



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Der Graetz für Alle

Graetz, Leo

Stuttgart, 1929

Siebentes Kapitel. Die Leistung von Arbeit durch Elektromotoren.

[urn:nbn:de:hbz:466:1-83225](#)

SIEBENTES KAPITEL

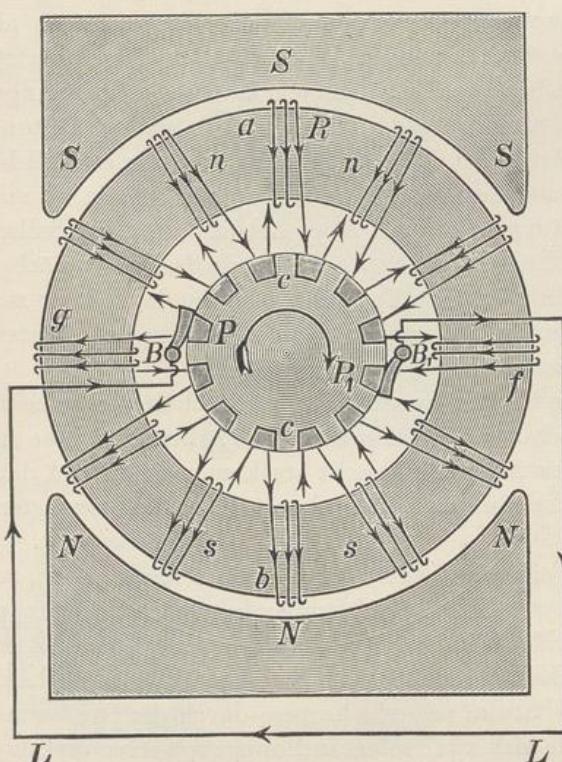
DIE LEISTUNG VON ARBEIT DURCH ELEKTROMOTOREN

Die Dynamomaschinen verwandeln direkt mechanische Arbeit in elektrische Energie. Aber sie können noch mehr leisten. Sie können auch umgekehrt elektrische Energie in mechanische Arbeit verwandeln.

Betrachten wir, um das einzusehen, nochmals das Schema einer solchen Maschine in **Fig. 116**. Wenn man den Anker derselben durch Aufwendung von Arbeit vor den Magneten polen dreht, und zwar, wie die Pfeile in der Mitte angeben, nach rechts herum, so erzeugt man in ihm Induktionsströme, welche die in der Figur angegebene Richtung haben, und von der Bürste B_1 fließt durch die Leitung L ein Strom nach B . Dies ist die ursprüngliche und im 4. Kapitel ausführlich besprochene Verwendung der Maschinen. Wenn man aber anderseits durch die Drahtwindungen des Ankers irgend einen elektrischen Strom von einer Elektrizitätsquelle, z. B. einem Element, in derselben Richtung schickt,

so daß der positive Pol derselben mit B , der negative mit B_1 verbunden ist, so verlaufen die Ströme in den Drahtwindungen in derselben Richtung wie vorher. Da aber die Magnete auf diesen Strom Kräfte ausüben, so müssen sich unter dem Einfluß dieser Kräfte die Stromleiter, d. h. es muß sich der Anker bewegen, und zwar nach der *Linken-Hand-Regel*. Wir haben also z. B. in der oberen Hälfte der Figur den Zeigefinger der linken Hand nach oben zu halten, den Mittelfinger von hinten nach vorn, dann gibt der Daumen, der nach links zeigt, die Richtung der Drehung des Ankers, die also in diesem Fall die umgekehrte ist wie bei der Benutzung der Maschine als

Fig. 116



SIEBENTES KAPITEL

Stromerzeuger. Durch diese elektromagnetischen Kräfte kann die Maschine Arbeit leisten. Woher man den Strom nimmt, den man in die Maschine einleitet, ist ganz gleichgültig. Man kann ihn aus galvanischen Elementen oder man kann ihn aus einer anderen Dynamomaschine nehmen, oder man kann ihn endlich da, wo eine Stromlieferung von Zentralstationen besteht, direkt aus der Leitung entnehmen. Das wesentlich Arbeitstreibende ist also der elektrische Strom, und das Mittel, durch welches seine Energie in mechanische Arbeit verwandelt wird, ist die Dynamomaschine, die man deshalb auch, wenn sie in dieser Weise verwendet wird, als *elektrischen Motor* oder *Elektromotor* bezeichnet.

Die elektrischen Motoren, welche durch Gleichströme getrieben werden, sind also nichts anderes als Dynamomaschinen, und sie werden entweder als *Hauptstrommotoren* oder als *Nebenschlußmotoren* ausgeführt. Diese beiden Arten unterscheiden sich ganz ebenso in der Schaltung wie die Hauptstromdynamos und Nebenschlußdynamos, die wir auf S. 65 besprochen haben. Während wir aber eben gesehen haben, daß bei einer Dynamomaschine, deren magnetisches Feld in beiden Fällen dieselbe Richtung hat (ein Fall, der bei der Nebenschlußmaschine vorliegt), der Motor in umgekehrter Richtung läuft (gegen die Bürsten) wie der Generator (mit den Bürsten), ist das bei Hauptstrommaschinen nicht der Fall. Denn bei diesen wird auch das magnetische Feld umgekehrt, wenn ein Strom in die Maschine bei B eingeführt und bei B_1 abgeführt wird, und infolgedessen hat eine Hauptstrommaschine dieselbe Drehrichtung als Motor wie als Generator. Hauptsächlich werden Nebenschlußmotoren benutzt. Ein Nebenschlußmotor, der zwischen zwei Leitungen von konstanter Spannungsdifferenz gelegt geschaltet wird, nimmt umso stärkere Ströme aus der Leitung auf, je größer die zu leistende Arbeit ist. Daraus folgt zunächst die erfreuliche Tatsache, daß der Motor, bis auf die Leerlaufarbeit, immer gerade so viel Energie von außen, aus der Leitung aufnimmt, als er Arbeit leistet. Bei halber Arbeit nimmt er bloß die halbe Energie auf, wenn die Leerlaufarbeit zunächst unberücksichtigt bleibt. Erfreulich ist diese Tatsache, weil die dem Motor zugeführte und von ihm aufgenommene Energie sich ja zuletzt in den Kosten ausdrückt, welche zu ihrer Erzeugung aufgewendet werden.

Damit nun der Motor recht große Kraft, namentlich beim Einschalten, also beim *Anlauf*, entwölfe, auch wenn er belastet ist, also wenn eine Arbeitsmaschine an ihm hängt, ist es notwendig, sein Magnetfeld recht stark zu machen und den Widerstand des Ankers möglichst klein zu halten, damit die in ihm erzeugten Ströme recht stark werden.

