



UNIVERSITÄTS-  
BIBLIOTHEK  
PADERBORN

## **Der Graetz für Alle**

**Graetz, Leo**

**Stuttgart, 1929**

Fünftes Kapitel. Die Fortleitung und Verteilung elektrischer Energie.

---

[urn:nbn:de:hbz:466:1-83225](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-83225)

## FÜNFTES KAPITEL

# DIE FORTLEITUNG UND VERTEILUNG ELEKTRISCHER ENERGIE

Im Jahre 1880 ungefähr begann die Einführung der elektrischen Ströme zum allgemeinen Gebrauch, und seit dieser Zeit hat die Benutzung der Elektrizität einen riesenhaften Aufschwung genommen. Heute ist in jeder Stadt, ja fast in jedem Dorf die Elektrizität ein unentbehrlicher Faktor für eine große Anzahl von Bedürfnissen des menschlichen Lebens. Die Anforderungen, die an die Technik gestellt wurden, wuchsen bei dieser Entwicklung naturgemäß auch riesenhaft an, und wir sind heute noch durchaus nicht am Ende dieser Entwicklung, sondern noch mitten in derselben.

Die erste Aufgabe, die gelöst werden mußte, als die elektrischen Ströme jedem einzelnen zur Benützung geliefert wurden, bestand natürlich darin, daß jeder Benutzer ganz unabhängig von seinem Nachbar sein wollte, daß jeder z. B. beliebig viele elektrische Lampen in seiner Wohnung brennen lassen oder abschalten durfte, ohne von anderen darin gestört zu werden oder andere damit zu stören.

Das einfache Mittel, durch welches Edison zuerst diese Aufgabe löste, bestand in folgendem: Es müssen überall, durch den ganzen Bezirk, durch die ganze Stadt zwei Leitungen gelegt werden, welche von der stromerzeugenden Dynamomaschine ausgehen. Diese beiden Leitungen müssen einen Spannungsunterschied besitzen, der durchaus konstant zu halten ist. Alle Verbrauchsapparate, also z. B. alle Glühlampen, alle Elektromotoren, alle elektrischen Heizapparate *müssen zwischen diese beiden Leitungen parallel geschaltet werden*. Dann sind alle voneinander unabhängig.

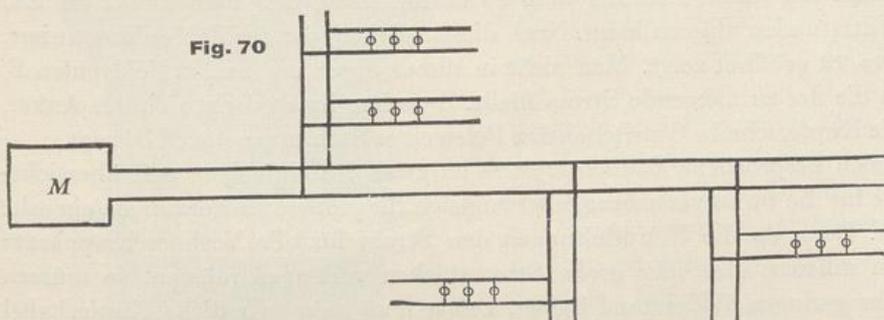
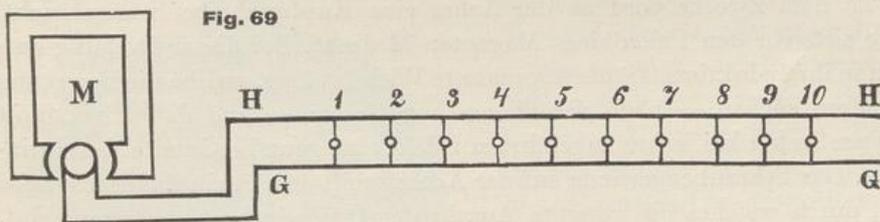
Diese *Parallelschaltung* aller Stromverbrauchsapparate hat sich ganz allgemein als äußerst einfach und zweckmäßig bewährt. In **Fig. 69** ist diese Schaltung gezeichnet. Darin bedeutet M die Dynamomaschine, welche den Strom erzeugt, und 1, 2, 3 bis 10 eine Reihe von Verbrauchsapparaten, z. B. Glühlampen oder Elektromotoren. Es gehen also von den Klemmen der Dynamo dabei zwei Leitungen H H und G G aus, die durch den ganzen Bezirk führen, in welchem die Ströme benutzt werden sollen, und zwischen diese Leitungen werden die einzelnen Verbrauchsapparate parallel geschaltet. Haben die Verbindungsdrähte (welche man beliebig stark nehmen kann) einen sehr kleinen Widerstand, so herrscht auf allen Stellen der Leiter H H und G G nahezu derselbe Spannungsunterschied wie an den Klemmen der Maschine, und der Maschinenwärter hat nur die Aufgabe, diese Spannung dauernd konstant zu halten, was er ja, wie oben S. 68 erwähnt, durch Regulierung des Magnetfeldes einfach erzielen kann.

## DIE FORTLEITUNG UND VERTEILUNG ELEKTRISCHER ENERGIE

Damit nun die Gebrauchsapparate, Glühlampen, Elektromotoren überall in gleicher Weise gebraucht werden können, war es notwendig, den Spannungsunterschied der beiden Hauptleitungen einheitlich festzusetzen. Edison hat dafür zuerst 110 Volt gewählt, und obwohl kein Kongreß, keine diplomatische Verabredung dafür eintrat, hat sich doch international diese Festsetzung fast überall eingebürgert. Die normale Spannung für alle Gebrauchsapparate bei Gleichstrom ist zunächst 110 Volt.

