohle ist die Dochtkohle, das ist eine Kohle, die in der Mitte einen Docht aus weicher, gut leitender und leichter abbrennbarer Kohle besitzt. Man unterstützt durch solche Einrichtung die Kraterbildung an dieser Kohle und zwingt den Strom, zum größten Teile in der Achse der gegenübergestellten Kohlen überzutreten, wodurch ein ruhiges und gleichmäßiges Licht erzielt wird. Zur negativen Kohle der Lampe verwendet man eine sogen. Homogenkohle. Da das Licht solcher Gleichstromlampen am besten nach unten geworfen wird, so benutzt man den stärkeren, positiven Kohlenstift als Oberkohle.

Nach den Angaben der Fabrik rechnet man bei unseren Lampen für je 1 A 100 NK durchschnittliche Leuchtkraft. Danach würden diese 8 Lampen zusammen 5400 Normalkerzen geben und für die NK nur 0,5 Watt beanspruchen, während die Glühlampe für jede NK durchschnittlich 3,4 Watt verzehrt. Es ist also durch die Bogenlampe im Verhältnis zur Glühlampe eine 6mal so günstige Ausnutzung der elektrischen Energie gegeben.

Die Gleichstromlampe hat eine eigentümliche Art, ihr Licht zu verbreiten. Während man z. B. von einer 6 A-Lampe in horizontaler Richtung 300 NK erhält, giebt sie unter einem Winkel von 45° abwärts ihr Maximum, nämlich 1500 NK.

Man baut die Bogenlampen für verschiedene Stromstärken, und nach der für die Lampe aufgewendeten Stromstärke richtet sich auch ihre Lichtstärke. Es giebt derartige Lampen mit 40 000 NK durchschnittlicher Leuchtkraft.

Das Licht der Bogenlampe ist weiß, es steht in Bezug auf die Zusammensetzung seiner Farben dem der Sonne sehr nahe, ist also auch an blauen und violetten Strahlen reich. Deshalb erscheint es unserem Auge in der Nähe von Lichtarten mit vorherrschend roten und gelben Strahlen, also z. B. von Gas- und elektrischem Glühlicht, in bläulicher Farbe.

Für Leuchttürme, zur Beleuchtung von Straßen, Plätzen und größeren Räumen, wie Hallen und Sälen, giebt die Bogenlampe die beste Lichtquelle ab; es hat sich denn auch die Verwendung dieser Beleuchtung in den großen Hallen unserer Anlage, deren hohe und helle Wandflächen das Licht gut zurückwerfen, vorzüglich bewährt.

Die Leitung des galvanischen Stromes.

Die Fortleitung der strömenden elektrischen Energie von ihrem Entstehungsorte zu den Verbrauchsstellen hin und zurück geschieht durch die Leitungsdrähte. Gehorsam folgt der Strom den oft unbequemen Wegen dieser Drähte, ihren unzähligen schraubenförmigen Windungen über Spulen, den winkligen, krummen und geraden Bahnen einer ober- oder unterirdischen Leitungsanlage mit großer Geschwindigkeit. Willig läßt er sich in jedem Maße auf verschiedene Stromläufe verteilen und vom Zentrum der Anlage nach allen Richtungen einer beliebigen Anzahl von Verbrauchskörpern zuführen. Eine gleiche Leitungs- und Verteilungsfähigkeit hat keine andere Kraft aufzuweisen.

Wie schon hervorgehoben, setzt jede Drahtleitung dem elektrischen Strome einen ihn in seinem Fließen hemmenden Widerstand entgegen, und dieser Widerstand bringt immer einen Verlust an elektrischer Arbeit mit sich. Die Leitung des Stromes ist daher so einzurichten, daß dieser Verlust auf ein geringes Maß beschränkt bleibt.

Man verwendet als Leitungsmaterial das Kupfer, weil dieses von allen unedlen Metallen dem elektrischen Strome den geringsten Widerstand darbietet, also eine gute Leitungsfähigkeit besitzt. Die Dicke der Drahtleitung richtet sich einmal nach der Stromstärke, die hindurchgeleitet werden soll, wie die Rohrweite einer Wasserleitung nach der Wassermenge, dann aber auch nach dem Druck- oder dem Spannungsverluste, den man der Leitung geben will.

Ein Leiter wird durch den ihn durchfließenden elektrischen Strom erwärmt, wie wir bereits wissen, und zwar ist nach Joule die sich bildende Wärmemenge gleich dem Quadrate der Stromstärke mal dem Widerstande. Die dieser Energie entsprechende Elektricität wird von der Leitung in Form von Wärme ohne jeden Nutzen an die Umgebung abgegeben und stellt somit einen Betriebsverlust dar. Wollte man sich zur Leitung starker Ströme dünner Drähte bedienen, d. h. also der Leitung großen Widerstand geben, so kann, abgesehen von dem erheblichen Betriebsverluste, der dadurch hervorgerufen würde, die große Erwärmung der Leitung leicht einen gefährlichen Grad erreichen. Die Elektrotechnik bemißt daher den Durchmesser der Drähte so, daß ihre Temperaturerhöhung durch den Strom innerhalb zulässiger Grenzen bleibt. Für unsere Anlage kommen auf 1 qmm Leitungsquerschnitt durchschnittlich 2 A Stromstärke.

Die Dicke der Drahtleitung ist aber auch noch nach der Größe des Spannungsverlustes, den man der Leitung geben will, zu bemessen. Da nach Ohm die Spannung gleich dem Produkte aus dem Widerstande des Drahtes und der Stromstärke ist, so folgt auch hieraus, daß der Spannungsverlust in der Leitung durch die Erhöhung des Querschnittes desselben vermindert werden kann. Es bringen also starke Leitungen geringen Betriebsverlust, sind aber dafür auch teurer.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Für unsere Anlage, in der die Verbrauchsorte des Stromes nur geringe Entfernung von der Dynamo haben, sind die Kosten für die Leitung nicht erhebliche, es brauchte also mit dem Kupfergewichte der Leitung nicht gespart zu werden, und es geht daher bei dem Betriebe dieser Anlage nur ein geringer Teil der täglich erzeugten Arbeit durch den Widerstand in der Leitung verloren.

Das wenigste Leitungsmaterial wäre erforderlich, wenn der Stromerzeuger und die zu speisenden Lampen einen einzigen Stromkreis bildeten, so daß der Strom eine Lampe nach der anderen durchflösse. Diese Reihen- oder „Hintereinanderschaltung" hat aber einen großen Nachteil. Zunächst erhält solch ein Stromkreis einen zu großen Widerstand, der immer gleich der Summe der Widerstände aller Lampen und dem der Zuleitung ist. Für unsere kleine Lichtanlage würde das schon einen Widerstand von über 34 000 Ohm ausmachen, wofür eine Betriebsspannung von über 17 000 V nötig wäre. Solche hohe Spannung darf wegen ihrer Gefährlichkeit in Räumen, in denen Menschen verkehren, nicht Anwendung finden. Man giebt der Leitung in bewohnten Räumen nicht über 200 V Spannung. Außerdem würden bei solcher Schaltung die Lampen nicht unabhängig von einander brennen, und das Verlöschen einer Lampe würde gleich den ganzen Stromkreis unterbrechen und den Betrieb aufheben.

Ganz unabhängig von einander aber brennen die Lampen in der von Edison eingeführten und jetzt allgemein gebräuchlichen „Parallelschaltung", die auch in unserer Lichtanlage zur Anwendung gekommen ist. Man gewinnt ein ideales Bild dieser Schaltungsweise, wenn man annimmt, daß von der Stromquelle aus jede einzelne Lampe ihre eigene Leitung habe. Es wären dann für die 160 Glühlichtlampen, von deren Schaltung wir zuerst reden wollen, auch 160 Leitungskreise nötig. Nun haben aber sämtliche Lampen unserer Anlage gleichen Widerstand und sind auf die verschiedenen Räumlichkeiten der Anlage verteilt, befinden sich also in ungleicher Entfernung von der Stromquelle. Wollte man diesen ungleich langen Stromwegen gleichen Querschnitt geben, so würden solche Leitungskreise dem Strome verschiedenen Widerstand darbieten. Die entfernteren Lampenleitungen mit größeren Widerständen würden der elektrischen Energie auch größere Spannungsverluste bereiten als die näheren. Solch eine Leitung müßte eine ungleiche Verteilung der elektrischen Energie nach sich ziehen, und die Folge davon wäre, daß diese Lampen ungleich brennen würden. Während die der Stromquelle nahe Lampe übermäßig viel Licht erzeugte und in kürzester Zeit zerstört wäre, würden die entferntesten Lampen ihren Kohlenfaden kaum zur Rotglut erhitzen können. Das darf nicht sein. Wir sehen also, daß alle Lampenkreise derselben Anlage, um gleiche Stromverteilung und gleichmäßiges Brennen der Lampen zu erzielen, auch gleiche Widerstände haben müssen, was durch eine richtig bemessene Stärke der Zuleitungsdrähte erreicht wird. Je näher der Stromquelle eine Lampe brennt, um so dünner, und je ferner, um so dicker ist ihr Leitungsdraht zu nehmen. Jede Leitung giebt aber dem Betriebe durch ihren Widerstand einen von der durchfließenden Stromstärke abhängigen Spannungsverlust, welcher nach dem Ohmschen Gesetz ($V = A . O$) ermittelt wird. Dieser Spannungsverlust ist in unserer Anlage durch die Verwendung starker Leitungen recht gering und beträgt nicht über 1,5 V im Durchschnitt, gewiß ein recht „rentabler" Spannungsverlust.