Wenn aber die Elektromotoren einen sehr kleinen Ankerwiderstand haben, so treten bei dem Anschluß derselben an die Stromleitungen zunächst Übelstände auf. Nehmen wir an, ein solcher Motor habe den Widerstand von 1 Ohm und er werde zwischen zwei Leiter geschaltet, die 100 Volt Spannungsdifferenz haben, so würde im ersten Moment ein Strom von 100 Ampere durch die Drahtwindungen fließen. Der Acker würde sich zwar sofort in Bewegung setzen und da-

DIE LEISTUNG VON ARBEIT DURCH ELEKTROMOTOREN

durch einen Gegenstrom erzeugen, der die 100 Ampere bald auf 50, 20 usw. Ampere hinunterbringen würde, aber es würde gewöhnlich gar nicht dazu kommen; denn durch den ersten momentanen starken Strom würden die Drähte des Ankers und ihre Isolierung beschädigt werden, oder mindestens würde die Sicherung (oben S. 102) durchschmelzen. Und ferner würde durch die plötzliche starke Stromentnahme aus dem Netz dieses in Störung geraten, die Spannung würde plötzlich sinken. Diese Umstände verlangen, daß die Elektromotoren, und namentlich die größeren, nicht auf einmal, sondern *allmählich* in den Stromkreis eingeschaltet werden. Dazu braucht es zunächst weiter nichts als einen Vorschaltwiderstand, der vor die Drähte des *Ankers* (aber nicht der Magnetwicklung) eingeschaltet wird, so daß der Strom erst durch einen großen Widerstand geht und dadurch schwach wird; wenn der Anker sich dann dreht und Gegenstrom erzeugt, dann wird dieser Vorschaltwiderstand allmählich verringert und schließlich kurzgeschlossen, so daß der Motor allein im Stromkreis ist. Ein solcher *Anlasser* ist z. B. durch **Fig. 117** dargestellt. Durch Drehen der unten sichtbaren Kurbel nach rechts werden die Widerstände, die in dem durchbrochenen Kasten enthalten sind, allmählich ausgeschaltet. Dabei werden bei größeren Motoren zuerst die Magnete eingeschaltet und dann allmählich der Anker.

Die kleineren Motoren, von $1/100$ bis zu 2 Pferdekräften Leistung, werden von den großen elektrischen Gesellschaften in sehr erheblichen Mengen hergestellt, wodurch ihr Preis auch sehr gering ist.

Die äußere Form dieser *Kleinmotoren* ist bei allen Fabriken dieselbe geworden. **Fig. 118** zeigt zwei solche Kleinmotoren für $1/100$ und $1/6$ Pferdekraft. Sie enthalten im Gehäuse, wie jede Dynamomaschine, die Feldmagnete, den Anker mit dem Kollektor und die auf diesen schleifenden Bürsten.

Während jede Gleichstrommaschine auch umgekehrt als Motor benutzt werden kann, ist das bei Wechselstrommaschinen nicht der Fall. Es mußten verschiedene technische Erfindungen gemacht werden, bis es gelang, für reinen (einphasigen) Wechselstrom auch gute Motoren zu konstruieren. Dagegen hat sich gezeigt, daß man für *Drehströme* (oben S. 75) Elektromotoren konstruieren kann, die ganz besonders einfach und

Fig. 117

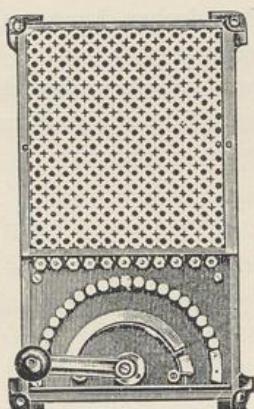
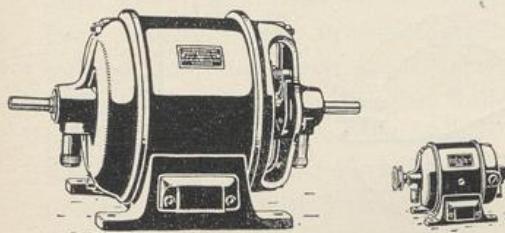


Fig. 118



SIEBENTES KAPITEL

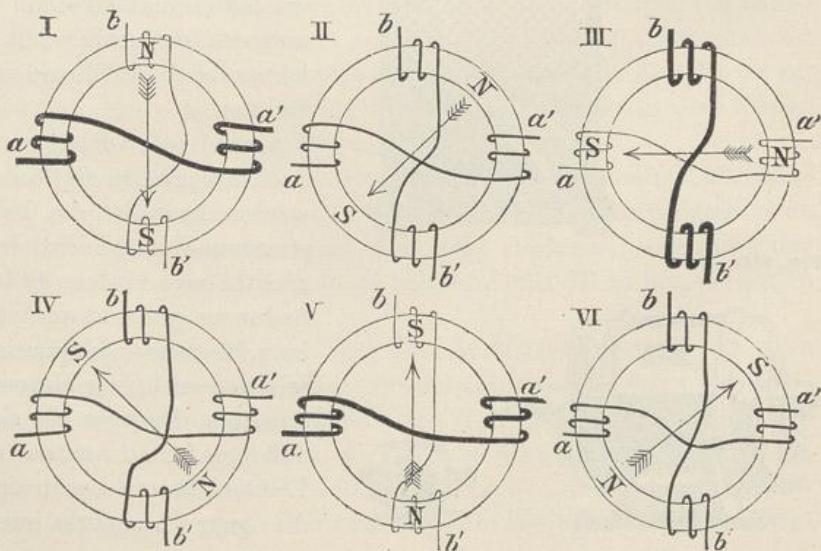
leistungsfähig sind. Derartige Motoren bezeichnet man als *Drehstrommotoren*.

Das Prinzip, auf dem die Motoren für Drehstrom beruhen, ist an sich sehr interessant. Es wird bei ihnen gerade der Phasenunterschied zweier oder mehrerer Wechselströme ausgenutzt.

Wenn man nämlich zwei oder drei Wechselströme verschiedener Phase, die also zu verschiedenen Zeiten den größten Wert der Stromstärke erreichen und zu verschiedenen Zeiten die Stromrichtung ändern, wenn man zwei oder mehr solche Wechselströme in passender Anordnung um einen feststehenden Ring aus weichem Eisen herumsendet, so bildet sich in diesem Eisenring und in seiner Umgebung ein rotierendes magnetisches Feld, ein sogenanntes *magnetisches Drehfeld*, aus. In **Fig. 119** ist ein feststehender Ring aus weichem Eisen an zwei diametral gegenüberliegenden Stellen a und a' von dem einen, und an zwei um 90° von den ersten abstehenden Stellen b und b' von dem zweiten Wechselstrom in einigen Windungen umflossen. Vermöge des Phasenunterschiedes der beiden Wechselströme hat der eine in demselben Moment die größte Stärke, in dem der andere gerade die Stärke Null hat. In der Figur ist die verschiedene Stromstärke in den Umwindungen durch verschiedene dicke Linien angedeutet. Man sieht in der ersten Figur den starken Strom bei a a' , den Strom Null bei b b' . Der Eisenring wird nun durch den Strom in a a' magnetisiert, und zwar so, daß der Nordpol und Südpol an den Stellen N und S liegen, wie man sich durch die Ampèresche Schwimmerregel überzeugt. Eine Magnetnadel, die im Innern des Ringes sich auf einer Spalte drehen kann, wird also eine Lage annehmen, wie sie durch den großen Pfeil gezeichnet ist.