Von den Polen der Dynamomaschinen gehen nun zunächst Drähte (oder Kabel) zu einer *Schalttafel* im Maschinenhaus, welche alle notwendigen Apparate, Voltmeter, Amperemeter, Ausschalter, Sicherungen, Regulierwiderstände für den Nebenschluß und den Hauptstrom usw. enthält. Sind in der Zentralstation mehrere Maschinen vorhanden, so werden deren Pole alle durch je einen Ausschalter hindurch mit zwei Schienen auf der Schalttafel, den sogenannten *Sammelschienen*, verbunden, so daß dadurch die Maschinen alle parallel geschaltet sind. Von den Sammelschienen geht nun eine doppelte Hauptleitung durch die Stadt, welche unterirdisch gelegt ist und welche aus Kabeln von großem Querschnitt besteht, da sie die starken Hauptströme zu führen hat. In jede Straße gehen nun wieder Kabel von geringerem Querschnitt, und zwar von jedem Hauptkabel aus eines. Noch geringeren Querschnitt haben die Leitungen, die in die Nebenstraßen führen, und endlich noch kleineren diejenigen, die in die einzelnen Häuser führen. Das Schema dieser Leitungszuführung ist in **Fig. 70** angegeben. Man bezeichnet dieses System als das *Zweileitersystem*.

Wenn auf diese Weise die elektrische Energie mit Sicherheit verteilt wird und jeder Konsument infolge der Parallelschaltung mit konstanter Spannung un-



## FÜNFTES KAPITEL

abhängig von allen anderen ist, so ist nur noch *eine* Sache von höchster Bedeutung. Es muß nämlich jeder Konsument wissen, wieviel elektrische Energie er verbraucht hat, weil sich danach der zu zahlende Preis richtet. Es handelt sich also um die Anbringung von Elektrizitätsmessern, welche die verbrauchten *Wattstunden* (Produkt aus den Watt und der Zeit in Stunden, in welchen Strom an den Konsumenten geliefert wurde) messen. Man nennt sie auch *Wattstundenzähler*.

Die verbreitetsten Wattstundenzähler sind die sogenannten *Motorzähler*. Für Gleichstrom geht das Prinzip eines dieser Zähler aus **Fig. 71** hervor. Durch eine Drahtspule F wird der gesamte Strom der Wohnung, dessen Effekt gemessen werden soll, geleitet. Die magnetischen Kraftlinien dieser Spule haben die Richtung der Achse der Spule, und sie durchsetzen eine Aluminiumtrommel G, auf welche eine Anzahl von Drähten gelegt ist, die durch den Kollektor C wie bei dem Trommelanker verbunden sind. Die Achse AA ist mit möglichst wenig Reibung oben und unten gelagert. Auf dem Kollektor schleifen Federn, die ihm Strom zuführen, und zwar sind diese direkt an die beiden Hauptleitungen der Wohnung gelegt, deren Effektverbrauch gemessen werden soll. Es fließt also durch den Anker ein Strom, dessen Stärke, da der Widerstand des Ankers unveränderlich ist, direkt proportional ist der Spannung zwischen den beiden Hauptleitern. Nach der Linken-Hand-Regel dreht sich der Anker, und zwar ist die Kraft, mit der er gedreht wird, direkt proportional dem Produkt aus der Stärke des Feldes und der Stärke des Stromes im Anker, also direkt proportional dem Produkt aus der Stromstärke und der Spannung, also der Anzahl der Watt. Da auf den Anker fortdauernd eine Kraft wirkt, so würde er sich mit stets zunehmender Geschwindigkeit drehen, wenn man ihn nicht eine Arbeit leisten läßt. Zu dem Zwecke wird an der Achse eine Kupferscheibe S angebracht, welche sich vor den Polen eines Magneten M dreht. Bei dieser Drehung entstehen in ihr Induktionsströme, sogenannte Wirbelströme, welche die Bewegung zu hindern suchen — nach dem Lenzschen Gesetz — und daher bekommt der ganze Anker bei jedem zugeführten Effekt eine ganz bestimmte Geschwindigkeit. Das Schraubengewinde auf der Achse greift nun in ein Zahnradsystem Z ein, durch welches die gesamte Anzahl der Umdrehungen gemessen wird. Diese ist also proportional den zugeführten Wattstunden. Man braucht nun das Zählwerk durch Eichung bloß so einzurichten, daß man direkt an ihm die Wattstunden ablesen kann. Nach diesem Prinzip ist der Zähler konstruiert, den **Fig. 72** geöffnet zeigt. Man sieht in dieser Figur die beiden Feldspulen F, durch die der zu messende Strom fließt. Zwischen ihnen dreht sich der Anker, der die Kupferscheibe S zwischen den Polen eines Stahlmagneten M bewegt.

Das oben besprochene *Zweileitersystem* ist zwar das einfachste und übersichtlichste für die Stromverteilung, aber zugleich für größere Entfernungen ein sehr teures. Denn da die Hauptleitungen den Strom für alle Verbrauchsapparate führen müssen, also sehr große Stromstärken vertragen müssen, so müssen sie sehr geringen Widerstand haben. Daher muß man sehr dicke Kupferkabel