Der erforderliche Querschnitt jeder Zuleitung ist mit großer Sorgfalt nach praktisch erprobten Formeln oder hierfür konstruierten Tabellen zu berechnen. Handelt es sich z. B. um die Bestimmung der Drahtstärke von 4 Lampenleitungen, die zu einzelnen Lampen in 10, 20, 30 und 80 m Entfernung führen sollen, deren Hin- und Rückleitung also 20, 40, 60 und 160 m ausmachen, so sind für die Berechnung des Querschnittes dieser Leitung die der Lampe zuzuleitende Stromstärke (0,5 A), der festgesetzte Spannungsverlust (1,5 V), die Drahtlänge und der spez. Widerstand des Kupfers (0,0185) maßgebend. Diese Beispiele ergeben:

1) $20 . 0{,}5 . 0{,}0185 : 1{,}5 = 0{,}123$ qmm 3) $60 . 0{,}5 . 0{,}0185 = 0{,}369$ qmm
2) $40 . 0{,}5 . 0{,}0185 : 1{,}5 = 0{,}246$ qmm 4) $160 . 0{,}5 . 0{,}0185 = 0{,}984$ qmm.

Wir sehen also, daß sich bei doppelter Länge der doppelte Querschnitt, also das vierfache Kupfergewicht, bei dreifacher Länge der dreifache Querschnitt, also das neunfache Kupfergewicht u. s. w. nötig macht, wenn der Spannungsverlust derselbe bleiben soll. „Bei gleichbleibendem Spannungsverlust und Strom nimmt das Kupfergewicht zu wie das Quadrat der Leitungslänge."

Unsere ideale Schaltungsweise, die jeder Lampe von der Maschine aus eine eigene Leitung zuweist, wird man in Wirklichkeit nicht so ausführen, sondern man gestaltet sie praktischer so, daß man alle diejenigen Drähte, die zu benachbarten Lampen führen, soweit sie denselben Weg haben, zu einer gemeinschaftlichen Hin- und Rückleitung vereinigt. So bildet man denn von der Stromquelle bis zu den einzelnen Lampen einen mehrfach verzweigten Leitungsweg, der sich aus Drahtstärken von verschiedenen Querschnitten zusammensetzt, mit starken Drähten für die Hauptleitung anhebt und mit den Abzweigungen dünner Drähte für die einzelnen Lampen endet. Die einzelnen Drahtstärken werden nun mit Rücksicht auf die im Handel vorkommenden „Normalquerschnitte" so gewählt, und der Widerstand auf diese einzelnen Leitungsstücke so verteilt, daß der Spannungsverlust von der Stromquelle aus für jede einzelne Lampe derselbe wird.

Alle Verbrauchsstellen unserer Anlage sind zu 6 Glühlampen- und 4 Bogenlampengruppen (mit je 2 Bogenlampen) vereinigt.

Die Lampengruppe der Verwaltungsgebäude zu beiden Seiten des Einganges der Schlachthofanlage haben die größte Entfernung von der Stromquelle (rund 80 m). Zu dieser Gruppe gehören 30 Lampen, 26 von je 16 NK und 4 von je 25 NK. Lassen wir die letzteren als 6 von je 16 NK gelten, so hätten wir für diese ganze Gruppe ein

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Leitung für 32 Lampen von je 0,5 A Stromstärke, also 15 A zu nehmen, welche Leitung nach obiger Formel 29,60 qmm Querschnitt oder 6,2 mm Durchmesser verlangt und ein Gewicht von 43 kg ausmacht.

Die näheren Gruppen, z. B. die Kühlhaus-, Wäschehaus- und Maschinenhausgruppen, haben dünnere Leitungsdrähte.

Die in der Anlage verwendeten 8 Bogenlampen sind in 4 Gruppen mit je 2 hintereinander geschalteten Lampen vereinigt. Jede dieser Lampen erfordert zu ihrem Betriebe 40 V Spannung. Es haben somit 2 hintereinander geschaltete Lampen 80 V nötig, und da die Betriebsspannung unserer Anlage 110 V ausmacht, so ist für jede Lampengruppe ein Spannungsüberschuß von 30 V aufzuheben. Dieser Betrag, durch die Stromstärke der Lampen dividiert, giebt den Widerstand in Ohm an, den man durch die Leitung und durch Hinzufügen eines „Vorschaltwiderstandes" aufzehren lassen muß. In 3 Gruppen brennen Lampen von 6 A, in der vierten von 9 A. Zur letzten Gruppe gehört auch die große Hoflampe. Für die ersten Gruppen hat die Leitung 30 : 6 = 5 Ohm Widerstand zu betragen, wogegen sie für die letzte Gruppe nur 3,33 Ohm ausmachen darf.

Die Isolierung der Leitung. Die leichte Leitbarkeit des galvanischen Stromes kann diesen aber auch auf Abwege bringen, und es macht sich daher notwendig, ihn sorgfältig davor zu bewahren. Man isoliert deswegen die Leitung. Die Luft ist der natürlichste und beste Isolator; deshalb sind auch die im Freien von dem Maschinenhause aus zu den anderen Gebäuden der Anlage gezogenen Leitungen blanker Kupferdraht. Ihre Stützpunkte an den Wänden des Hauses mußten von diesen aber sorgfältig (wie die Telegraphendrähte von den Stangen) durch Porzellanglocken isoliert werden. Die Leitungen der Innenräume sind alle durch mehrfache Überspinnung isoliert, und wo die Drähte der Einwirkung von Feuchtigkeit ausgesetzt sind, hat man verzinnte Kupferdrähte, die mit einer wasserdichten Kautschukhülle umkleidet sind, verwendet und ihre Umspinnungen und Umklöppelungen außerdem noch mit wasserdichtem Material getränkt und unter Holzdeckung gelegt.

Zur Durchführung der Drähte durch die Mauern wurden in diesen Porzellanrohre eingekittet, durch welche der isolierte Draht gesteckt und durch das abwärtsgekrümmte Röhrenende auf die Luftleitung geführt und mit dieser verlötet ist, so daß der Draht in keinem Teile direkt die Mauer berührt. Eine gute Isolierung bildet ein Haupterfordernis einer guten Leitungsanlage, daher ist dieselbe in unserer Anlage auf das sorgfältigste ausgeführt.

Die Sicherheitsvorrichtungen der elektrischen Leitung. Eine sehr wichtige Forderung bei der Verteilung der elektrischen Energie auf das Leitungsnetz ist die, daß die einzelnen Zweige desselben auch nur immer diejenige Stromstärke erhalten, für welche sie abgemessen wurden, denn nur bei dieser bleibt die Erwärmung in normalen Grenzen. Dennoch können außergewöhnliche Umstände eine zu große Stromstärke in einen Leitungskreis führen und eine gefährliche Erhitzung desselben hervorbringen. Wenn es z. B. in einem unserer einfachen Stromkreise, der eine 16kerzige Lampe hat und für 0,5 A bemessen wurde, dem Strome gelänge, durch einen Nebenschluß direkte Berührung mit der Rückleitung zu erhalten, ohne erst durch die Lampe gehen zu müssen, so würde der größte Widerstand dieses Stromkreises, den die Lampe ausmacht, nämlich gegen 220 Ohm, umgangen werden und nur noch ein Widerstand von etwa 1 Ohm zurückbleiben. Dadurch würde sich nach unserem Ohmschen Gesetze (A = V : O) nicht mehr 0,5 A, sondern eine fast 220fache Stromstärke über diese Leitung ergießen, und da die von dem Strome entwickelte Wärmemenge gleich dem Produkte aus dem Quadrate der Stromstärke und dem Widerstande ist, so würde eine derartige Strombelastung das Glühen und Schmelzen des Drahtes und dadurch die Zerstörung der Leitung zur Folge haben und in Innenräumen auch feuergefährlich wirken.

Um dies zu verhindern, ist die von Edison zuerst angewendete Einrichtung getroffen worden, daß an geeigneten Stellen, namentlich bei jeder Abzweigung einer Leitung, ein leicht schmelzbares Metall, gewöhnlich ein kurzer Bleistreifen oder Bleidraht, eingeschaltet wird. Diese sogen. „Bleisicherung" wird der vorgeschriebenen Stromstärke angepaßt. Der Strom muß nun beim Übergange in die zu schützende Leitung durch die eingefügten Bleistreifen gehen, die er bei außergewöhnlicher Stärke schnell durchschmelzen wird. So ist dann die Leitung unterbrochen, bevor eine gefahrbringende Überhitzung eintreten kann.