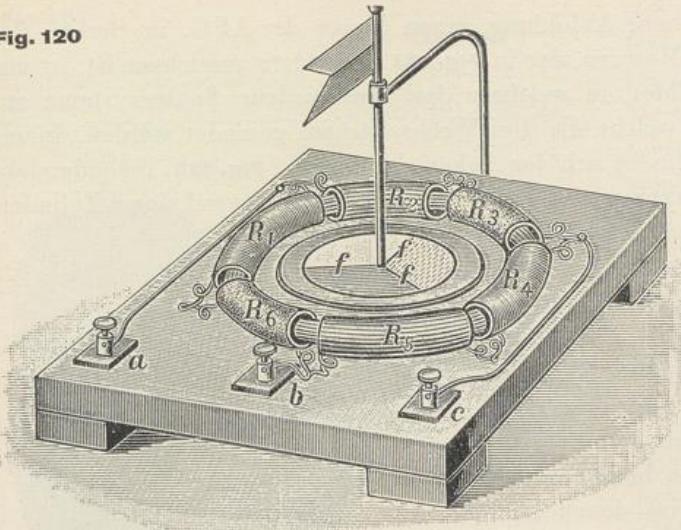
Wenn nun die Wechselströme fließen, dann erreichen abwechselnd, aber nicht gleichzeitig die Ströme um a a' und die um b b' ein Maximum, werden dann

Fig. 119



DIE LEISTUNG VON ARBEIT DURCH ELEKTROMOTOREN

Fig. 120



zu Null, bekommen dann wieder einen maximalen, aber negativen Wert usw. Dadurch aber verschieben sich auch die Pole des Ringes. Man erkennt das aus der Figur. In I ist der Strom $a a'$ stark, der Strom $b b'$ schwach, die Magnetnadel nimmt die gezeichnete Lage ein. In Fig. II sind die Ströme in $a a'$ und in $b b'$ gleich stark, dann befinden sich die Pole des Eisenringes bei N und S, und die Magnetnadel bekommt die schiefe Lage. In der folgenden Figur ist der Strom $b b'$ im Maximum, der Strom $a a'$ gleich Null, die Pole im Ringe haben sich also weiter gedreht nach N S, und die Magnetnadel ist ihnen gefolgt. Und so geht das weiter. Man sieht als Resultat, daß, wenn die beiden Wechselströme von verschiedener Phase durch die festen Windungen um den festen Ring geleitet werden, daß dann die Magnetnadel im Innern in fortlaufende Drehung kommen muß, daß sie sich so lange drehen muß, als die Ströme fließen. Statt der Magnetnadel können wir auch einen Ringanker oder Trommelanker, der mit einer Reihe von Drahtwindungen versehen ist, die *in sich geschlossen sind*, hineinbringen, und auch dieser dreht sich. Denn es werden in den Drähten durch Induktion ja auch Ströme erzeugt, und diese Ströme, resp. ihre Träger, werden von dem wandernden Pole angezogen.

Statt *zwei* verschiedene Wechselströme so um den Eisenring herumzusenden, kann man auch drei in verschiedener Phase befindliche Wechselströme anwenden, und diese bieten sogar Vorteile vor den zwei Wechselströmen. **Fig. 120** zeigt einen solchen Ring, mit drei Rollenpaaren R_1 bis R_6 umwunden, von denen je zwei passend miteinander verbunden sind und durch welche Drehströme fließen können. Die mit einer Fahne versehene Metallscheibe $f f f$, die im Innern drehbar aufgesetzt ist, kommt dabei in rasche Rotation.

Auf diesem Prinzip beruhen nun die *Drehstrommotoren*. Von solchen *Drehstrom-*

SIEBENTES KAPITEL

motoren zeigt **Fig. 121** eine Abbildung, einen Motor der AEG. in Berlin. Der äußere Mantel dieser Motoren, der in **Fig. 122** besonders gezeichnet ist, ist aus einem Eisenring gebildet, in welchem drei verschiedene Spulensysteme angebracht sind, durch welche die drei Wechselströme gesendet werden. Innerhalb dieses Ringes befindet sich der Anker, den man in **Fig. 123** besonders abgebildet sieht. Er besitzt nur eine Reihe von Kupferstreifen auf einem Zylinder, die außen durch metallische Ringe verbunden sind. Zuvörderst erkennt man eine Besonderheit bei diesen Motoren. Der bewegliche Teil, der Anker, braucht gar keinen Kollektor, keine Schleifringe, keine Bürsten, wie bei den Gleichstrommotoren, sondern die Ströme im beweglichen Teil werden direkt von denen im festen Teil induziert. Das ist ein großer Vorzug in bezug auf die Haltbarkeit der Motoren. Denn der Kollektor mit den Bürsten ist der empfindlichste Teil bei allen Gleichstrommotoren. Diese Drehstrommotoren werden, weil die Ströme im Anker durch Induktion erregt werden, auch *Induktionsmotoren* genannt. Sie sind, wie aus dem Gesagten hervorgeht, die einfachsten Motoren, die man sich denken kann, einfacher selbst als die Gleichstrommotoren. Um einen solchen Motor einzuschalten, lässt man, wie **Fig. 124** zeigt, die drei Leitungen, welche aus dem Drehstromnetz (gewöhnlich von dem Drehstromtransformator) kommen, zuerst durch einen Schalthebel gehen, durch den man die Ströme in die festen Wicklungen des Motors einschaltet. In vielen Fällen, namentlich bei größeren Drehstrommotoren, hat es sich übrigens doch als vorteilhaft erwiesen, dem Anker den Strom durch Schleifringe zuzuführen.