Fig. 71

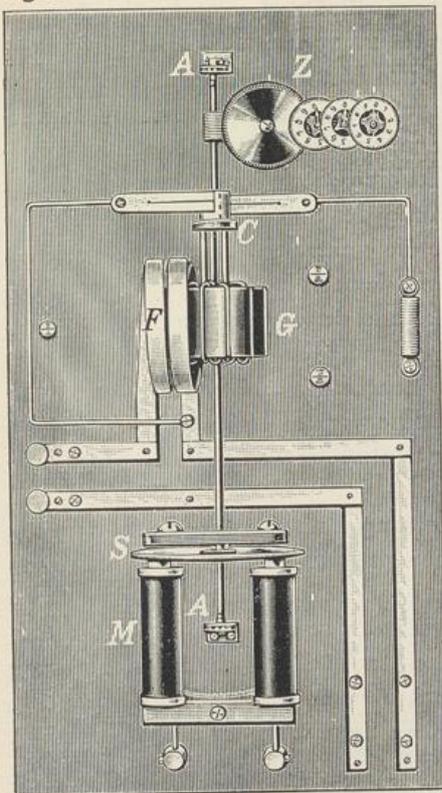
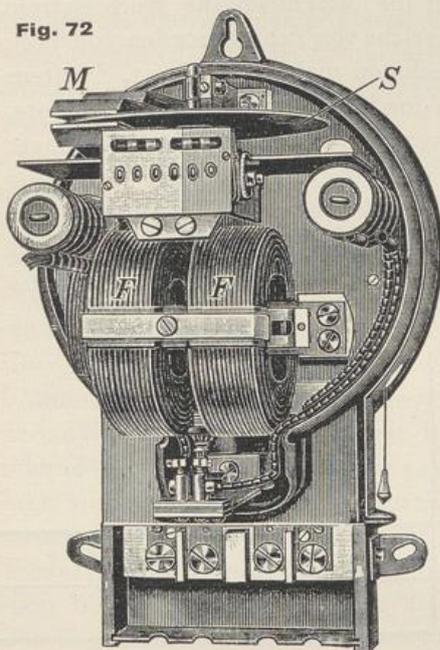


Fig. 72



GRAETZ FÜR ALLE 6

als Leitungen nehmen, und es hat sich gezeigt, daß man nicht mehr ökonomisch mit dieser Verteilung arbeiten kann, wenn die letzte Lampe mehr als 800 m von der Stromquelle entfernt ist. Das Zweileitersystem eignet sich also nur für Bezirke bis zu 800 m Radius.

Um größere Bezirke mit Strom versorgen zu können, gingen *Edison* und *Hopkinson* zu einer Kombination über, die sich als sehr vorteilhaft erwiesen hat und die man das *Dreileitersystem* nennt. Bei diesem werden in der Zentrale zwei Maschinen, die je 110 Volt Spannung an ihren Klemmen haben, hintereinander geschaltet, so daß an ihren äußeren Klemmen 220 Volt Spannungsunterschied herrschen. Von den beiden Endklemmen, aber auch von den miteinander verbundenen Mittelklemmen geht nun je eine Leitung durch die Stadt. Die mittlere Leitung nennt man die *Kompensationsleitung*. Zwischen die Mittelleitung und die eine resp. die andere der Hauptleitungen werden nun die Lampen, Motoren usw. parallel geschaltet, wie es **Fig. 73** zeigt, so daß diese an ihren Enden doch nur 110 Volt Spannung besitzen. Aber die beiden Hauptleitungen können jetzt, da sie die Verbrauchsenergie bei doppelter Spannung, also halber Stromstärke führen, geringeren Querschnitt haben.

Dieses Dreileitersystem ist aber auch nur praktisch, wenn der Bezirk, der mit Strom zu versehen ist, in einem Umkreis von höchstens 1200 m von der Zentrale liegt. Will man größere Städte, wie z. B. Berlin oder London, mit Strom versorgen, so muß man, wie es dort geschehen ist, eben mehrere Zentralen bilden.

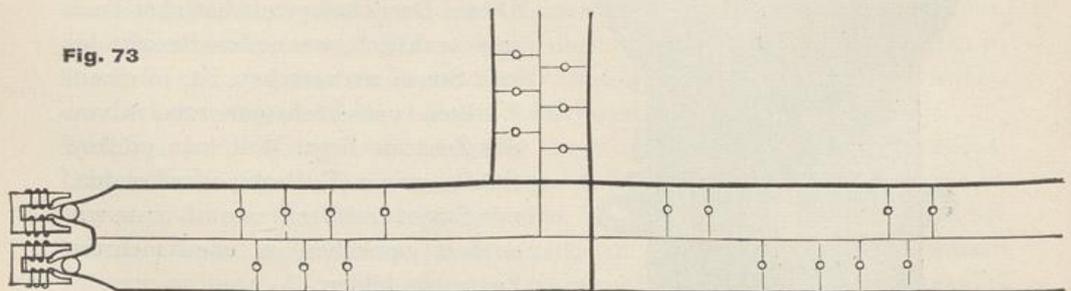
## FÜNFTES KAPITEL

Aber die Aufgaben der Elektrotechnik wuchsen allmählich weit darüber hinaus, nur einzelne getrennte Städte mit Elektrizität zu versorgen. Es kam vielmehr allmählich die Aufgabe, ganze Provinzen, ganze Länder einheitlich mit elektrischen Strömen zu versehen, also die Ströme auf sehr große Entfernungen fortzuleiten. Um das praktisch einführen zu können, muß man aber sehr hohe Spannung der Ströme anwenden. Denn der Effekt eines Stromes ist, wie wir wissen (S. 28), gleich dem Produkt aus der Spannung des Stromes und seiner Stromstärke. Ist aber die Entfernung, auf welche die elektrische Energie fortgeleitet werden soll, eine sehr große, so wird auch in demselben Verhältnis, wenn die Stromstärke dieselbe bleiben soll, der Widerstand der Leitungsdrähte wachsen, wenn man den Leitern nicht entsprechend größeren Querschnitt gibt. Aber eine Vergrößerung des Querschnitts bringt eine Erhöhung, und zwar im quadratischen Verhältnis, des Preises der Leitungen hervor. Die Kosten der Leitung werden dann bald so groß, daß jede Rentabilität einer solchen Anlage ausgeschlossen ist.