In dem Leitungsnetze unserer Anlage sind mehrere Hundert Sicherungen für verschiedene Stromstärken leicht zugänglich angebracht, die, wenn nötig, eine leichte Auswechselung der geschmolzenen Bleistreifen gestatten. Die Schalttafel selbst hat 23 Sicherungen; die zwei größten (Fig. 16, 9 u. 11) schützen die Maschine und den Akkumulator bei Kurzschluß in der Lichtanlage. Wie Fig. 13 zeigt, haben diese Sicherungen als Sockel eine Porzellanscheibe mit 2 Klemmen zur Aufnahme der Leitung. Ein Porzellandeckel, der oben in einer kreisförmigen Rinne den Bleistreifen trägt und diesen durch zwei Schlitze zur Unterseite führt, ist mit einer Asbest- und Messingscheibe bedeckt und durch eine Schraube auf den Sockel so gepreßt, daß der eingelegte Bleistreifen die leitende Verbindung zwischen den beiden Klammern herstellt.

Fig. 13. Konstruktion einer Bleisicherung für die Hauptleitung.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Fig. 14.

Fig. 15.

Den Anschluß der Lampengruppenleitungen an die Sammelmaschine vermitteln 20 Sicherungen (Fig. 16, 12 u. 13), von denen uns Fig. 14 eine einzelne derselben darstellt. Zwei kräftige für den Anschluß der Leitung bestimmte Klemmstücke aus Messing sind auf einen flachen Steinsockel aufgeschraubt und haben einen durch eine Glasröhre geschützten Bleistreifen eingeschaltet erhalten. Die kleinste Sicherung unserer Leitung für Ströme von 0,5 bis 2 A hat die in Fig. 15 dargestellte Form. Durch ein abgerundetes Porzellanstück sind zwei kleine Messingbolzen geführt, die auf der einen Seite den freien Bleistreifen (in der Zeichnung links mit der Lupe gut erkennbar) und auf der anderen die Klemmschrauben tragen.

Die Regierung des Stromes.

Die Schalttafel und ihre Hilfsapparate. Wir kommen nun an die Einrichtungen unserer Lichtanlage, die nötig waren, um über das Thun und Treiben des elektrischen Stromes zu jeder Zeit nicht nur eine Übersicht zu gewinnen, sondern denselben in jedem Augenblicke auch unserem Willen gefügig zu machen. Zur zweckmäßigen Zentralisierung der Aufsicht und Leitung des Betriebes der Anlage dient die Schalttafel, welche uns Fig. 16 vorstellt. Auf dieser Tafel sind in übersichtlicher und bequem zu erreichender Weise eine Anzahl von Apparaten angebracht, die für den sicheren und geregelten Betrieb der Anlage notwendig und mit den Bezeichnungen für ihren Gebrauch versehen sind. Auch vereinigen sich auf ihr die Leitungen der verschiedenen Lampengruppen mit denen, die von den beiden Stromquellen herführen, und endlich ist auf ihr die Einrichtung getroffen, jede einzelne Lampengruppe von hier aus ein- und ausschalten zu können, wodurch die Betriebssicherheit und die Kontrolle sehr erleichtert wird. So stellt sich die Schalttafel gleichsam als der Schlüssel des ganzen Betriebes dar.

Unsere Schalttafel hat die Form eines Schrankes. Sie steht im Maschinenraume neben der Dynamo, etwa ein Meter von der Wand entfernt, so daß sie auch von der Rückseite her zugänglich ist und ihre Zuleitungen zu jeder Zeit bequem einer Prüfung unterzogen werden können.

Auf der von einem Holzrahmen eingefaßten Marmorplatte finden wir in der ersten Reihe die zur Kontrolle der Spannung und der Stärke des Stromes nötigen Meßapparate vor. Diese sind in Beziehung auf Fig. 16:

1) ein Spannungsmesser (Voltmeter), 2) ein selbstthätiger Spannungswecker, 3) ein Ampèremesser (Ampèremeter) für den Akkumulator, der zugleich angiebt, ob die Batterie Strom erhält oder abgiebt, und 4) ein Ampèremesser für den Maschinenstrom.

Alle übrigen Apparate sind Schaltapparate. Die Mitte nehmen ein: 5) ein Zellenschalter, 6) ein Umschalter für den Voltmesser, durch den man den letzteren auf die Maschine, auf den Akkumulator oder die Lichtleitung zu schalten vermag, 7) ein Selbstausschalter, 8) ein Maschinenumschalter, der den Maschinenstrom auf die Lampenleitung oder auf die Batterie führt, 9) u. 11) Bleisicherungen, die schon im vorigen Abschnitte erwähnt wurden, und 10) ein Maschinenausschalter.

An dem unteren Teile der Marmortafel sind die beiden Sammelschienen nebst den Anschlüssen, Ausschaltern und Siche-

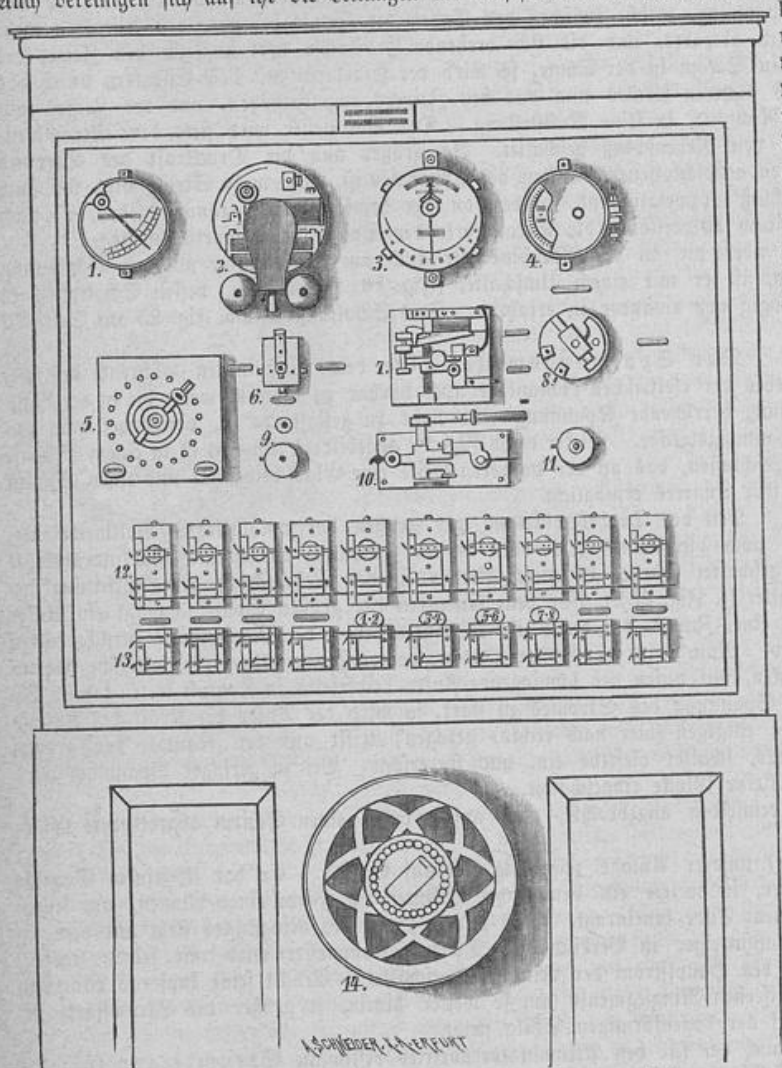

Fig. 16. Schalttafel der Lichtanlage des städtischen Schlachthofs zu Gotha.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

rungen für die 10 Lampenkreise der Lichtanlage angebracht. Fig. 16, 12 ist die positive und 13 die negative Sammelschiene.

In dem großen Schaltapparate unterhalb der marmornen Platte der Schalttafel lernen wir den schon erwähnten Nebenschlußregulator kennen.

Wir wollen uns nun im einzelnen mit dem Bau und der Aufgabe dieser Hilfsapparate vertraut machen.

Die elektrischen Meßinstrumente der Anlage. Für die Sicherheit des Betriebes jeder Beleuchtungsanlage ist es ein Haupterfordernis, über die Spannung und Stärke des elektrischen Stromes jederzeit unterrichtet zu sein. Hierzu dienen der Voltmesser und der Ampèremesser, die eine direkte Ablesung der Spannung und der Stärke des Stromes gestatten. Die Wirkungsweise beider beruht auf der Einziehung eines weichen Eisenkernes in einer vom elektrischen Strome durchflossenen Drahtspule.