Die Anwendbarkeit aller elektrischen Motoren ist nun natürlich eine sehr

Fig. 121



Fig. 122

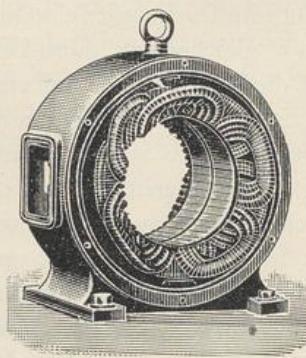
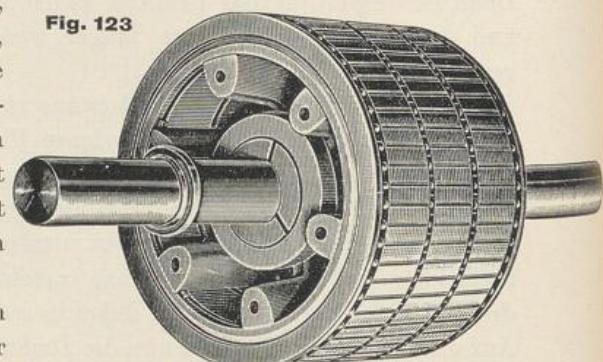


Fig. 123



DIE LEISTUNG VON ARBEIT DURCH ELEKTROMOTOREN

Fig. 124

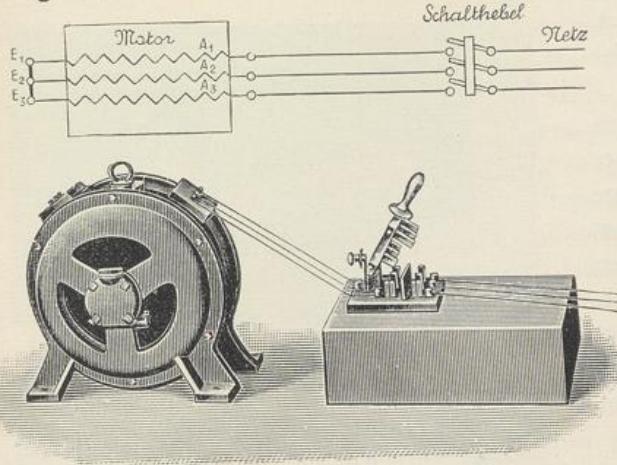


Fig. 125

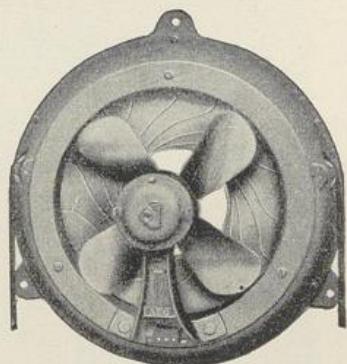
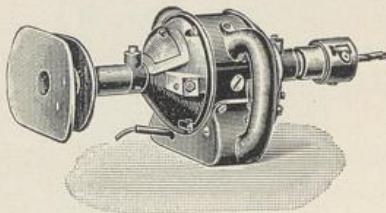


Fig. 126



quemsten direkt auf die Achse gesetzt. Auch bei Bohrmaschinen und Poliermaschinen bringt man den Bohrer oder Polierstahl direkt an der Achse des Elektromotors an. **Fig. 126** zeigt eine Handbohrmaschine, die so eingerichtet ist, daß vor dem Brustschild die Leitungsschnur aufgewickelt werden kann, während unter dem einen Handgriff ein Druckschalter zum Ein- und Ausschalten des Motors sich befindet.

Die bequemen Eigenschaften der Elektromotoren haben ihnen, da jetzt fast

ausgedehnte. Sie sind für fast alle Zwecke vorzüglich brauchbar, in denen man Maschinenkraft zum Drehen von Arbeitsmaschinen aufwendet.

Die Elektromotoren, namentlich die kleineren, haben im allgemeinen ziemlich große Umdrehungsgeschwindigkeiten. Um nun den Elektromotor mit den Arbeitsmaschinen zu verbinden, hat man vielfache bekannte Mittel. Brauchen die Arbeitsmaschinen selbst große Geschwindigkeiten, so ist es am einfachsten, den Motor direkt auf die Achse der Arbeitsmaschinen oder umgekehrt zu setzen und diese dadurch zu treiben. So werden elektrische Ventilatoren bequem so konstruiert, daß, wie **Fig. 125** bei einem Wandringventilator zeigt, die Ventilatorflügel direkt auf die Achse des Motors aufgesetzt werden. Mit 60 Watt, also kaum $\frac{1}{10}$ Pferdekraft, lassen sich schon Ventilatoren betreiben, die pro Stunde bis 1800 cbm Luft befördern.

Ebenso wird bei Zentrifugen der Elektromotor am be-

SIEBENTES KAPITEL

in jedem Dorf Anschluß an ein Leitungsnetz vorhanden ist, auch das Herrschaftsgebiet der Hausfrauen erschlossen.

Eine bei den Hausfrauen und in großen Betrieben sehr beliebte Anwendung des Elektromotors ist in den *Staubsaageapparaten* gemacht worden, in welchen durch den Motor mit Ventilatorflügel die Luft kräftig angesaugt wird, so daß auch der Staub aus Teppichen, Vorhängen usw.

Fig. 128

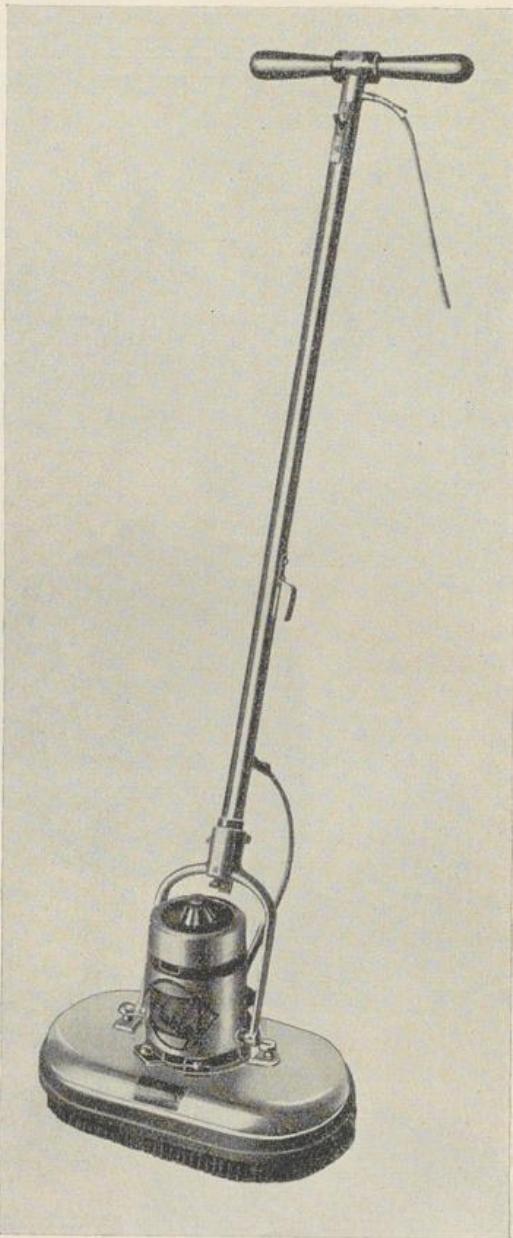
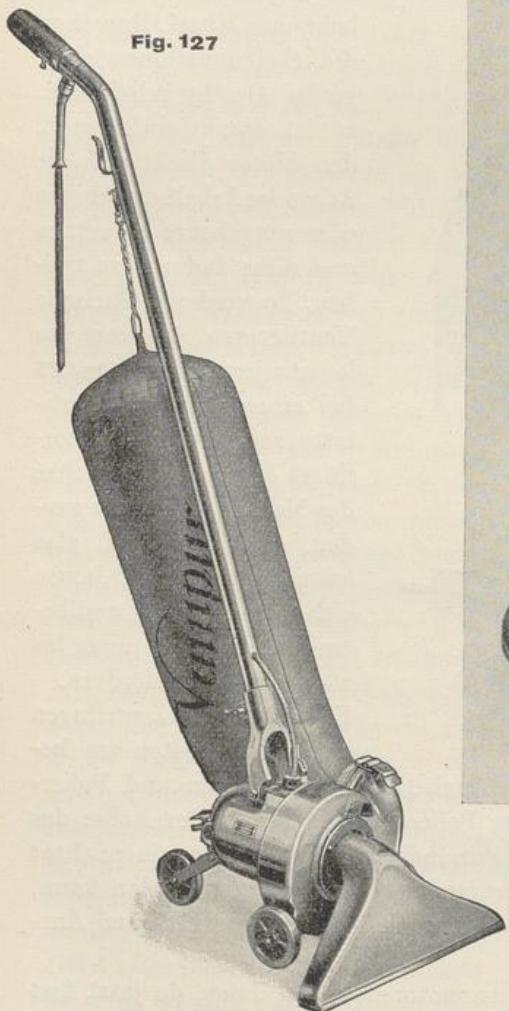