Man kann aber denselben Effekt auf den Leitungen übertragen, wenn man die Stromstärke geringer macht, dafür aber die Spannung des Stromes, d. h. die Spannung zwischen den zwei Hauptleitern, erhöht. Bei der geringen Stromstärke braucht man nur Leiter von geringem Querschnitt, so daß die Kosten der Leitung mäßige bleiben. Dieser Gedanke aber scheint zunächst doch nicht ausführbar zu sein, da man ja für die vielen Verbraucher doch starke Ströme braucht, mit den geringen Strömen also trotz der hohen Spannung das Bedürfnis nicht befriedigt werden kann.

Das ist nun der Punkt, an welchem sich die großen Vorteile der *Wechselströme* und *Drehströme* offenbaren. Erstens kann man die Maschinen für Wechselstrom und Drehstrom für sehr hohe Spannungen, solche von Zehntausenden von Volt, konstruieren, was bei den Gleichstrommaschinen nicht möglich ist. Zweitens aber, und das ist die Hauptsache, kann man durch besondere einfache Apparate, die *Transformatoren*, die Wechselströme von hoher Spannung und geringer Stromstärke umwandeln, transformieren in solche von geringer Spannung und großer Stromstärke und umgekehrt. Und zwar sind diese Transformatoren Apparate ohne bewegliche Teile, welche also gar keine Bedienung und Aufsicht benötigen. Nur für Wechselströme und Drehströme ist diese

Fig. 73



## DIE FORTLEITUNG UND VERTEILUNG ELEKTRISCHER ENERGIE

Möglichkeit vorhanden, dieselbe elektrische Energie nach Belieben mit überwiegender Stromstärke oder mit überwiegender Spannung fortzuleiten und anzuwenden.

Diese Transformation der Energie eines elektrischen Stromes ist nämlich für *Wechselströme* und *Drehströme* leicht lösbar durch Anwendung der von Faraday entdeckten Erscheinungen der Elektroinduktion und Magnetinduktion. Wenn man um einen Eisenkern eine Drahtrolle herumlegt, durch die man den zu transformierenden Wechselstrom hindurchschickt und die wir die primäre Drahtrolle nennen wollen, so erregt ja jeder Wechsel, jede Veränderung in der Intensität des primären Stromes wechselnde Magnetisierung in dem Eisenkern. Bringt man nun auf diesen Eisenkern noch eine zweite Drahtrolle, die sekundäre, ganz von der primären isoliert, so erzeugen diese wechselnden Magnetisierungen in dieser zweiten Rolle Induktionswirkungen, und wenn die sekundäre Rolle durch einen äußeren Leiter geschlossen ist, so fließen in diesem ebenfalls Wechselströme, wie in der primären Spule, und zwar von derselben Periode, aber Wechselströme, deren Spannung und Stromstärke wir nach Belieben ganz anders machen können wie die des primären eingeleiteten Wechselstroms.

Es wächst nämlich die Spannung der erzeugten Induktionsströme unter sonst gleichen Verhältnissen mit der Zahl der Windungen der sekundären Rolle. Daraus folgt, daß man es bei jedem gegebenen primären Wechselstrom in der Hand hat, einfach durch die Zahl der Windungen in der sekundären Rolle der Spannung des sekundären Stromes einen beliebigen Wert zu geben. Man kann es leicht erreichen, daß der sekundäre Strom höhere Spannung hat als der primäre. Dann muß man die Zahl der sekundären Windungen größer machen als die Zahl der primären Windungen. Man kann es auch umgekehrt leicht erreichen, daß der sekundäre Strom geringere Spannung hat als der primäre. Dann muß man der sekundären Rolle wenig, der primären Rolle viel Windungen geben.

Also auf diese Weise ist eine Transformation von Wechselströmen immer möglich.

Eine Hauptforderung aber, die man an jeden praktisch zu benutzenden *Transformator* stellen muß, ist die, daß er die Umwandlung der elektrischen Energie ohne große Verluste bewirkt. Mit anderen Worten: die von den Klemmen der sekundären Wicklung in den äußeren Stromkreis abzugebende elektrische Energie soll nicht viel kleiner sein als die in die primäre Wicklung von deren Klemmen aus hineingeleitete Energie. Dies läßt sich mit großer Annäherung dadurch erreichen, daß man die beiden Wicklungen, die primäre und die sekundäre, auf einen *ringförmig geschlossenen Eisenkern* bringt. Dieser Eisenkern wird dann durch die Wechselströme, die die primäre Wicklung durchströmen, abwechselnd magnetisiert, von Null an bis zu einem Maximum und wieder zu Null. Diese Änderung des Magnetismus verläuft aber dabei auch ganz innerhalb der sekundären Wicklung, und dadurch wird die Änderung der Magnetisierung des Eisens vollständig zur Erzeugung der Induktionsströme

## FÜNFTES KAPITEL

ausgenutzt. Der Aufbau eines solchen Transformators ist aus **Fig. 74** zu ersehen. Man sieht einen geschlossenen Eisenkern, auf den zuerst die primäre, dickdrähtige Wickelung P P aufgebracht ist, die in die beiden isolierten Klemmen a A ausgeht, und über diese ist die dünndrähtige Wickelung S S, aus sehr vielen Windungen bestehend, geschoben, die in die isolierten Klemmen B b ausgeht. Man bezeichnet die dickdrähtige Wickelung als *Niederspannungswickelung*, die andere aus dünnem Draht als *Hochspannungswickelung*. Die beiden Wickelungen brauchen nicht, wie hier, übereinander zu liegen, sondern es können auch nebeneinander, je eine Spule mit dickem Draht und eine Spule mit vielen Windungen dünnen Drahtes auf den Eisenkern aufgeschoben sein. In jedem Fall wird der ganze Kraftlinienfluß, der durch die primäre Stromänderung erzeugt ist, ganz ausgenützt, um die sekundäre Spule zu induzieren. Ganz gleich lassen sich die Energien des primären und sekundären Kreises allerdings nicht machen, ein Verlust an Energie muß notwendig eintreten, zunächst infolge der Erwärmung der beiden Wickelungen und des Eisenkerns durch den Strom resp. die Wirbelströme, ferner aber durch die *Hysteresis* des Eisens, von der wir schon S. 35 gesprochen haben.