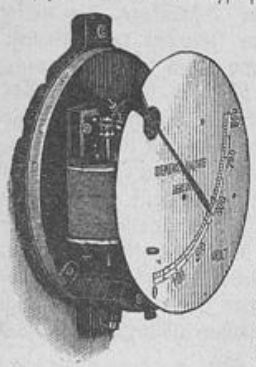

Fig. 17. Voltmesser, geöffnet.

Die wirksame Spule unseres Voltmeters von Siemens & Halske (Fig. 17) ist mit sehr dünnem, durch Seide isoliertem Kupferdraht bewickelt. Ihr wurde noch ein Nickelindrahtwiderstand vorgeschaltet, so daß dadurch für die Spannungsangabe bis 180 V ein Widerstand von über 10000 Ohm bei einem Elektricitätsverbrauche von 1 Watt gewonnen ist. In das Innere dieser senkrecht aufgestellten Spule ragt ein weicher Eisenkörper hinein, der an dem kurzen Arme eines über der Spule befestigten Hebels hängt. An der Achse des Hebels sitzt der Zeiger des Spannungsmessers. Die vom Strome durchflossene Drahtspule zieht, je nach der Höhe der Spannung, welche zwischen den Enden der Spule herrscht, den Eisenkern mehr oder weniger nach abwärts, und die sich drehende Hebelachse hebt zugleich den Zeiger des Messers. Ist kein Strom in der Spule, so wird der Hebelarm mit dem Eisenkern durch das Gegengewicht des anderen Armes und das des Zeigers emporgehoben, und der Zeiger fällt in die senkrechte Richtung, in seine Nullstellung. Der Voltmesser wird stets dem Stromkreise parallel, also in den Nebenschluß geschaltet. Je größer nun die Druckkraft des Stromes zwischen den beiden angeschlossenen Punkten des Apparates ist, desto mehr Strom wird sich auch in seinen Nebenschluß abzweigen und Kunde von der herrschenden Spannung geben, da nach dem Ohmschen Gesetze bei sich gleichbleibendem Widerstande die Stromstärke der Spannung proportional ist.

Um nun unseren Voltmesser sowohl über die an der Maschine wie auch am Akkumulator und der Lichtleitung herrschende Spannung befragen zu können, ist er mit einem Umschalter (Fig. 16, 6) versehen, dessen Schaltweise es ermöglicht, jede dieser Spannungen unabhängig von einander zu erfahren. Das Schaltungsschema Fig. 25 auf Seite 25 veranschaulicht diese Schaltungsweise.

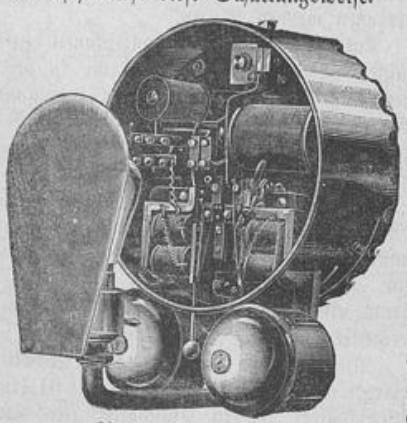

Fig. 18. Spannungswecker.

Der Spannungswecker. Um dem Maschinisten während des Betriebes der elektrischen Lichtanlage auch hörbar zu machen, wenn die in der Lichtleitung herrschende Spannung eine nicht zu gestattende ist, verwendet man den Spannungswecker. Dieser durch Fig. 18 abgebildete Apparat ist in einem Gehäuse eingeschlossen, das an der vorderen Seite eine Glasscheibe hat und einen Einblick in sein Inneres ermöglicht.

Mit der Drahtbewickelung der großen horizontalgelegten Voltmeterspule, der noch die kleine links oben in der Zeichnung dargestellte Nickelindrahtspule vorgeschaltet wurde, ist dieser Wecker in den Nebenschluß der Lichtleitung geschaltet (s. Fig. 25). Vor dem Eisenkern der großen Spule schwingt ein Anker mit einer Zunge, der durch eine Abreißfeder von der Magnetspule zurückgehalten wird. Nun besitzt der Apparat noch zwei verschieden abgetönte elektrische Alarmglocken, mit denen der schwingende Anker beiderseits in Kontakt treten kann. Ist die Spannung des Stromes zu stark, so wird der Anker der Kraft der Abreißfeder entgegen (hier nach rechts) gezogen, trifft auf den Kontakt der großen Glocke, schaltet dieselbe ein, und sie ertönt. Bei zu geringer Spannung wird die kleine Glocke eingeschaltet.

Der Apparat wird durch eine vor demselben angebrachte, nach außen durch einen Schirm abgeblendete Glühlampe erleuchtet.

Den Strommesser (Ampèremeter) unserer Anlage zeigt Fig. 19 auf S. 23. Er hat in seinem Gehäuse eine dicke, kurze Spirale von blankem Kupfer, in welche ein beweglicher Eisenteil in Form eines dünnen, um seinen Mittelpunkt drehbaren Ringsegments mit einem Ende hineinragt. Das andere Ende des Ringstückes steht mit dem im Mittelpunkte der Drehung befestigten Aluminiumzeiger in Verbindung. Dieser Strommesser wird mit seinen starken, an der rechten Seite sichtbaren Klemmen in den Hauptstrom der Leitung eingeschaltet. Erhält seine kupferne Windung Strom, so zieht sie das freie Ende des eisernen Ringsegments um so weiter hinein, je größer die Stromstärke ist, wobei der Zeiger in entsprechender Weise auf der bogenförmigen Skala steigt.

Nach dem Prinzipe dieser Messer ist auch der für den Akkumulatorenbetrieb bestimmte Stromzeiger (Fig. 20 auf S. 23) gebaut. Sein vor der Skala sichtbarer Zeiger sitzt an der Achse eines im Innern des Gehäuses befind-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

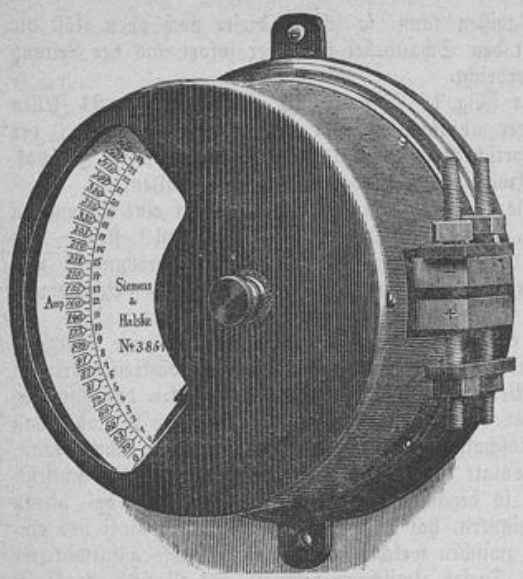

Fig. 19. Strommesser.

lichen gleicharmigen Hebels, dessen nach rechts und links führende Arme zwei gleich schwere permanente Magnete (Blattmagnete) zu tragen haben. Diese Magnete ragen mit entgegengesetzten Polen in die Windungsöffnungen zweier hintereinander geschalteter Starkstromspulen hinein. So ist es leicht erklärlich, daß der durch die Spulen in der Lade- oder Entladerichtung der Batterie geführte Strom immer in einer Spule den Magneten hineinziehen und gleichzeitig in der anderen ihn hinausstoßen muß. Der Hebel wird also durch den Strom aus seiner Ruhelage gebracht, was den Ausschlag des Zeigers nach der linken oder rechten Seite zur Folge hat. Steigt der Zeiger an der linken Seite der Skala empor, so empfängt die Batterie Strom. Ein Ausschlag des Zeigers nach der rechten Seite zeigt an, daß die Batterie Strom abgiebt (vergl. Fig. 25). Nach der Höhe des Ausschlages bemißt sich die Stromstärke.

Diese Meßapparate sind alle auf das sorgfältigste geaicht. Ihre Skala in Volts oder Ampères wurde dadurch gewonnen, daß man Ströme in abgemessener Spannung und Stärke durch die Apparate gehen ließ und die wechselnden Stellungen der Zeiger fixierte.

Die Schaltapparate der Anlage. Schon das Schließen und Öffnen der Strombahn eines einfachen galvanischen Elementes bringt Funken hervor, von denen der Öffnungsfunke der größere ist. Der uns bekannte Lichtbogen ist weiter nichts als ein Öffnungsfunke, der zur Lichterzeugung Verwendung findet. Es leuchtet ein, daß der Öffnungsfunke einer Strombahn, in der Ströme von starker Spannung und großer Stärke kreisen, unter Umständen eine zerstörende Wirkung hervorrufen kann.

Fig. 20. Stromzeiger.

Die Technik hat nun Schaltapparate ersonnen, die durch ein schnelles und entsprechend weites Öffnen der Kontaktstellen, auch durch Verteilung der den Schluß bewirkenden Teile auf viele einzelne Kontaktstücke den Lichtbogen rasch zum Verlöschen bringen, um so seine schädliche Wirkung aufzuheben.