Fig. 127



DIE LEISTUNG VON ARBEIT DURCH ELEKTROMOTOREN

Fig. 129

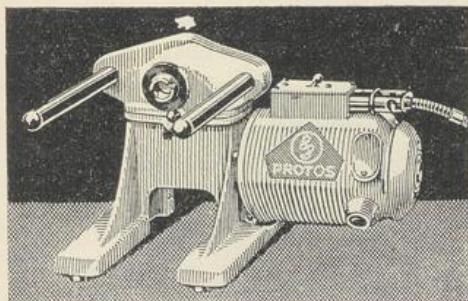
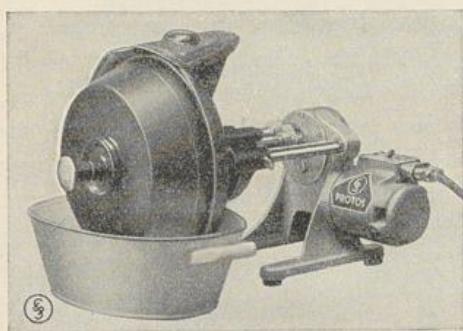


Fig. 130



mit abgesaugt wird. Derartige Apparate sind der *Protos-Staubsauger* der SSW. und der *Vampyr* der AEG., von welchem letzteren

Fig. 127 eine Abbildung gibt. Der abgesaugte Staub kommt in den in der Figur sichtbaren Sack und wird aus diesem von Zeit zu Zeit entleert.

Ebenso werden auch elektrische *Bohnerapparate* für die Hausfrauen allmählich beliebter, wie **Fig. 128** einen zeigt. In diesen werden drei Bürsten, eine zur Reinigung, eine zum Einwachsen und eine zum Blankwichsen, eingesetzt, welche durch den Motor ihre rotierende Bewegung erhalten.

Für eine große Reihe von Arbeiten in der *Küche* ist von den elektrischen Firmen ein *Küchenmotor* hergestellt worden, der gegen jede unzarte und unsachgemäße Bedienung geschützt ist. **Fig. 129** zeigt einen solchen Motor der SSW. Die Vor-

delseite des Motors zeigt zwei Haltestangen, auf die die verschiedenen Küchenmaschinen aufgesteckt werden. Als solche sind z. B. passend eingerichtet: Fleisch- und Gemüsehacker, Messerputzer, Kartoffelschälmaschinen, Aufschnittschneider, Wäschemänge, Kaffeemühlen, Brotschneider usw. **Fig. 130** zeigt z. B. den Küchenmotor mit aufgesteckter Kartoffelschälmaschine.

Große Motoren werden zum Teil durch Riemen, zum Teil durch Zahnräder mit der Arbeitsmaschine gekuppelt. Sie haben natürlich die vielseitigste Verwendung in Fabrikräumen zum Antrieb von Maschinen aller Art und zur Bewegung von Kranen und Aufzügen.

Sehr vorteilhaft sind die Elektromotoren in großen *Fabriken*, bei denen sie die großen, umständlichen und viel Effekt konsumierenden *Haupttransmissionen* beseitigt haben. Statt von der Dampfmaschine die Bewegung durch Riemen auf große Wellen zu übertragen und von diesen wieder auf zweite, ja sogar auf dritte Wellen, bringt man vorteilhaft an jeder Arbeitsmaschine einen Elektromotor an, zu dem die Kraft durch bequem zu legende Drähte geleitet wird, statt durch die unbequemen und kraftverzehrenden Riementransmissionen. Ja, die großen Fabriken haben es oft praktischer und ökonomischer gefunden, statt eigene Dampfmaschinen aufzustellen, die Energie sich auf Leitungen von den großen Kraftwerken zuführen zu lassen und sie durch Elektromotoren in Arbeit zu verwandeln.

SIEBENTES KAPITEL

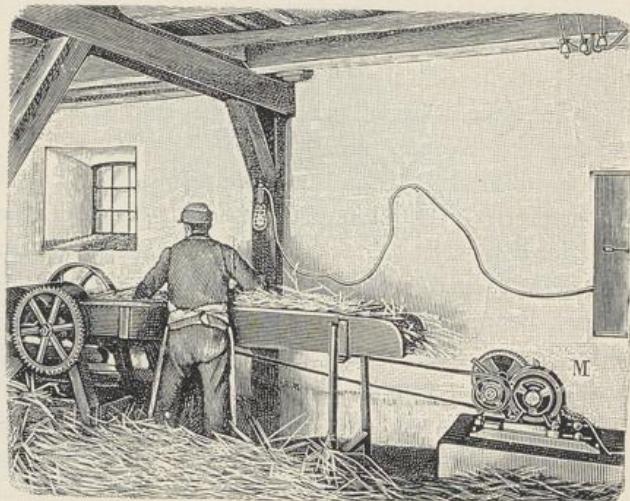
Dabei haben es die großen Elektrizitätsfirmen verstanden, die Motoren mit allen Nebeneinrichtungen derart zu versehen, daß sie für die betreffenden Arbeitsmaschinen gerade geeignet sind. Ein Motor für einen Webstuhl muß eine andere Einrichtung des Zubehörs haben als ein Motor für eine Papiermaschine. Der Motor selbst ist zwar immer derselbe, aber die Art seiner Aufstellung oder Aufhängung, die Einrichtungen zum Stillstellen und Wieder-in-Gang-Setzen sind jedesmal verschieden.