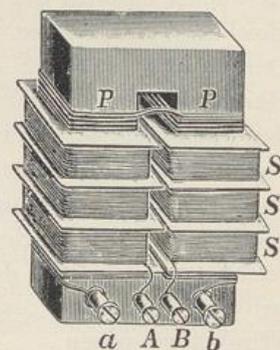
Durch diese Verluste wird also der an den Klemmen der sekundären Wickelung zur Verfügung stehende Effekt notwendig kleiner sein als der in die primäre Wickelung eingeleitete Effekt. Man bezeichnet das Verhältnis dieser Effekte als den *Wirkungsgrad des Transformators* und drückt ihn in Prozenten aus.

Bei den praktisch ausgeführten Transformationen sind nun diese Verluste so gering gemacht, daß der Wirkungsgrad bis zu 96 Proz. steigt, wenn die sekundäre Spule ihren Maximalstrom abgibt oder, wie man sagt, *voll belastet* ist, so daß man bei der Transformation der elektrischen Energie nur 4 Proz. derselben verliert.

Die Ansicht eines solchen Transformators (der *Siemens-Schuckertwerke*) für Wechselstrom gibt **Fig. 75**. Zwei vertikale Eisenschenkel, die oben und unten durch Eisen geschlossen sind, bilden den *geschlossenen Eisenkern*. Das Eisen wird nicht massiv angewendet, sondern besteht aus einzelnen aneinander gelegten Platten oder Drähten, es ist, wie man sagt, *zerteilt*. Dieser Eisenkern wird mit den Spulen umgeben, auf welche die primären und sekundären Wickelungen getrennt aufgewickelt sind.

Mit diesen Transformatoren hat man nun ein ausgezeichnetes Mittel, um die elektrische Energie

**Fig. 74**



**Fig. 75**

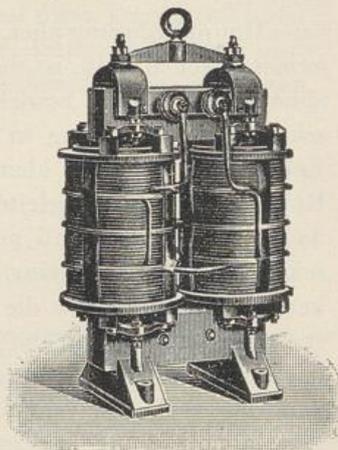
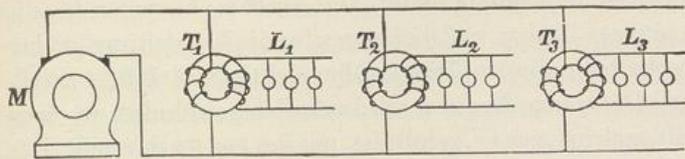


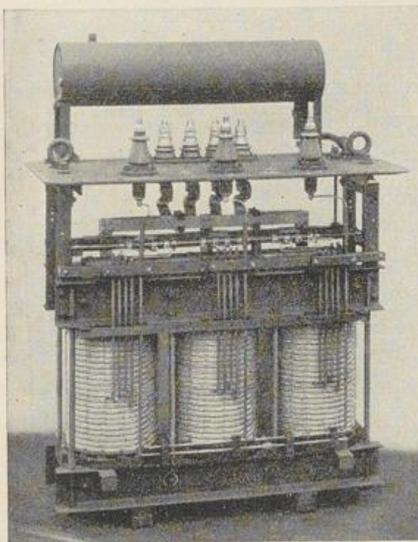
Fig. 76



auf große Bezirke zu verteilen. Man erzeugt Wechselströme von hoher Spannung in einer Maschine und führt diese Wechselströme von hoher Spannung und geringer Stromstärke auf verhältnismäßig dünnen Drähten durch den ganzen Bezirk, in welchem eine Verteilung des Stromes stattfinden soll, also z. B. durch eine ganze Provinz. In jedem Ort, also z. B. in jedem Dorf oder jeder kleinen Stadt, stellt man dann einen Transformator auf, der den hochgespannten Strom in solchen von niederer Spannung, also meistens 110 oder 220 Volt heruntertransformiert. Diese verschiedenen Transformatoren schaltet man nun alle *parallel* in die Hochspannungsleitung ein und nimmt von der sekundären Wickelung eines jeden den niedriggespannten Strom ab. So zeigt **Fig. 76** eine Wechselstromdynamo *M*, welche hochgespannten Strom in die beiden Hauptleitungen sendet. Zwischen diese Leitungen sind die Transformatoren  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ , d. h. ihre Hochspannungswickelungen, parallel geschaltet, und von den Niederspannungswickelungen derselben gehen die einzelnen Leitungsnetze  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  aus, welche ganz unabhängig voneinander sind und in die man Motoren oder Lampen in gewöhnlicher Weise parallel einschaltet. *Dadurch wird für jeden einzelnen Ort der Transformator die Elektrizitätsquelle.*

Ein besonderer Fall der Wechselstromtransformatoren sind die *Drehstromtransformatoren*. Unter Drehstrom versteht man ja ein System dreier Wechselströme, welche gegeneinander Phasen-

Fig. 77



unterschiede haben. Man kann daher die drei Wechselströme transformieren, indem man jeden durch einen besonderen Transformator gehen läßt. Die transformierten Ströme haben dann denselben Phasenunterschied wie die eingeleiteten primären Ströme. Man kann jedoch auch die drei Transformatoren in einem Apparat vereinigen, wie bei dem in **Fig. 77** abgebildeten Drehstromtransformator der SSW. In diesem sind drei Kerne aus zerteiltem Eisen je mit den beiden Windungssystemen, dem primären und dem sekundären, umwickelt. Unten und oben sind die Eisenkerne durch Eisen miteinander verbunden, so daß jeder Kern durch die beiden anderen