Das schnelle Aus- und Einspringen der Kontakte bringen bei unseren Schaltapparaten Federn hervor, die mit zweckmäßigen Mechanismen in Verbindung stehen. Wird an solchem Apparate die Schaltung durch die Hand eingeleitet, so schnappt der Kontakt durch plötzliches Überschlagen in seine einzunehmende Lage ein.

Diese Apparate werden selbstverständlich in ihren Bau einer bestimmten Stromstärke angepaßt. Während die großen Apparate zur Unterbrechung der Hauptleitung dienen (vgl. Fig. 21 u. 22), finden kleinere zur Ausschaltung von Lampengruppen und die kleinsten für einzelne Lampen Anwendung (Fig. 11). Ganz ohne Funkenbildung geht es bei den Schaltungen aber nicht ab, weswegen wir die großen Kontakte auf einer feuersicheren und gut isolierenden Marmorplatte der Schalttafel aufgeschraubt finden.

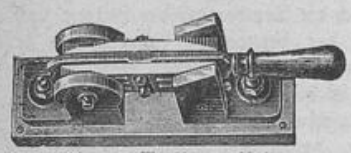
Fig. 21. Maschinenausschalter.

Der Maschinenausschalter (Fig. 21) muß imstande sein, den ganzen Strom der im vollen Gange befindlichen Maschine zu unterbrechen, ohne ein Verbrennen seiner Kontakte zu erleiden. Er giebt mit großen Berührungsflächen nach zwei Seiten Kontakt, und zur Gewinnung eines guten Schlusses sind diese Teile aus einer Anzahl länglicher und hartgehämmerter Kupferbleche gebildet, die sich fest verklemmen.

Der Betrieb der Anlage mit Akkumulatoren machte die Anbringung des Selbstausschalters und des Zellenschalters nötig. Da die Stromstärke der Maschine die der Batterie bei weitem übertrifft, so mußte letztere vor zu hoher Ladestromstärke bewahrt werden. Dies besorgt der Selbstausschalter (Fig. 22 auf S. 24), der in die Akkumulatorenleitung gelegt ist (vgl. Fig. 25), um dieselbe in dem Augenblicke selbstthätig zu unterbrechen, in dem die höchst zulässige Stromstärke (32 A für unsere Batterie) überschritten wird. Der mittelst starker (in Fig. 22 rechts unten gezeichneter) Feder gespannte Schalthebel ist durch einen Vorsprung nach links an einer Sperrvorrichtung festgehalten. Oben, unterhalb der Klemme, liegt im Gehäuse ein Elektromagnet mit einer Starkstromspule eingeschlossen, dessen Polenden, nach außen geführt, die in der Zeichnung sichtbaren würfelförmigen Polschuhe tragen.

Der flache, bewegliche Eisenstab unter den Polen des Elektromagneten stellt den Anker desselben vor. Solange der Ladestrom eine gewisse Stärke nicht überschreitet, geht er unbeanstandet durch den Spulendraht des Elektromagneten. Wird aber der Elektromagnet durch eine nicht erlaubte Stromstärke so stark, daß er seinen Anker, dem Gesetze der

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

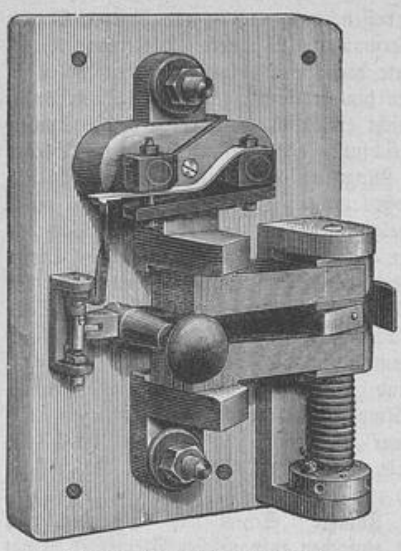

Fig. 22. Selbstthätiger Ausschalter.

Schwere entgegen, an sich reißen kann, so schlägt dieser nach oben, löst die Sperrvorrichtung und macht den Schalthebel frei, der sofort aus der Leitung springt und den Strom unterbricht.

Der Zellenschalter (Fig. 16, 5) dient dazu, wie wir wissen, 21 Zellen der Sammelbatterie zu- oder abzuschalten, um dadurch die Spannung der Batterie, die während der fortschreitenden Entladung abnimmt, durch Zuschaltung neuer Zellen auf der Höhe der Betriebsspannung zu erhalten.

Von der äußersten Zelle der negativen Polseite ab führt eine Leitung zu dem Kontakte des Schalters, neben dem die Bezeichnung „hell" steht. Die nächsten Kontakte sind mit den folgenden Zellen der Batterie verbunden, und neben dem Kontakte der ersten abgeschalteten Zelle steht die Bezeichnung „dunkel".

Es ist ohne weiteres einleuchtend, daß der Kontakthebel beim Übergang von einem Zellenpol zum anderen keine Unterbrechung des Stromkreises bringen darf, was ein momentanes Verlöschen oder ein erhebliches Zucken des Lampenlichtes nach sich ziehen würde. Es liegen deswegen die Kontakte so nahe, daß der Hebel beim Zu- oder Abschalten zwei Kontakte gleichzeitig berühren kann, damit er, bevor er einen Kontakt endgültig verläßt, den nächsten schon schließt. Hierdurch würden aber zwei so benachbarte Zellen kurz geschlossen (vgl. hierzu Fig. 25). Um dies zu verhindern, hat man den Schleifhebel in zwei von einander isolierte Teile zerlegt, zwischen welchen ein auf seine Achse aufgewickelter Widerstand eingeschaltet ist. Dieser Zwischenwiderstand aus Neusilberdraht ist so bemessen, daß der Strom, der in einem Augenblicke hindurchgeht, geringer ist als der Entladestrom. Stehen beide Hebel auf demselben Kontakte, so ist der Widerstand ausgeschaltet.

Fig. 23. Maschinenumschalter.

Der Maschinenumschalter (Fig. 23) hat die Aufgabe, den Maschinenstrom entweder auf den Akkumulator oder auf die Lichtleitung zu führen. Hier ist es nötig, daß die beiden in Frage kommenden Kontakte recht weit von einander entfernt stehen, so daß der Schalthebel nicht beide Kontakte gleichzeitig berühren kann, sonst würden in dem Augenblicke gleichzeitiger Berührung die Zellen der negativen Polseite des Akkumulators, soweit sie vom Zellenschalter abgeschaltet sind, kurz geschlossen werden (vgl. Fig. 25). Um dies zu vermeiden, ist die Umschaltung mit Unterbrechung ausgeführt und zwischen den beiden Kontakten ein „toter" Kontakt eingefügt.

Der Nebenschlußregulator. Da die Glühlampen sehr empfindlich gegen Schwankungen in der Spannung des Stromes sind, so ist bei der Anlage dafür Sorge getragen, daß eine gleichbleibende Spannung in den Stromkreisen herrsche. Diese ist vor allem von der Klemmenspannung abhängig, d. i. von der Spannung an den Klemmen oder Enden der Ankerbewickelung der Strom erzeugenden Maschine. Diese Klemmenspannung ist aber einer steten Schwankung ausgesetzt, die einmal durch den ungleichen Gang der Betriebsmaschine, dann auch durch die Temperatur der Eisenmassen und des Bewickelungsdrahtes der Dynamo veranlaßt wird. Auch die Temperatur der Leitung und die wechselnde Zahl der brennenden Lampen, die ja beliebig aus- und einzuschalten freistehen muß, beeinflussen dieselbe. Es ist also ein Mittel notwendig, um die Spannung der Maschine innerhalb gewisser Grenzen regulieren zu können, damit ihre normale Höhe, die der Konstruktion der Lampen zu entsprechen hat, erhalten bleibe und der Betrieb der ganzen Anlage nicht gestört werde. Diese Spannungsregulierung geschieht durch den Nebenschlußregulator (Fig. 24). In seinem Innern ist auf einem Zementcylinder Draht mit großem Widerstande (Neusilberdraht) spiralig aufgewickelt, und die einzelnen Abteilungen dieses Drahtes sind leitend mit den vorn auf dem Umfange eines Kreises stehenden Kontaktknöpfen verbunden. Der Regulator ist nun so in den Zweigstrom des Elektromagneten der Maschine eingeschaltet, daß durch die Verschiebung seiner vorn sichtbaren Schleifkurbel über die Kontakte eine beliebige