Eine wesentliche und stets steigende Bedeutung hat die elektrische Arbeitsleistung in *Bergwerken* wegen ihrer großen Gefahrlosigkeit und wegen der Leichtigkeit, mit der die Leitung zu den Motoren geführt werden kann, gewonnen. Die Elektromotoren werden dort zum Betrieb von Pumpen, Ventilatoren und Bohrmaschinen und zum Betrieb der Fördermaschinen gebraucht.

Die Vorzüge der Elektromotoren bestehen in ihrer sofortigen Betriebsbereitschaft, in ihrer Gefahrlosigkeit, in dem kleinen Raum, welchen sie einnehmen, und der Billigkeit der Anlage und endlich darin, daß sich ihr Verbrauch direkt nach der Leistung richtet. Denn der Effekt, die Leistung des Elektromotors ist, wenn die Spannung, wie man es gewöhnlich tut, immer unveränderlich gehalten wird, allein abhängig von der Stromstärke, die je nach der Leistung größer oder kleiner wird. Die verbrauchte Stromstärke, die gemessen und nach irgend einem Satz berechnet wird, bedingt die Kosten des Betriebes.

Sehr wertvoll ist es, daß es möglich ist, kleine Motoren, kleine Kräfte unter $\frac{1}{2}$ Pferdestärke, bequem aufzustellen und zu betreiben. Diese Maschinenbetriebskraft in kleinem Umfange ist es gerade, welche dem Kleingewerbe notwendig ist. Aus Mangel an Maschinenbetrieb kommt es in Nachteil gegenüber dem Großgewerbe. Durch Einführung von elektrischen Strömen, die in Großkraftwerken durch große Dynamomaschinen erzeugt und überallhin geleitet werden, werden nun aber dem Kleingewerbe Motoren schon von $\frac{1}{60}$ Pferdekraft

Fig. 131



DIE LEISTUNG VON ARBEIT DURCH ELEKTROMOTOREN

Fig. 132

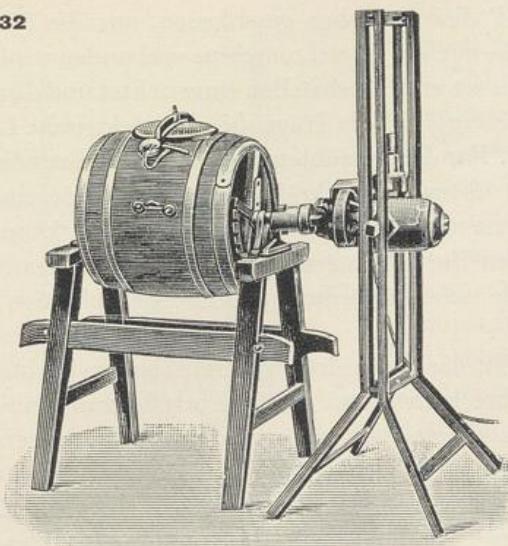
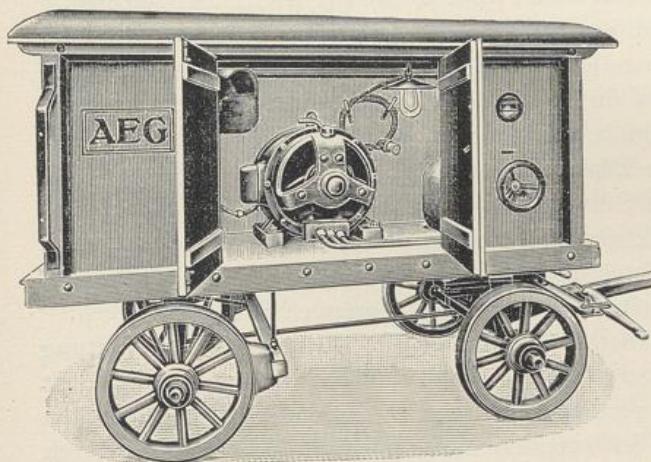


Fig. 133



nutzt. **Fig. 131** zeigt den Antrieb einer Häckselschneidemaschine, **Fig. 132** den Antrieb eines Butterfasses, durch einen kleinen Elektromotor der Siemens-Schuckertwerke, der in dem Gestell in beliebiger Höhe festgestellt werden kann. Für den elektrischen Betrieb von Dreschmaschinen, der bedeutende Vorteile gegenüber dem Betrieb mit Lokomobilen hat und der auch schon bei kleinen Maschinen vorteilhaft ist, hat die AEG. einen besonderen *Dreschmotorwagen* konstruiert, der in **Fig. 133** abgebildet ist. Er enthält in seiner rechten Hälfte den Elektromotor und einen Anlasser, in der linken ein 50 m langes Anschlußkabel. Man sieht in der Figur den Motor und rechts das Handrad für den Anlasser, darüber ist ein Amperemeter angebracht. Der ganze Wagen

lieferiert, welche ihre Arbeit zu billigem Preise leisten und deren Verbrauch an Strom in demselben Verhältnis steht wie die geleistete Arbeit.

Die Drehstrommotoren haben der Elektrizität auch ein Gebiet erobert, welches an sich die schwierigsten Verhältnisse für maschinellen Betrieb bietet, nämlich die *Landwirtschaft*. Bei den ausgedehnten Flächen, welche hier in Frage kommen, ist nur hochgespannter Drehstrom zur billigen Zuführung des Stromes geeignet. Dieser wird an geeigneten Stellen durch Drehstromtransformatoren in niedriggespannten Drehstrom verwandelt, der nun auf dem Hof die Elektromotoren speist. Die Motoren werden zum Antrieb von Dreschmaschinen, Buttermaschinen, Häckselschneidemaschinen, Schrotmühlen, Pumpen, Rübenschneidern, Kuchenbrechern usw. be-

SIEBENTES KAPITEL

bleibt im allgemeinen während des Betriebes geschlossen, nur die Riemscheibe des Elektromotors, welche mit der Dreschmaschine verbunden wird, ragt heraus. Die Deichsel des Wagens ist zum Hochstellen eingerichtet und dient als Träger für das Kabel und eventuell zugleich als Träger für eine elektrische Lampe beim Arbeiten in der Dunkelheit. Für die ungeübten und durch die Grundlehren der Elektrizität durchaus ungetrübten Arbeitskräfte auf dem Lande sind die Schaltungen so ausgeführt, daß sie unmöglich falsch bedient werden können. In derselben, für den praktischen Betrieb angemessenen Weise hat man auch *elektrische Pflüge* eingerichtet, die sich aber bisher gegen die Dampfpflüge nicht durchsetzen konnten.