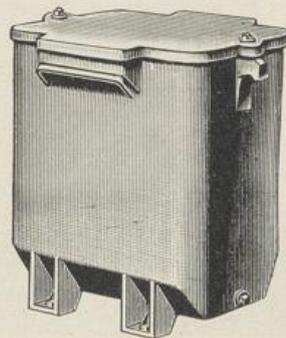
## FÜNFTES KAPITEL

geschlossen ist, also geschlossene Magnete bildet. Die Anschlußklemmen für die Hochspannungsleitung (dünner Draht), und diejenigen für die Nutzleitung (dicker Draht) befinden sich oberhalb der Spulen. Das darüber sichtbare Gefäß ist ein Ölbehälter (Ölkonservator). Der ganze Apparat wird nämlich gewöhnlich in einen Kasten aus Eisen gestellt, welcher mit Öl gefüllt ist, wie ihn **Fig. 78** darstellt. Das Öl wird angewendet, weil es die Hochspannung gut isoliert, die Funkenentladung von den Hochspannungsdrähten verhindert und weil es auch die Wärme, die sich in den Drähten bildet, aufnimmt und dadurch bewirkt, daß sich der ganze Transformator bei seinem Betrieb nicht zu hoch erhitzt. Man bezeichnet solche in Öl gebettete Transformatoren auch als *Öltransformatoren*.

Die Transformatoren haben praktisch nicht nur die eine Aufgabe, den hochgespannten Strom von der Zentrale in niedriggespannten Nutzstrom zu verwandeln, sondern häufig auch die Aufgabe, die Spannung des Zentralstromes zu erhöhen. Man kann z. B. die Ströme, die von einer Wechselstrom- oder Drehstrommaschine kommen, welche 10 000 Volt Spannung liefert, durch einen Transformator leicht auf 50 000 oder 100 000 Volt transformieren und dann so weiterleiten. Die Transformatoren dienen also sowohl zum *Herauftransformieren* der Spannung wie zum *Heruntertransformieren* derselben. Für diese Aufgabe in großen Anlagen erhalten natürlich die Transformatoren auch enorme Dimensionen, sie haben häufig die Höhe von zwei bis vier Männern übereinander. Da in ihnen durch den Betrieb fortwährend Wärme entwickelt wird, so muß für eine dauernde Kühlung derselben Sorge getragen werden. Bei den großen Transformatoren wird das Öl der Füllung durch eingesetzte Wasserrohre, in denen dauernd kaltes Wasser fließt, noch besonders gekühlt. Und bei den ganz großen Transformatoren muß man sogar Einrichtungen treffen, daß das Öl aus dem Transformatorkasten durch eine Pumpe dauernd in Rohrleitungen nach außen gebracht, durch Luftkühler abgekühlt und durch Zirkulation wieder in den Kasten gebracht wird.

Durch die Anwendung hoher Spannungen, die nur auf den Leitungsdrähten herrschen, ist nun die Versorgung großer Gebiete mit Elektrizität, die allen Städten, Städtchen, Dörfern dieses Gebietes zugeführt wird, von einer Zentrale aus oder von mehreren Zentralen aus möglich geworden. Und dabei hat man naturgemäß hauptsächlich die großen *Wasserkräfte*, welche ja — bis auf die Kosten des Ausbaues — die Energie umsonst liefern, zum Betrieb der großen Dynamos herangezogen. Mit den Spannungen ist man immer mehr in die Höhe gegangen. Lange Zeit waren 60 000 Volt das Maximum, welches man anwendete; aber nachdem in Amerika zuerst schon Spannungen von 100 000 Volt vielfach eingeführt waren, wurde in Deutschland (und überhaupt in Europa) 1912 die erste Anlage mit 100 000 Volt in Lauchhammer eingerichtet. Seit