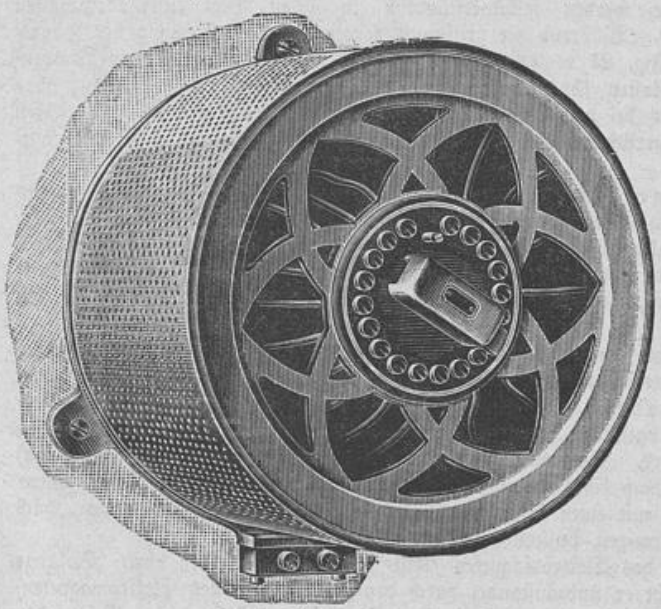

Fig. 24. Nebenschlußregulator.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Länge des Regulierwiderstandes ein- und ausgeschaltet wird (vgl. Fig. 25). Dadurch haben wir ein einfaches Mittel, den Strom in den Magnetspulen zu ändern und somit die Stärke des magnetischen Feldes und zugleich die EMK der Maschine zu beeinflussen. Weicht die Spannung von der vorgeschriebenen ab, so genügt es, durch eine einfache Drehung der Kurbel den Widerstand des Nebenschlusses zu vermehren oder zu vermindern, bis der Voltmesser die richtige Spannung anzeigt. Selbstverständlich darf durch solche Schaltweise keine Unterbrechung in dieser Nebenschlußleitung stattfinden, weswegen die Kontakte nahe bei einander stehen und die Kurbel beim Verstellen, bevor sie einen Kontakt ganz verläßt, den nächsten schon berührt.

Diese Vorrichtung ist von einem gitterartig durchbrochenen eisernen Gehäuse umgeben, welches die Luft zur Abkühlung hindurchziehen läßt, und da sich der Apparat durch Umsetzung der Elektricität in Wärme oft ziemlich stark erhitzt, mußte er vollständig feuersicher konstruiert werden.

Wie nun alle diese Apparate unserer Lichtanlage zu einem geordneten und zweckmäßigen Ganzen durch die Leitung mit einander verknüpft sind, soll uns das Schaltungsschema der Lichtanlage (Fig. 25) kennen lehren.

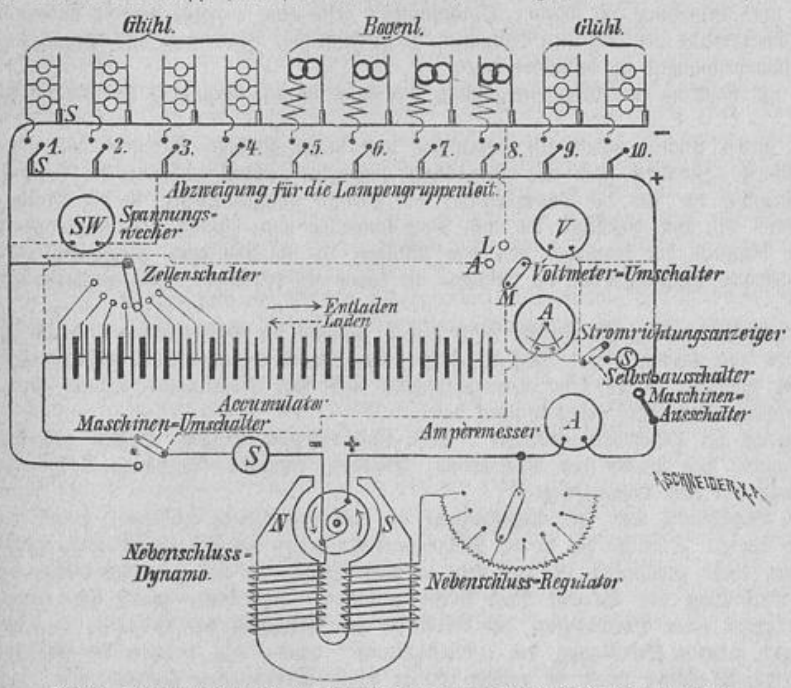

Fig. 25. Schaltungsschema der elektrischen Lichtanlage des städtischen Schlachthofs zu Gotha.

Unsere Dynamo hat, von der Kollektorseite aus gesehen, rechts den Süd- und links den Nordpol. Es wird also bei dieser Umdrehungsrichtung oben am Kollektor der positive Strom abgenommen und durch eine starke Kabelleitung zur Schalttafel geführt. Dort zweigt sich für die Nebenschlußleitung der Magnetspulen zum Kontakthebel des Nebenschlußregulators eine schwache Leitung ab. Die Hauptleitung führt den Strom zur Messung seiner Stärke durch den Maschinenampèremesser, von da zum Maschinenausschalter und verzweigt sich hierauf. Der eine Zweig führt auf die positive Sammelschiene der Lichtleitung, der andere auf den positiven Pol der Sammelbatterie. In der letzten Leitung sind zunächst eine Bleisicherung, dann der selbstthätige Ausschalter und der Ampèremesser, der gleichzeitig auch Stromrichtungsanzeiger ist, eingeschaltet.

Die von der negativen Polklemme der Maschine ausgehende Leitung führt zunächst auf eine Bleisicherung, welche die Maschine vor starkem Strom zu schützen hat, dann auf den Maschinenumschalter, dessen einer Kontakt die Verbindung mit dem negativen Pole der Sammelbatterie, und dessen anderer diejenige mit der negativen Sammelschiene der Lichtleitung und mit dem Hebel des Zellenschalters herstellt.

Die beiden Spannungsmesser, der Lichtwecker und der Voltmesser, befinden sich im Nebenschlusse zur Lichtleitung, und letzterer kann durch einen Umschalter auf die Lichtleitung (L), auf die Klemmen des Akkumulators (A) oder auf die der Maschine (M) geschaltet werden.

An die beiden Sammelschienen schließen die Hin- und Rückleitungen für die einzelnen Lampengruppen mit ihren Sicherungen und Ausschaltern an. 1 bis 4 und 9 und 10 sind Glühlicht-, 5 bis 8 Bogenlampengruppen, und die in der Lichtleitung der letzteren angedeuteten Spiralen sollen die Vorschaltwiderstände dieser Leitungen darstellen.

Die Ausführung und der Betrieb der Lichtanlage.

Der Beleuchtungsplan. Schon aus der vorhergegangenen Besprechung der Haupt- und Hilfsapparate unserer Lichtanlage haben wir wohl die Überzeugung gewonnen, daß ihre Wahl keine willkürliche war. Diese, wie überhaupt jede derartige Anlage, macht vielmehr ein zweckmäßiges Ganzes aus und ist nach einem wohldurchdachten Plane und mit sorgsamer Berücksichtigung der besonderen Erfordernisse ausgeführt worden.

Zunächst war bei der Ausarbeitung des Entwurfes für die Anlage die Feststellung der erforderlichen Lichtmenge nötig. Hierbei mußte die Größe des Lichtbedarfes für jeden einzelnen Raum und dessen Abteilungen unter Berücksichtigung der Bauart und des Betriebes in demselben ermittelt werden. Man hatte sich über die zu wählende Art der Lampen, über ihre Zahl und Lichtstärke zu entscheiden, ihren Abstand von einander, ihre Aufhängehöhe, ihre Befestigungsart

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

und ihre Schaltung zweckentsprechend zu bestimmen, auch ihre praktische Zusammenfügung zu Gruppen zu erwägen. Wir übergehen die einzelnen Berechnungen und Ermittelungen und wollen nur hervorheben, daß durch die Anlage, wie sie ausgeführt worden ist, in der That eine durchweg gute und wirklich zweckmäßige Beleuchtung an allen Arbeitsplätzen bei Glüh- und Bogenlicht erzielt worden ist.

Neben der festgestellten Größe der Lichtmenge mußte der Plan auch eine eventuell in Zukunft nötige Erweiterung der Lichtanlage berücksichtigen, die eintreten kann einmal durch die Steigerung des Lichtbedarfs in den einzelnen Räumen, dann aber auch durch eine Erweiterung der Schlachthofanlage überhaupt.

Aus der ermittelten Größe der Lichtmenge ergab sich die Stromstärke oder die erforderliche elektrische Arbeitsleistung der zu wählenden Dynamomaschine und der als Hilfs- und Reservestromquelle zur Verwendung kommenden Akkumulatorenbatterie, ferner die Größe der nötigen Betriebskraft.