Seitdem die Elektrizität einmal in die Reihe der schwere Arbeit verrichtenden Kräfte eingetreten und durch ihre leichte und rasche Fortpflanzungsfähigkeit imstande war, ihre Arbeit weit von dem Orte zu verrichten, an dem sie erzeugt wurde, seit dieser Zeit lag auch die Möglichkeit vor, die Elektrizität zur Beförderung von Eisenbahnen, Trambahnen, Booten u. dgl. zu verwenden.

In der Tat wurde schon im Jahre 1879, bald nach der Erfindung der Dynamomaschine, von Siemens & Halske die erste elektrische Bahn gebaut. Das Prinzip derselben ist mit einigen Worten angegeben: Wenn ein elektrischer Strom von außen in einen Elektromotor eingeführt wird, so kommt der Anker derselben in Rotation. Überträgt man nun die Rotation des Ankers etwa durch Zahnräder auf Räder, welche auf Schienen laufen können, und führt man in den Elektromotor irgendwie einen Strom ein, so müssen sich die Räder mit dem Elektromotor und einem fest mit ihnen verbundenen Wagen auf den Schienen fortbewegen, und die elektrische Eisenbahn ist fertig.

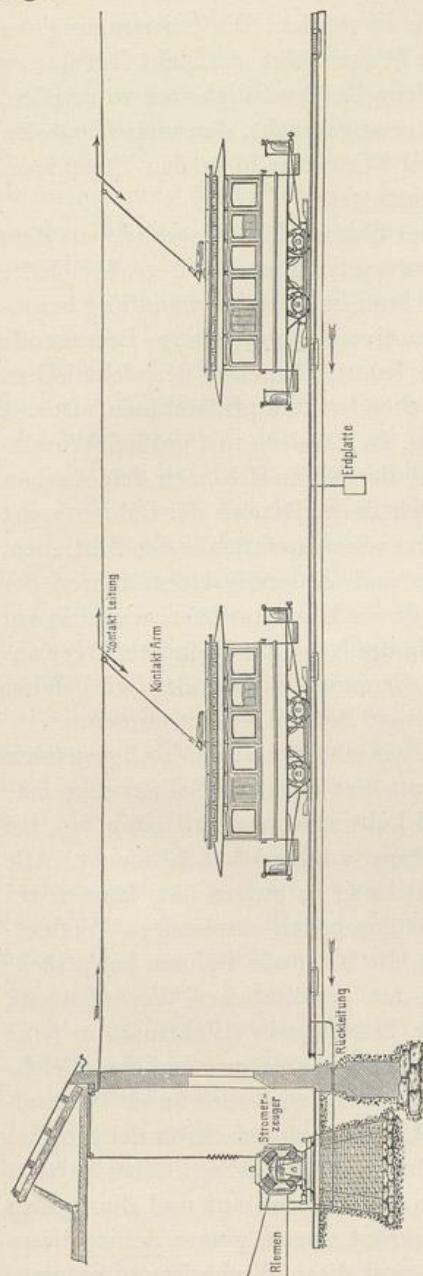
Aber hier tritt die besondere Schwierigkeit auf: Wie soll man dem Eisenbahnwagen (dem Motor) den elektrischen Strom zuführen? Bei einer elektrischen Eisenbahn bewegt sich der Motor, und sein Abstand von der Stromquelle ist kein fester, es muß also auch die Leitung für den Strom veränderliche Länge haben.

Der nächste Gedanke ist natürlich der, daß man die Schienen selbst zur Leitung des Stromes benutzt; doch zeigte es sich bald, daß das im allgemeinen nicht angeht. Bei nassem Wetter nämlich und wenn zerfließender Schnee zwischen den Schienen liegt, sind die Schienen leitend verbunden, und es wird dadurch der Strom, der von der Dynamomaschine kommt, stark geschwächt.

Im Laufe der Entwicklung der elektrischen Eisenbahn hat sich hauptsächlich die eine Methode für die Zuleitung des Stromes bewährt, nämlich die Methode der *oberirdischen Zuführung* des Stromes. Diese Methode wurde in Amerika zunächst für die *Straßenbahnen* angewendet und wird jetzt allgemein in der weitaus größten Zahl aller Fälle benutzt. Bei diesem System wird über den Schienen ein besonderer blanker Draht ausgespannt, mit welchem der eine Pol der Stromquelle verbunden ist, während der andere Pol mit einer Schiene verbunden wird. Diesen blanken Draht, *Arbeitsleiter* oder *Fahrdrift* genannt, berührt nun ein mit dem Wagen verbundener Arm mittels einer Rolle oder eines Bügels fortduernd und leitet dadurch den Strom in den Wagen, also in

DIE LEISTUNG VON ARBEIT DURCH ELEKTROMOTOREN

Fig. 134



den im Wagengestell befindlichen Elektromotor. Von diesem aus geht er dann durch die Schienen wieder zur Stromquelle zurück, womit der Stromkreis geschlossen ist. Laufen auf einer Bahn, wie gewöhnlich, mehrere Wagen zu gleicher Zeit, so sind diese infolgedessen *alle parallel geschaltet*, wie man aus **Fig. 134** erkennt. Links steht die primäre Dynamomaschine; die beiden Hauptleitungen, die von dieser ausgehen, sind: oben der Fahrdräht, unten die Schienen, und zwischen beiden sind alle Wagenmotoren nebeneinander geschaltet.

Es befindet sich also bei diesem System auf der Decke jedes Wagens ein Arm, gewöhnlich aus Stahlrohr gefertigt, welcher oben eine Kontaktrolle trägt, die an dem blanken Arbeitsleiter rollt und von diesem den Strom abnimmt. Der Arm ist nun mit starken Federn unten versehen, so daß die Rolle immer an den Arbeitsdraht herangedrückt wird, auch wenn dieser zwischen zwei Festigungspunkten durchhängt, also nicht überall dieselbe Höhe über den Schienen hat, oder wenn er, wie bei Viadukten, besonders niedrig gespannt ist. Der federnde Arm muß immer die Kontaktrolle an den Leiter anpressen. Häufig verwendet man auch statt der Kontaktrolle einen breiten *Gleitbügel*, welcher wegen seiner Breite nicht so leicht von dem Fahrdräht abspringen kann.

Da die Schienen immer die Rückleitung des Stromes zur Station übernehmen müssen, so muß man dafür sorgen, daß die einzelnen Stücke derselben in gutem Kontakt miteinander stehen. An den

Stößen werden daher zwei Schienen bei elektrischen Bahnen gewöhnlich durch angelötete Kupferbleche metallisch miteinander verbunden.

Die Spannung der Hin- und Rückleitung wird gewöhnlich zu 500 Volt gemacht und wird immer konstant erhalten.

Als Motoren werden für elektrische Trambahnen gewöhnlich Hauptstrom-

SIEBENTES KAPITEL

motoren gewählt, die ganz eingeschlossen (gekapselt) werden, um durch den Straßenschmutz nicht gebrauchsunfähig zu werden. Die Übertragung der Bewegung von der Achse des Motors auf die Wagenräder geschieht fast immer durch Zahnräder. Um dem Wagen verschiedene Geschwindigkeiten zu erteilen, wird an dem Stand des Führers ein Regulator angebracht, den man *Kontroller* nennt und der durch Drehung einer Kurbel Widerstände in den Stromkreis einzuschalten resp. aus ihm auszuschalten gestattet.

Die Umwandlung der großen Bahnen, also der Bahnen für *Fernverkehr* aus dem Dampfbetrieb in den elektrischen Betrieb wird jetzt überall mit großem Eifer und großen Kosten durchgeführt. In Deutschland ist diese Umwandlung besonders wichtig. Denn während die Dampflokomotive nur hochwertige Brennstoffe mit verhältnismäßig geringer Ausnutzung verfeuert, können in den elektrischen Kraftstationen Brennstoffe aller Art in feststehenden Dampfmaschinen, also mit viel besserer Ausnutzung, verwendet werden. In Ländern mit großen Wasserkräften, wie in Bayern, erspart der elektrische Betrieb an sich nach dem Ausbau der Wasserkräfte erheblich an Kohlen. Der elektrische Betrieb der Bahnen spart ferner an Personal, sowohl auf der Lokomotive wie namentlich in den Stationen, und er erspart insbesondere das kostspielige und dauernde Herumfahren der Kohlen für den inneren Bahnverkehr selbst, da die Kraftstationen, wenn sie auf Kohlenverbrennung basiert sind, möglichst in der Nähe der Brennstofflager angelegt werden können. Aus diesen und manchen anderen Gründen wird daher die Umwandlung vieler Bahnen in elektrischen Betrieb vorgenommen.

Für große Entferungen eignet sich nun, wie wir wissen, nur der hochgespannte Wechselstrom und Drehstrom. Der Drehstrom hat aber für Bahnzwecke eine große Reihe von Nachteilen. Er braucht drei Leitungen, was in Bahnhöfen, bei Schienenkreuzungen und Weichen die Anlage unübersichtlich macht. Alle Wünsche, die der Fernverkehr auf großen Bahnen zu stellen hat, können bei dem heutigen Stand der Technik am besten durch den einphasigen Wechselstrom erfüllt werden, dieser ist die Stromart, die für große Bahnen hauptsächlich in Betracht kommt. Nun hat sich für den gewöhnlichen Wechselstrom, den sogenannten *Einphasenstrom*, als sehr brauchbarer Elektromotor eine Maschine ergeben, die im Prinzip so gebaut ist wie eine gewöhnliche Gleichstrommaschine mit Hauptstromschaltung. Eine solche wird auch durch Wechselströme als Motor angetrieben, weil mit der Umkehrung der Stromrichtung im Anker sich zugleich auch die Pole der Feldmagnete umkehren. Aber es tritt dabei eine äußerst starke Funkenbildung an den Bürsten auf und die großen Anstrengungen, die schließlich von Erfolg gekrönt waren, gingen dahin, dieses Feuern der Maschinen zu beseitigen. Jetzt sind diese Wechselstrommotoren, die man als *Kollektormotoren* bezeichnet, zu großer Vollkommenheit gebracht worden, und es werden nun bereits eine große Anzahl Bahnen in Deutschland, der Schweiz, Österreich, in Frankreich, England, Amerika usw. mit reinem Wechselstrom und solchen Einphasenmotoren betrieben. Während man bei den ersten derartigen Bahnen sich noch mit einer Spannung von 2500 Volt auf dem

DIE LEISTUNG VON ARBEIT DURCH ELEKTROMOTOREN

Fahrdrähte begnügte, wurden bald Strecken auf den preußischen Staatsbahnen schon mit 6000 Volt betrieben, und jetzt werden die meisten derartigen Bahnen mit Spannungen von ungefähr 15 000 Volt betrieben. Auf der schwedischen Kiruna-Riksgränzen-Bahn von 260 km Länge, die mit Einphasenmotoren befahren wird, ist sogar eine Spannung von 80 000 Volt auf den Leitungen. Wegen der großen Geschwindigkeiten, die bei Fernbahnen erzielt werden müssen, muß die Aufhängung der Fahrdrähte eine solche sein, daß diese überall nahezu genau gleichen Abstand von dem Wagen haben. Die Fahrdrähte werden daher von besonderen Kettenleitungen getragen, und die Abnehmer sind auf scherenartigen Gestängen angebracht, durch welche sie an die Fahrdrähte angedrückt werden. Die Kettenleitung wird in Abständen von 60 bis 100 m an Trägern oder Querdrähten befestigt, und zwar isoliert durch Porzellanisolatoren. Ebenso wird die Kette in gewissen Abständen auch seitlich isoliert befestigt, um große seitliche Schwankungen durch Wind usw. zu verhindern.

Natürlich werden die Wagenmotoren nicht mit diesen hohen Spannungen betrieben. Vielmehr wird in der elektrischen Lokomotive durch einen Transformator eine Umwandlung der zugeführten hohen Spannung in niedrige von einigen hundert Volt vorgenommen. Zu dem Zweck ist also in den elektrischen Lokomotiven für Fernbahnen immer ein Transformator, und zwar ein Öltransformator, vorhanden, wobei häufig noch eine besondere Kühlvorrichtung für das Öl mit eingebaut ist.

Fig. 135 gibt eine Darstellung der elektrischen Einrichtung einer schweren Schnellzuglokomotive, welche auf den bayrischen Strecken benutzt wird. Das ist eine als 2BB2 bezeichnete Lokomotive. (Die Ziffern bedeuten die Zahlen der Laufachsen, die Buchstaben A, B, C die Zahl der Triebachsen.) Man sieht oben die beiden Stromabnehmer AA, in der Mitte des Wagens den Transformator T, rechts und links die Motoren M mit ihren Zahnrädern, durch welche die Schubstangen SS bewegt werden, die an den großen Triebrädern angreifen. Bei V ist ein Ventilator, bei P ein Luftpressor, ersterer für die Kühlung des Transformators, letzterer für Bremsung und andere Zwecke aufgestellt und (nicht sichtbar) eine Ölpumpe. Vorn und hinten am Wagen sind die Fahrschalter FF angebracht, oben bei O der Ölschalter für den hochgespannten Strom. Außerdem befinden sich in der Lokomotive noch weitere Apparate, auf die es hier nicht ankommt. Bei manchen elektrischen Fernbahnlokomotiven sieht man außen an der Verkleidung eine große Anzahl Röhren hin und her gehen. Diese dienen zur Kühlung des Öls der Transformatoren.

Fig. 135