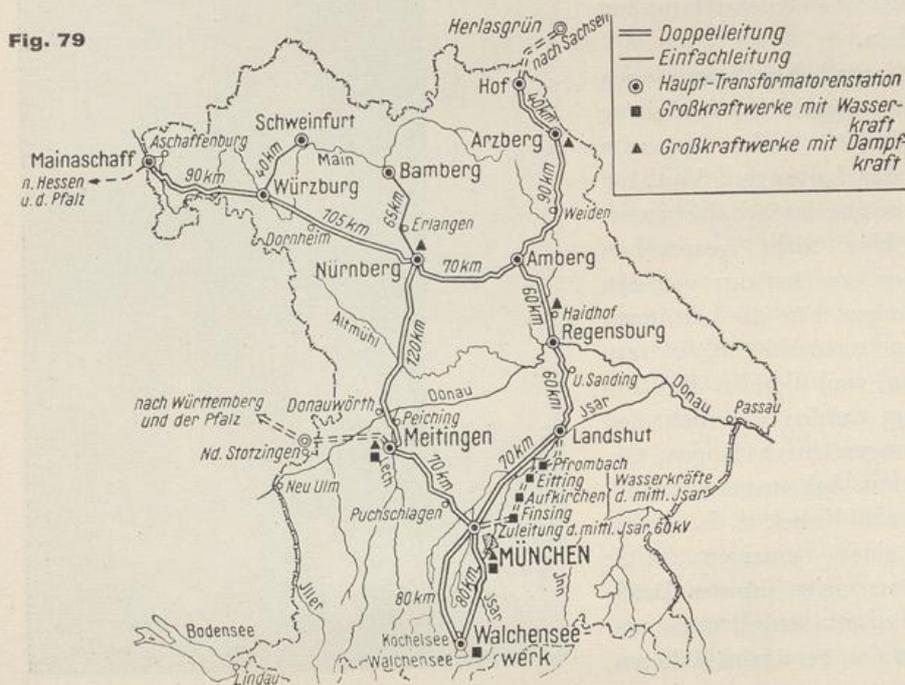
**Fig. 78**



## DIE FORTLEITUNG UND VERTEILUNG ELEKTRISCHER ENERGIE

dieser Zeit sind in Deutschland 100 000 Volt Spannung schon vielfach für die Elektrizitätsversorgung großer Gebiete angewendet worden. In Amerika sind schon einige Anlagen mit 200 000 Volt im Betrieb, ebenso auch in Schweden, und in Deutschland ist von dem Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerk (RWE.) sogar eine Anlage mit 380 000 Volt geplant und in der Ausführung begriffen.

Eine der größten Anlagen dieser Art ist in *Bayern* ausgeführt worden. Dort ist eine das ganze Land umfassende Leitung gelegt worden, welche von dem Walchenseewerk und anderen Werken gespeist wird und welche einheitlich das ganze große Gebiet mit Strom versieht. **Fig. 79** gibt eine Übersicht über die ganze Anlage. In dem Walchenseewerk wird einerseits Drehstrom, andererseits Einphasenstrom durch Wasserkraft erzeugt. Der letztere dient zum Betrieb der elektrischen Bahnen und wird in deren Netz geleitet. Der Drehstrom, der auf 100 000 Volt hinauftransformiert wird, geht in das Netz des Bayernwerkes. Auf dasselbe Netz arbeiten noch die Wasserkraftwerke der mittleren Isar und die Kraftwerke am Lech, und außerdem die Dampfkraftwerke in München, Nürnberg, Haidhof, Arzberg. Durch Transformatoren werden deren Ströme auch auf die Spannung von 100 000 Volt transformiert. Dadurch wird bewirkt, daß das ganze Land leichten Anschluß an die Elektrizitätswerke gewinnt und daß nicht nur der normale Bedarf, sondern auch Spitzenleistungen von den Werken gedeckt werden können. Durch Anschlüsse an die Haupttransformatorstationen in Hof, Aschaffenburg, Meitingen kann weiter noch



## FÜNFTES KAPITEL

Energie an die Nachbarländer abgegeben werden. Diese neueste Entwicklung der elektrischen Verteilung wird naturgemäß um so vorteilhafter, je größer das ganze versorgte Gebiet ist, und man hofft, daß ganz Deutschland in absehbarer Zeit auf solche Weise ein einziges zentralgeleitetes Stromversorgungsgebiet wird.

Die Energiemengen, welche durch die Wasserkräfte des Walchenseewerks zusammen mit den Wasserkräften der mittleren Isar dem Lande zur Verfügung gestellt werden, sind sehr erhebliche. Man drückt diese Energiemengen in Kilowattstunden (kWh) aus. Das Walchenseewerk und die mittlere Isar liefern nun im ersten Ausbau pro Jahr 226 Millionen Kilowattstunden Drehstrom für die Industrie und 90 Millionen Kilowattstunden Einphasenstrom für die Bahnen. Im zweiten Ausbau werden sich diese Zahlen auf 381 und 250 Millionen Kilowattstunden erhöhen.

Bei diesen hohen Spannungen ist eine wesentliche Forderung die *Isolation* aller Apparate und der Leitungen. Von den Apparaten, den Schaltern usw. soll hier nicht gesprochen werden, sondern nur von den Leitungen. Für die Leitungen wären natürlich *Kabel* am besten, weil diese in die Erde verlegt werden und nicht den Störungen durch Regen, Gewitter u. dgl. ausgesetzt sind. Einfache Kabel, d. h. Kabel mit einem einzigen Leiter (der aus vielen dünnen Drähten zusammengedreht ist), lassen sich genügend isolieren,

Fig. 80

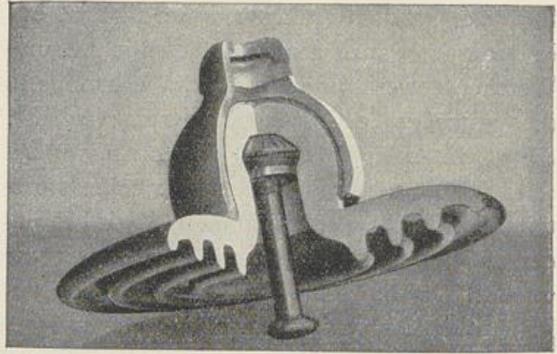
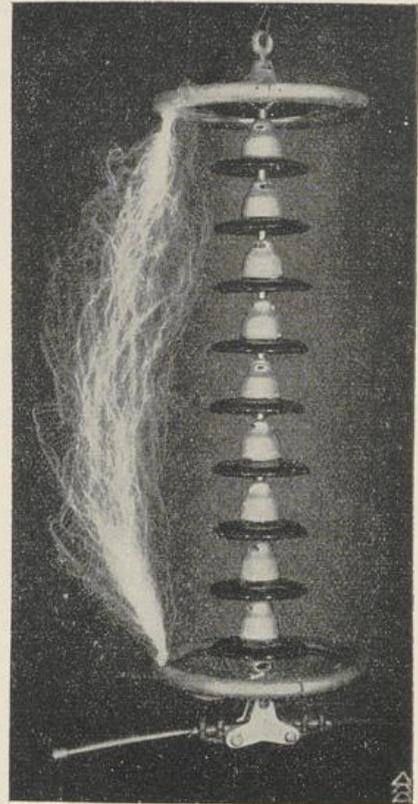


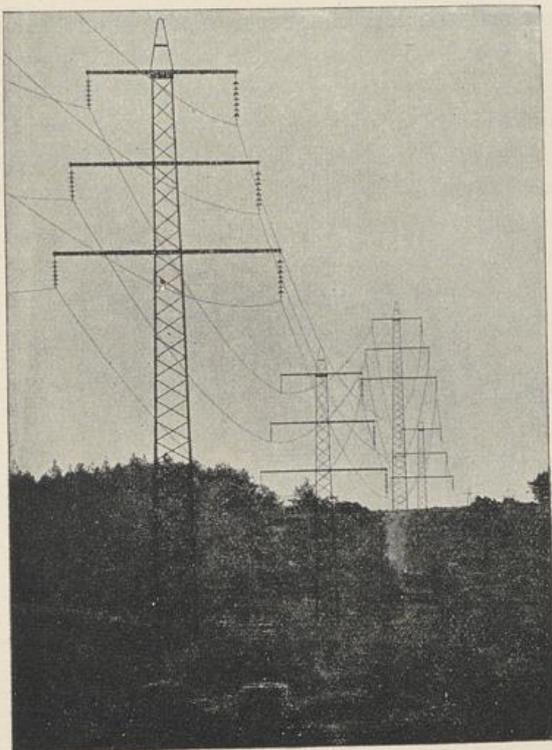
Fig. 81



## DIE WÄRME- UND LICHTWIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

so daß sie bis zu 120 000 Volt konstruiert wurden. Aber Kabel, welche die drei Leitungen eines Drehstromes zusammen enthalten, sind bisher nur für Spannungen bis zirka 60 000 Volt hergestellt worden, und zwar als sogenannte H-Kabel, bei denen um die Isolation jedes der drei Leiter für sich metallisiertes Papier dicht angelegt ist, so daß jeder der drei Leiter für sich inklusive seiner Isolation abgeschlossen ist und keine gegenseitige Einwirkung der drei Leiter stattfindet. In neuerer Zeit werden diese Kabel auch nicht mehr rund ausgeführt, sondern dreieckig mit abgerundeten Ecken, wodurch an Isoliermaterial gespart wird. Solche Kabel für hohe Spannungen werden häufig zwischen die Zentralstation und die Unterstationen verlegt. Die großen Leitungen aber, die ganze Länder durchziehen, werden als *Freileitungen* ausgeführt, welche von Masten getragen werden. Dabei spielt die Isolation der Leitungsdrähte von den Masten, die bald aus Holz, bald aus Metall bestehen, eine wesentliche Rolle. Für Spannungen bis zu 10 000 Volt genügen die bekannten auf Stützen aufliegenden sogenannten *Stützisolatoren* aus Porzellan. Für die hohen Spannungen aber haben sich *Hängeisolatoren* bewährt, welche aus einer, je nach der Höhe der Spannung, mehr oder minder großen Anzahl von Gliedern aus Porzellan zusammengesetzt sind. Die einzelnen Glieder sind jetzt sogenannte *Kappenisolatoren*, aus einer äußeren Kappe und einem inneren Klöppel,

Fig. 82



wie **Fig. 80** zeigt, bestehend. Die großen Porzellanfabriken prüfen diese Isolatoren mit weit größerer Spannung, als sie in Wirklichkeit angewendet wird, damit sie für alle Eventualitäten genügend sicher sind. So zeigt **Fig. 81** den Überschlag einer Spannung von 1 Million Volt bei einem 9gliedrigen Hängeisolator (von 2,5 m Länge). Der Versuch beweist, daß die Isolatorenkette bei dieser Spannung nicht durchgeschlagen wurde, sondern daß die Entladung durch die Luft ging. Die Isolatoren müssen bei nebligem Wetter und im Regen ihre Isolationsfähigkeit bewahren, und sie müssen auch große mechanische Belastungsfähigkeit besitzen. Sie werden an hohen Masten aufgehängt, wie es **Fig. 82** zeigt. Auch die

## FÜNFTES KAPITEL

Abspannisolatoren und die Durchführungsisolatoren müssen natürlich bei den hohen Spannungen meterlang sein.

Bei den ganz hohen Spannungen von 100 000 Volt und darüber entstand eine neue Schwierigkeit. Bei solch hohen Spannungen strömt aus den Leitungsdrähten die Elektrizität in die Luft aus, es bildet sich eine leuchtende *Korona* um die Leitungsdrähte. Man kann das Ausströmen beseitigen, wenn man den Durchmesser der Leitungsdrähte größer macht. Es hat sich gezeigt, daß bei 100 000 Volt Spannung der Durchmesser der Leitungsdrähte nicht unter 12 mm betragen darf, wenn die *Koronaverluste* beseitigt werden sollen, bei 200 000 Volt muß er schon 25 mm betragen. Solche dicke Seile aber besitzen ein enormes Gewicht zwischen zwei Hängeisolatoren, üben also einen ganz gewaltigen Zug aus. Um das Gewicht zu verringern, nimmt man deswegen für diese Leitungen nicht Kupfer, sondern trotz der geringeren Leitungsfähigkeit Aluminium, wobei das Aluminiumseil eine Seele aus Stahl drähten erhält, um die Festigkeit zu vergrößern. Für die höheren Spannungen von 100 Kilovolt an beginnt man zu *Hohlseilen* überzugehen. Da der äußere Durchmesser des Seiles, wie erwähnt, sehr groß gemacht werden muß, während die Stromstärke nicht den entsprechend großen Querschnitt des Seiles erfordert, so kann man durch ein hohles Seil das Gewicht und den wirksamen Querschnitt vermindern und doch die Oberfläche groß machen. Bei der oben (S. 87) angeführten Anlage des RWE. ist zum erstenmal ein solches Hohlseil von 42 mm Außendurchmesser auf 200 km Länge von den großen Elektrizitätsfirmen gespannt worden.