Nachdem man sich über den Aufstellungsort und die Fundierung dieser beiden Elektricitätsquellen, ferner über die Verbindung der Dynamomaschine mit der Betriebskraft, die Aufstellung der Schalttafel, die Zentralisierungsart der Anlage u. a. m. entschieden hatte, konnte zur Feststellung des sogen. „Drahtplanes" geschritten werden, der die Verteilung des Leitungsnetzes, die Feststellung des Querschnittes der einzelnen Leitungen, deren Führung, Isolierung und Abzweigung, sowie auch die anzubringenden Sicherheitsvorrichtungen zu enthalten hatte.

Alle diese Ermittelungen ergaben als Resultat den Beleuchtungsplan, der dann in den Grundriß der Schlachthofanlage eingetragen wurde.

Die Montage. Zur Ausführung dieses Planes schritt ein erfahrener und sachverständiger Monteur mit seinen Helfern in unserem Schlachthofe ans Werk. Zunächst galt es, die Leitung anzulegen. Man zeichnete die Leitungswege in den Räumen an die Wände, stemmte die für die Durchführung der Drähte nötigen Löcher in die Mauern, kittete die isolierenden Durchführungsröhren ein und befestigte die mit Porzellanrollen und -glocken versehenen Halter und Stützen der Leitungen. Um in den Räumen die Leitungen von den Wänden zu isolieren und gleichzeitig gegen Beschädigungen zu schützen, schlug man gekehlte Holzleisten an die Wände, in denen die Leitungen durch aufgeschraubte Deckleisten Schutz fanden.

Nach der Fertigstellung der Leitungsbahn wurden die Drähte selbst gelegt, zunächst die Hauptleitungen, dann ihre Abzweigungen, die man sorgfältig verlötete und verschraubte. Nach der Fertigstellung eines Leitungskreises wurde derselbe mit Hilfe eines Galvanoskopes daraufhin geprüft, ob sich seine Leitungsfähigkeit und sein Isolationswiderstand günstig gestalteten, oder ob sich etwa ein Nebenschluß (Kurzschluß) eingeschlichen hätte.

Nunmehr ging es an die Montierung der „Beleuchtungskörper", diese sind die zum Tragen, Halten und Aufhängen der Lampen dienenden Einrichtungen, wie Wand- und Deckenarme, Ständer, Laternen, Aufhängevorrichtungen für die Bogenlampen und ihre Verbindung mit dem Leitungsnetze.

Als darauf auch die Montage der Schalttafel und ihre Anschließung an das Leitungsnetz vollendet war, blieb noch die Aufstellung der Dynamomaschine übrig. Dieselbe hat in der Maschinenhalle neben der Schalttafel einen solchen Platz erhalten, daß sie von allen Seiten leicht zugänglich ist und steht in einer Höhe, die eine bequeme Bedienung, namentlich aber die Beobachtung und Verstellung der Bürsten ohne Mühe gestattet. Auf einer genau horizontalen Fläche ihres Steinsockels verankerte man zuerst einen Holzrahmen, der einesteils die Isolierung der Maschine von dem Erdboden übernimmt und anderenteils zur sicheren Befestigung der „Gleitschienen" dient, auf welchen die Maschine steht. Die Gleitschienen ermöglichen es, die Maschine selbst in vollem Gange durch Weiterrücken nachzuspannen, falls die Spannung des Antriebriemens zu locker geworden ist.

Um die Akkumulatorenbatterie zusammenzusetzen und aufzustellen, war ein in solchen Arbeiten besonders geschulter Monteur thätig. Die ganze Batterie hat auf einem starken Holzgerüste eine derartige Aufstellung gefunden, daß jede Zelle zugänglich ist und jede einzelne Platte derselben besichtigt werden kann. Ferner ist sie mit möglichst guter Isolierung gegen den Erdboden hin versehen. Man hat für diesen Zweck das Holzgestell geteert und die Zellen auf mit Glasmehl gefüllte Holzsockel gestellt, die wieder auf isolierenden Porzellangefäßen ruhen.

Nach den Anschlüssen der Stromquellen an das Leitungsnetz und nochmaliger Prüfung der Leitung und dem Einsetzen der Lampen war die ganze Lichtanlage fertiggestellt, und es konnte der Probebetrieb der Anlage beginnen.

Als die Probebeleuchtungen zur allgemeinen Zufriedenheit ausgefallen waren und ein mehrtägiger Probebetrieb die sachgemäße und sorgfältige Ausführung des ganzen Werkes erwiesen hatte, erfolgte die Abnahme desselben. Der jetzige Leiter der Anlage ist der Maschinenmeister, der schon bei der Montage hilfreich zur Hand war und während des Probebetriebes instruiert wurde. Die Anlage ist gegenwärtig schon $1\frac{1}{2}$ Jahr in regelmäßigem Betrieb und befindet sich in gutem Zustande.

Der Betrieb der Anlage. Diese übersichtlich und zweckmäßig gebaute Anlage bedarf keiner fachmännischen Bedienung. Zu ihrer Wartung und ihrem Betriebe genügt eine Person, die außerdem noch Zeit genug hat, um die Dampfmaschine zu bedienen und andere Arbeiten zu verrichten.

Die Glühlampen erfordern keine Wartung, die Bogenlampen eine geringe. Es sind nur ihre Glocken bei dem jedesmaligen Einsetzen neuer Kohlen sorgfältig von außen und innen zu reinigen. Selbst die Pflege der Dynamo ist nicht beschwerlich, da diese Maschine einen außerordentlich einfachen Bau mit nur einer beweglichen Achse hat. Peinlichste Sauberkeit aller Teile ist die Grundbedingung ihrer dauernd zuverlässigen Wirksamkeit. Auch die Wartung der

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Akkumulatoren verursacht fast gar keine Mühe. Die ganze Arbeit besteht nur in dem Nachfüllen der verdunsteten Säure, dem öfteren Nachmessen der Säuredichte und in der Führung eines Protokolls über die Ladedauer und sonstige Umstände.

Es würde zu weit führen, hier eine ausführliche Anweisung über den elektrischen Lichtbetrieb zu geben, aber den Hantierungen des Maschinisten bei demselben wollen wir noch unsere Aufmerksamkeit schenken.

Laden des Akkumulators. Am Vormittage, oder wenn sonst die Dampfmaschine gerade die für den Betrieb der Dynamo nötige Kraft zur Verfügung hat, wird der Akkumulator geladen. Der Maschinist läßt die Dynamo leer anlaufen, während ihre Bürsten abgehoben und an der Schalttafel alle Ausschalter geöffnet sind, legt dann ihre Bürsten an und tritt an die Schalttafel. Hier mißt er die noch im Akkumulator vorhandene Spannung, die beispielsweise 110 V betragen möge. Zu diesem Zwecke schaltet er den Voltmesser mittelst seines Umschalters auf die Klemmen des Akkumulators und, nachdem dessen Spannung gemessen, sogleich auf die der Maschine, welche noch stromlos ist. Nun dreht er den Maschinenumschalter auf die Akkumulatorenleitung und treibt mit schnellem Ruck den Maschinenausschalter ein. Noch bleibt aber der automatische Ausschalter, der die endgültige Verbindung der Maschine mit den Akkumulatoren herstellt, geöffnet. Die Dynamo, die in den etwa verflossenen 2 Minuten ihre volle Tourenzahl erreicht hat, beginnt jetzt, da der Stromkreis in ihrem Nebenschluß geschlossen ist, Strom zu erzeugen. Der Zeiger des Spannungsmessers erhebt sich, anfangs langsam, dann immer schneller, während der Maschinist nach und nach am Nebenschlußregulator Widerstand ausschaltet. Sobald die Maschine nun etwa 5 V mehr als die vorher gemessene Spannung des Akkumulators erreicht hat (also etwa 115 V), wird mit einem Schlage der automatische Ausschalter in die Leitung eingedrückt, und nun nimmt erst die Ladung des Akkumulators ihren Anfang. Die Dauer der Ladezeit richtet sich nach dem Maße der noch in der Batterie vorhandenen elektrischen Energie und dauert 1 bis 5 Stunden. Während der Zeiger des Voltmessers im Verlauf der Ladung ruhig ansteigt, pendeln die der beiden Ampèremesser unruhig auf und ab, wobei der Ladeampèremesser immer die Stromrichtung nach „Laden" angiebt und gleichzeitig dem Beobachter die Stärke des ladenden Stromes verrät.

Dem im Verlaufe der Ladung zunehmenden Widerstande der Batterie paßt sich auch die Spannung der ladenden Nebenschlußmaschine an, wobei ihre Stromstärke abnimmt; um aber dennoch die Ladestromstärke konstant zu erhalten, ist im Nebenschluß von Zeit zu Zeit der eingeschaltete Widerstand zu vermindern.

So sind denn die aufmerksamste Beobachtung der elektrischen Meßinstrumente und die Regulierung des Stromes durch den Nebenschlußregulator die wichtigsten Verrichtungen beim Laden der Batterie. Gegen Ende der Ladung ist es aber noch nötig, dem Akkumulator im Erdgeschosse der Maschinenhalle einen Besuch abzustatten. Die Treppe führt unmittelbar neben der Schalttafel zu ihm hinab. Hier nimmt der Maschinist eine Glühlampe, die an einer langen beweglichen Leitungsschnur angebracht ist, in die Hand, schaltet sie ein und beobachtet die einzelnen Zellen der Batterie. Er prüft, ob die Gasentwickelung in allen Zellen gleichmäßig stattfindet. Sollten in einer Zelle keine oder nur wenig Gasbläschen aufsteigen, so ist dies ein sicheres Merkmal dafür, daß in ihr zwischen einer positiven und negativen Platte ein Nebenschluß besteht, der gleich zu beseitigen ist; denn es kann in solcher Zelle durch Selbstentladung bis zur vollkommenen Erschöpfung die Zerstörung des Elementes eintreten. Gleichzeitig wird unser Maschinist bei dieser Untersuchung die Messung der Säuredichte in den einzelnen Zellen vornehmen, die einen vorgeschriebenen Grad erreichen muß.

Ist inzwischen die Spannung des Voltmessers endlich auf 165 V gestiegen, so ist der Akkumulator geladen und die Zuführung des Stromes zu unterbrechen. Während des vollen Betriebes läßt der Maschinist durch Aufdrücken des Ankers am Selbstausschalter diesen sich ausschalten, wodurch die Zuleitung des Maschinenstromes zum Akkumulator augenblicklich unterbrochen ist. Gleichzeitig muß er am Regulator den Nebenschlußwiderstand mit Vorsicht einschalten, so daß die Dynamo stromlos wird. Auch werden die Maschinenum- und -ausschalter geöffnet, und damit ist der Dienst am Schaltbrett beendet. Schließlich wird noch die Dynamo aus ihrem Betriebe „ausgerückt", die dann allmählich zum Stillstand kommt, ihre Bürsten werden abgestellt, und die Ladethätigkeit hat ihr Ende erreicht.

Dem Lichtbetriebe wendet sich unser größtes Interesse zu, weil wir bei ihm die ganze Anlage in der Erfüllung ihrer eigentlichen Aufgabe thätig wissen. Zur Beobachtung desselben statten wir der Anlage vor Eintritt der Dämmerung einen Besuch ab.

In dem Bureau des Verwaltungsgebäudes, dem Raume für mikroskopische Untersuchungen und in der Maschinenhalle tritt zunächst das Lichtbedürfnis ein. Die beim Beginn der Beleuchtung nötige Lichtmenge kann durch den Akkumulator ohne Zuhilfenahme der Dynamo gedeckt werden.

Der Maschinist tritt an die Schalttafel, schaltet hier die Lampengruppen ein, stellt den Spannungsmesser auf „Lampen" und drückt den selbstthätigen Ausschalter in die Leitung ein. Damit aber nicht die volle Spannung der Batterie auf die Lampen einwirkt, wurden von ihr mittelst des Zellenschalters vorher soviel Zellen abgeschaltet, daß die Spannung 110 V nicht überschreitet.

Bald wird auch für die anderen Räume die Beleuchtung nötig und eine Stromstärke gefordert, die über die Leistungsfähigkeit des Akkumulators hinausgeht. Deshalb gilt es, um diesen größeren Ansprüchen zu begegnen, die Stromkraft der Dynamo zu rechter Zeit in Bereitschaft zu halten. Der Maschinist läßt die Dynamo wieder leer anlaufen und stellt ihre Bürsten ein. An der Schalttafel schaltet er das Voltmeter auf „Maschine" und schließt den

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Maschinenschalter. Nun gewinnt die Maschine Strom, den der Maschinist durch Ausschalten des Widerstandes im Nebenschluß zu solcher Höhe ansteigen läßt, bis das Voltmeter die EMK der Maschine als auf 110 V angekommen bezeichnet. Jetzt darf der Maschinenstrom durch die Schaltung des Maschinenumschalters auf die Lampenleitung für den Lichtbetrieb mit dem Akkumulator zusammen zur Verwendung kommen. Ihre vereinte Wirkung haben wir schon auf S. 15 kennen gelernt.

Unter genauer Beobachtung und Regulierung der Spannung werden nach Bedarf weitere Glühlampenkreise, endlich die 4 Bogenlampengruppen eingeschaltet, und damit steht die Anlage in ihrer Hauptverbrauchszeit. Der nun folgende gleichmäßige Betrieb läßt dem Maschinisten Zeit, sich auch um andere Dinge in der Maschinenhalle zu kümmern. Er wendet sich zur Dynamomaschine, untersucht, ob ihre Lager nicht zu heiß werden, und sorgt für ihre gute Ölung; er prüft die Magnetbewickelungen, die Riemenspannung und wendet auch der Dampfmaschine seine Aufmerksamkeit zu. Sollte aber in dieser Zeit die Spannung des Stromes im Betriebe sich ändern, sei es durch die fortschreitende Entladung des Akkumulators, sei es durch einen veränderten Gang der Dampfmaschine, so ruft der Spannungswecker durch sein Glockensignal den stets in Hörweite weilenden Maschinisten zum Ausgleiche herbei. In der Regel ist in dieser Betriebszeit nur, der Entladung des Akkumulators entsprechend, eine neue Zelle von Zeit zu Zeit durch den Zellenschalter zuzuschalten. Um 7 Uhr abends ist die Zeit des größten Stromverbrauchs vorüber. Die Geschäfte werden in den meisten Räumen des Schlachthofs eingestellt.

Mit dem Glockenschlage schaltet der Maschinist zunächst die Bogenlampengruppen nach einander aus und reguliert die Spannung, dann die Glühlampengruppen bis auf die der Maschinenhalle und der Verwaltungsgebäude, in welchen Räumen für weitere Arbeiten noch Licht nötig ist. Diese letzte Stromüberlieferung übernimmt wieder der Akkumulator, und die Dynamo ist allmählich außer Betrieb zu setzen. Zu diesem Zwecke schaltet der Maschinist zu dem Nebenschluß der Maschine immer mehr und mehr Widerstand ein, bis sie stromlos ist, stellt das Voltmeter auf die Lampenleitung, reguliert durch den Zellenschalter die Spannung und öffnet alle Schaltungen bis auf den selbstthätigen Ausschalter. Nun wird auch die leer laufende Dynamo aus der Verbindung mit der Dampfmaschine gerückt, die Bürsten werden vom Kollektor abgehoben, und endlich bringt man auch die Dampfmaschine zur Ruhe. Um 8 Uhr schaltet man in der Regel die letzten Lampengruppen aus.

Sollte in der Nacht oder am frühen Morgen Licht gebraucht werden, so wird dieser Bedarf aus dem Akkumulator gedeckt. In den kurzen Wintertagen aber, in denen sich auch des Morgens die Beleuchtung der ganzen Anlage nötig macht, beteiligen sich beide Stromquellen an der Stromlieferung.

Um das Bild der Anlage zu vervollständigen, gebe ich noch einen Überblick über die Kosten dieser Beleuchtungsanlage. Ich entnehme diese Angaben den Akten, die der Erbauer des Schlachthofs, Herr Hofbaurat Schaller hier, die Güte hatte mir zur Einsicht vorzulegen. Danach gestaltet sich der Preis der Anlage wie folgt:

1) Lichtmaschine mit Zubehör 2326,50 ℳ, 2) Leitung und Nebenmaterialien 1643,10 ℳ, 3) Sicherungen 175,10 ℳ, 4) Fassungen, Ausschalter und Glühlampen 915,10 ℳ, 5) Glühlichtbeleuchtungskörper 709,24 ℳ, 6) Bogenlampen und Zubehör 882,50 ℳ, 7) Montagekosten 1423,33 ℳ, 8) Akkumulator mit Zubehör und Montage 4834,76 ℳ, 9) Mehrleistungen ꝛc. 714,58 ℳ. Es kostet diese elektrische Beleuchtungsanlage somit 13624,21 ℳ, d. i. pro Normalkerze 1,70 ℳ, wenn man für die ganze Anlage rund 7960 NK in Rechnung bringt.

Durch die Gefälligkeit mehrerer Firmen, die mir bereitwilligst Klischees zur Verfügung stellten (Siemens & Halske, Berlin, zu Fig. 1, 7, 10 bis 15 und 17 bis 24, die Akkumulatoren-Fabrik, Hagen i. W., zu Fig. 9, Gebr. Fraaß, Wunsiedel, zu Fig. 5, und Ferd. Hirt & Sohn, Leipzig, zu Fig. 2), sowie durch die Güte der städtischen Behörden hier, welche Mittel gewährten, um die Fig. 3, 4, 6, 8, 16 und 25 in Holz schneiden lassen zu können, ist es mir möglich geworden, meine Arbeit mit zahlreichen erläuternden Abbildungen auszustatten. Für diese freundliche Unterstützung spreche ich auch an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank aus.

Bruchmann.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf