

**Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

**Die elektrischen Gleichstromleitungen mit Rücksicht auf  
ihre Elastizität**

**Teichmüller, Joachim**

**Stuttgart, 1898**

VII. Gegenschaltung und Mehrleitersysteme in der Praxis

[urn:nbn:de:bsz:31-289940](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-289940)

## VII. Gegenschaltung und Mehrleitersysteme in der Praxis.

**142. Wahl des Systemes.** Die Betrachtungen der letzten Paragraphen mussten auf praktische Verhältnisse schon viel mehr Rücksicht nehmen als es in den früheren Abschnitten der Fall gewesen war, weil — wie aus § 134 hervorgeht — die Mehrleitersysteme ihre Berechtigung nur auf die praktische Wahrscheinlichkeit stützen, dass die einzelnen Hälften und Viertel der Systeme zu allen Zeiten annähernd gleich belastet sind. Es bleibt deshalb jetzt auch nur noch sehr wenig zu erwähnen.

Die erste Frage, vor die uns ein Projekt stellt, ist die nach der Wahl des Systemes. Die Antwort muss durch wirtschaftliche Erwägungen bestimmt sein; in den meisten Fällen wird es aber genügen, einfacher die Kosten der Netze bei Anwendung der verschiedenen Systeme, bezogen auf ein nutzbar abgegebenes Watt, durch Proberechnungen mit einander zu vergleichen.

Was zunächst die Gegenschaltung betrifft, die offenbar nur bei Zweileiternetzen erfolgreich angewendet werden kann, so hat die Praxis bisher keine grosse Neigung dafür gezeigt. Die Notwendigkeit, im positiven und negativen Netze gesonderte Speisepunkte an verschiedenen Stellen anzulegen, bringt mancherlei Nachteile mit sich: Die Uebersichtlichkeit der Anlage wird verringert, die Kosten werden, besonders bei unterirdischen Netzen, erhöht, vor allen Dingen aber ist es schwer, die Speisepunkte in Netzen von nicht ganz einfacher Gestalt dem Prinzip der Gegenschaltung entsprechend zu verteilen; ein Versuch wird die Schwierigkeiten sofort erkennen lassen. Die Gegenschaltung wird deshalb nur in sehr kleinen Netzen von einfachster Form, also etwa bei Anlagen von dem Umfange eines Häuserblocks oder einer Fabrik verwendet; auch in Fest- und Fabriksälen kann eine Ringleitung mit versetzten Zuführungspunkten sehr am Platze sein. Für grosse Anlagen aber kommt die Gegenschaltung nicht mehr in Frage, es sind dann Mehrleitersysteme heranzuziehen.

Die Praxis hat ergeben, dass das Dreileitersystem anwendbar ist, wenn das Versorgungsgebiet innerhalb eines um die Zentrale geschlagenen Kreises von etwa 600 bis 1000 m Radius liegt. Ist der Radius kleiner als 600 m, so ist das einfache Zweileitersystem anwendbar, bei einem Radius von über 1000 oder 1200 m wird das Fünfleitersystem in Betracht zu ziehen sein, das bis zu einer äussersten Grenze von etwa 1800 m zu gehen gestattet.

Bei städtischen Zentralen herrscht das Dreileitersystem bei weitem vor. Die Vorliebe für dieses System wird unterstützt durch die Besorgnis, es möchte die Erweiterungsfähigkeit der Anlage bei Annahme des Zweileitersystemes zu sehr beschränkt sein. Und diese Besorgnis ist in vielen Fällen um so mehr berechtigt, als in kleinen Ortschaften, in denen das Zweileitersystem in Frage kommt, das Versorgungsgebiet sehr häufig sich wesentlich in einer Richtung zu erstrecken und zu erweitern pflegt. Das Fünfleitersystem ist verhältnismässig sehr selten ausgeführt, und es scheint, als ob seine Verbreitung nicht weiter zunehmen würde. In § 138 ist angedeutet worden, dass es schwer ist, mit dem Fünfleitersystem dieselbe Elastizität der Anlage zu erreichen, wie mit dem Dreileitersystem, weil die Ströme im Vergleich zu der (gleich gebliebenen) Schalteinheit erheblich vermindert sind. In der Praxis hat sich dieser Mangel an Elastizität in einigen Fällen sehr störend bemerkbar gemacht.

**143. Verteilung der Belastung auf die einzelnen Teile der Mehrleitersysteme.** In der Praxis haben sich mit der Zeit Regeln über die Verteilung der Belastung herausgebildet, die in den von den einzelnen Elektrizitätswerken erlassenen Vorschriften ihren Ausdruck finden\*). Nach diesen wird der Anschluss einer Hausinstallation an die eine Hälfte des Dreileitersystemes im allgemeinen noch gestattet, wenn der Installationswert der Anlage nicht mehr als 15 Hektowatt beträgt, doch ist auch bei kleineren Anlagen eine Teilung auf beide Hälften erwünscht, besonders wenn hoher Wert auf Betriebssicherheit gelegt wird. Als Installationswert wird hierin der Effekt bezeichnet, der sich ergibt, wenn für jede Glühlampe und jeden für eine Glühlampe bestimmten Steckkontakt ein Stromverbrauch von 0,8 Amp bei 110 V Klemmenspannung angenommen wird, solange der wahre Stromverbrauch diesen Wert nicht überschreitet; im letzteren Falle wird der wahre Wert eingesetzt. Ebenso werden alle Bogenlampen bis 8 Amp zu 8 Amp angenommen.

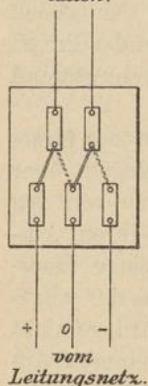
Überschreitet der Installationswert den Betrag von 15 *H W*, so ist die Anlage nach dem Dreileitersysteme auszuführen, doch kann die Verteilung auf die beiden Hälften unmittelbar hinter dem Elektrizitätszähler vorgenommen werden, wenn der Installationswert eines Zweiges 15 *H W* nicht übersteigt. Andernfalls ist das Dreileitersystem im Hause durchzuführen, bis die Belastungen der

\*) Die folgenden Angaben sind der Hauptsache nach den Vorschriften des Aachener Elektrizitätswerkes entnommen, die in dieser Beziehung mit denen vieler anderer Werke im wesentlichen übereinstimmen.

Abzweigungen unterhalb der gegebenen Grenze von 15 *HW* bleiben. Man berücksichtigt übrigens bei der Verteilung der Belastung auf beide Hälften des Systems nach Möglichkeit den Charakter der einzelnen Räume gemäss § 134.

Alle Stromempfänger, deren Natur die Beschränkung der Klemmenspannung auf 110 Volt nicht unbedingt verlangt, also fast alle Stromempfänger ausser den Glüh- und Bogenlampen, insbesondere Elektromotoren, sind an die Aussenleitungen anzuschliessen, wenn ihr Effektverbrauch nicht kleiner als 10 *HW* ist.

Fig. 119.  
zur Hausinstallation.



zum Leitungsnetz.

In Fünfleiternetzen pflegt man die Gesamtbelastung so zu teilen, dass etwa nur 10 *HW* selbständig an ein Viertel des Systemes angeschlossen werden. Bis 20 *HW* werden auf zwei, bis 30 *HW* auf drei Viertel gelegt, während zu noch grösseren Anlagen alle fünf Leitungen geführt werden.

Um die Verteilung auch nach Herstellung und Inbetriebsetzung der Anlage noch ausgleichen zu können, führt man vom Leitungsnetz aus alle Leitungen, oder beim Fünfleitersystem wenigstens drei, bis zur Hauptsicherung der angeschlossenen Hausinstallation, auch wenn diese selbst nach dem Zweileitersystem ausgeführt ist. Man hat dann die Möglichkeit die Hausleitungen durch einfache Umlegung der Sicherungen an die eine oder andere

Hälfte des Leitungssystemes anzuschliessen, wie es in Fig. 119 skizziert ist.

**144. Berechnung der Leitungen bei Mehrleitersystemen.** Der Berechnung von Netzen ist die Festlegung der Speisepunkte vorzuschicken. Aus den Ergebnissen des § 111 ist zu erkennen, dass die Entfernungen der Speisepunkte bei Spannungserhöhung, also bei den Mehrleitersystemen, nicht sehr erheblich wachsen können. Während bei Zweileiternetzen 150 bis 250 m üblich waren, wachsen die Entfernungen beim Dreileiternetz auf 200 bis 350 m, beim Fünfleiternetz auf etwa 350 bis 450 m. Bei Anwendung von Sammelleitungen werden diese Zahlen kleiner; sie gehen bei Dreileiternetzen auf etwa 150 m herunter. An den Grenzen der Verteilungsgebiete können die Abstände der Speisepunkte wesentlich grösser angenommen werden.

Nach dieser Festsetzung ist die Berechnung der Leitungen unter Annahme vollständig gleichmässiger Verteilung der Belastung auf die Hälften oder Viertel der Systeme vorzunehmen, und es

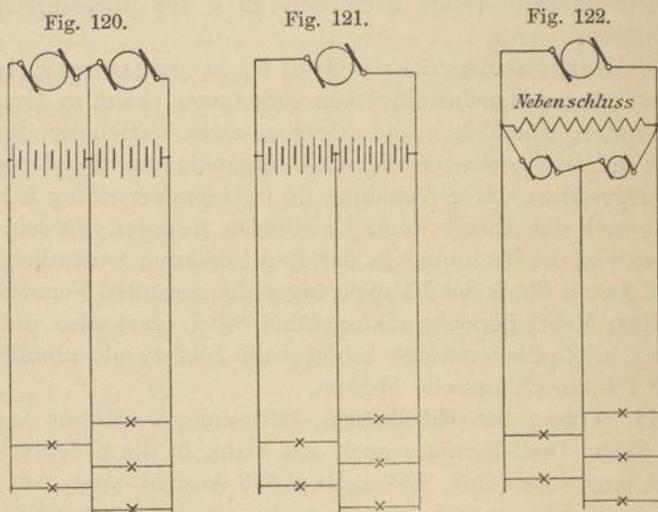
gilt nunmehr alles, was über die Berechnung der Verteilungs-, Ausgleich-, Speise- und anderen Leitungen bei der Behandlung des Zweileitersystems gesagt ist. Die Wahl der Querschnitte für die Zwischenleitungen erfolgt nach den in § 135 ausgesprochenen Grundsätzen.

Die Berechnung von offenen Leitungsverzweigungen, wie sie bei Hausinstallationen vorkommen, kann in derselben Weise unter Annahme völlig gleichmässiger Verteilung der Belastung auf die einzelnen Systemteile vorgenommen und der wahre Spannungsverlust unter Annahme der wahren Verteilung hernach geprüft und die Anlage unter Umständen geändert werden. Erleichtert wird die Rechnung in der Regel dadurch wesentlich, dass nur ein kurzes Stück des Hauptstranges der gesamten Verzweigung nach dem Mehrleitersystem ausgeführt wird, dass also die Verästelung in Zweileiterzweige schon bald hinter, oft unmittelbar an der Hausanschlussstelle beginnt.

**145. Erdung der Mittelleitung.** Seit einigen Jahren werden unterirdische Dreileiternetze auch mit blank in die Erde verlegter Mittelleitung ausgeführt. Die anfängliche Ansicht, dass man hierdurch an Kupfer sparen könne, weil man die Leitungsfähigkeit der Erde mit zur Stromleitung heranzöge, hat sich nur in sehr bescheidenem Masse bestätigt. Die Leitungsfähigkeit der Erde ist gegenüber der des Kupfers so gering, dass sie fast gar nicht in Betracht kommt. Natürlich werden die Kosten der Anlage trotzdem nicht unbeträchtlich vermindert, was man sich in einigen neueren Anlagen zu Nutze gemacht hat. In der letzten Zeit hat sich aber herausgestellt, dass die Spannungen in elastischen Leitungsnetzen mit geerdeter Mittelleitung durch die Erdrückströme einer gleichzeitig im Betriebe befindlichen elektrischen Strassenbahn sehr störend beeinflusst werden können. Es ist deshalb zweifelhaft, ob sich die Erdung der Mittelleitung weiter einbürgern wird.

**146. Die Teilung der Betriebsspannung bei Mehrleitersystemen.** Bei den älteren Mehrleiteranlagen fast ausschliesslich ausgeführt ist die Teilung der Spannung durch Anwendung von zwei oder vier Maschinen, zu denen meistens Akkumulatorenbatterien parallel geschaltet sind, wie es in Fig. 120 für das Dreileitersystem dargestellt ist. Später verringerte man die Kosten der Maschinenanlage dadurch, dass man die zwei oder vier Maschinen durch eine einzige von der doppelten oder vierfachen Spannung ersetzte und die Spannung nur durch eine Akkumulatorenbatterie teilte, vergl. Fig. 121. Diese Einrichtung hat der vorigen gegenüber den Nachteil, dass die einzelnen Teile

der Batterie nicht für sich geladen werden können. Da aber die Entladung oft sehr ungleichmässig ist, so ist es unbedingt erforderlich, dass Einzelladungen vorgenommen werden können. Es



muss deshalb eine zweite Maschine hierfür aufgestellt werden, die aber im Vergleich zur ersten nur sehr klein zu sein braucht, so dass eine Ersparnis doch noch gemacht wird. Ein anderer Nachteil ist der, dass eine Betriebsunterbrechung der Batterie den Betrieb der ganzen Anlage unmöglich macht.

In Fig. 122 ist das Schema einer Spannungsteilung durch Ausgleichmaschinen dargestellt. Solche Maschinen können mit oder ohne Akkumulatoren in der Zentrale selbst oder aber auch in einer entfernten Unterstation aufgestellt werden.

Eine Ausgleichmaschine, wie sie zuerst von E. Thomson gebaut worden ist, besteht aus zwei gekuppelten Nebenschlussdynamos, deren Nebenschlusswindungen und Anker für sich hintereinander geschaltet sind. Ihre Wirkungsweise im Dreileitersystem ist folgende: Sind beide Hälften des Systems vollständig gleich belastet, so dass die Spannung ohne weiteres in gleiche Teile zerlegt ist, so läuft die Ausgleichmaschine als Motor mit dem geringen Stromverbrauch, den der Leerlauf erfordert. Würden in diesem Falle die beiden Teile der Maschine getrennt sein, so würden beide, da sie ganz gleich gebaut sind, mit genau gleicher Geschwindigkeit laufen, mit der Geschwindigkeit nämlich, die eine elektromotorische Gegenkraft erzeugen würde, die gleich der um

den Spannungsverlust im Anker verminderten Nutzspannung in einer Systemhälfte ist.

Tritt jetzt eine Belastungsverschiedenheit der beiden Systemhälfen ein, so ist die Betriebsspannung nicht mehr in gleiche Teile geteilt, sondern sie ist (vergl. § 130) in der minder belasteten Hälfte grösser als in der anderen. Die höhere Spannung beschleunigt aber die Geschwindigkeit des Motors, die beiden Teile der Ausgleichmaschine würden also getrennt nicht mehr gleiche Geschwindigkeit haben können, sondern der Teil in der schwach belasteten Hälfte würde schneller laufen als der andere und zwar um so mehr, da die Erregung mit der Spannungserhöhung nicht gewachsen, sondern dieselbe geblieben ist, was bei Hintereinanderschaltung der Erregerwindungen der Fall sein muss.

Da nun aber die beiden Teile der Ausgleichmaschine nur eine Geschwindigkeit haben können, so wird diese offenbar einen mittleren Wert besitzen. Infolgedessen wird der in der stark belasteten Systemhälfte rotierende Anker eine höhere *EMK* entwickeln, als wenn er nur als Motor lief, und diese wird, sobald die Belastungsverschiedenheit einen gewissen Wert übersteigt, so gross sein, dass der Anker, als Generator wirkend, Strom in die stark belastete Netzhälfte entsendet. Die Ausgleichmaschine ist also bestrebt die Betriebsspannung stets in gleiche Teile zu teilen.

Statt die Wellen zweier Anker zu kuppeln, baut man die Ausgleichmaschinen auch so, dass man den Anker einer Maschine mit zwei Wicklungen und dementsprechend zwei Kollektoren versieht.

Sind Ausgleichmaschinen in einer Unterstation aufgestellt, so ist ihr Einfluss auf die Spannungsschwankungen in den Leitungen, also ihr Einfluss auf die Leitungsberechnung, mit Hilfe der Sätze von der Superposition der Ströme und der Spannungsverluste leicht zu überblicken, sobald die Wirkung der Maschine auch ihrer Grösse nach bekannt ist.

Für das Dreileitersystem ist in neuerer Zeit die Spannungsteilung durch Dreileitermaschinen vielfach angewendet worden.

Am einfachsten würde man die Spannung in einer Maschine durch Auflegung einer dritten Bürste, nach Fig. 123, teilen können; der Umstand jedoch, dass diese Bürste jedesmal die in der stärksten Induktion befindlichen Spulen kurzschliessen, also sehr stark feuern würde, macht die Verwendung dieser Anordnung unmöglich. Im Jahre 1890 suchte H. Müller dieses Feuern dadurch zu vermeiden, dass er durch Teilung eines Poles eine induktionsfreie Zone schuf,

in der die dritte Bürste funkenfrei aufgelegt werden konnte, vergl. Fig. 124. In ähnlicher Weise ging Kingdon im Jahre 1893 vor, indem er ein vierpoliges Magnetgestell nach Fig. 125 so erregte,

Fig. 123.

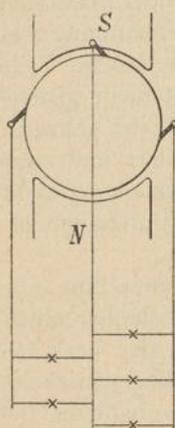
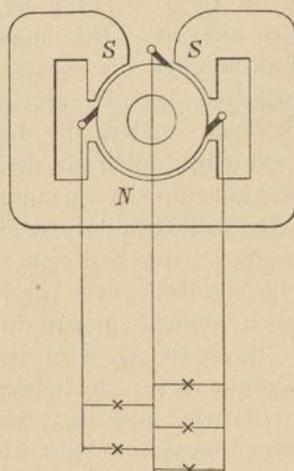


Fig. 124.



dass je zwei gleichnamige Pole nebeneinander lagen, in Wirklichkeit also nur eine zweipolige Maschine mit geteilten Polen entstand. Der Anker war ein Ringanker.

Beide Maschinen haben eine nennenswerte Anwendung nicht gefunden und zwar deshalb, weil\*) sich die *EMK*'te in den beiden Ankerhälften aus hier nicht näher

zu erörternden Gründen nicht unabhängig voneinander regulieren liessen.

Zu einer durchaus brauchbaren Dreileitermaschine gelangte erst im Jahre 1894 Dettmar, der unabhängig von Kingdon eine der vorigen ähnliche Maschine konstruierte. Dettmar schaltet nach der in Fig. 126 gezeichneten Weise zwei gegenüberliegende Pole in einen Erregerstromkreis und wendet einen Trommelanker an. Da in diesem je zwei diametral einander gegenüberliegende Stäbe zu einer Spule gehören, so beeinflusst jeder der beiden Erregerstromkreise immer nur eine Ankerhälfte allein, und die *EMK*'te in den beiden Hälften lassen sich unabhängig voneinander regulieren. Eine Selbstregulierung in gewissen Grenzen wird dann erreicht, wenn man nach Rotherts Vorschlage die zum +0-Stromkreise gehörigen Magnete von der -0-Hälfte des Systems aus erregt und umgekehrt.

Eine sehr interessante Dreileitermaschine ist von v. Dolivo-Dobrowolsky\*\*) im Jahre 1894 angegeben. Dobrowolsky verbindet zwei gegenüberliegende Punkte der Ringankerwicklung durch eine Spule mit hoher Selbstinduktion und kleinem Widerstande, eine

\*) Vergl. Rothert, Theorie der Dreileitermaschinen. *ETZ* 1897 Seite 230.

\*\*) Vergl. *ETZ* 1894 Seite 323.

sogenannte Drosselspule (vergl. Fig. 127). An den Verbindungspunkten herrscht offenbar eine Wechselfspannung, die auch bei Leerlauf der Maschine einen Wechselstrom durch die Spule schiebt; da diese aber eine hohe Selbstinduktion besitzt, so ist der an und

Fig. 125.

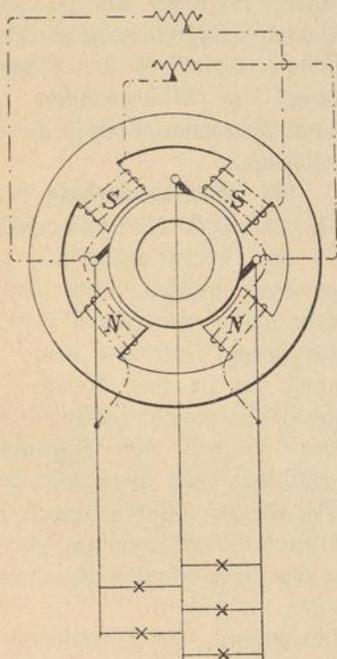
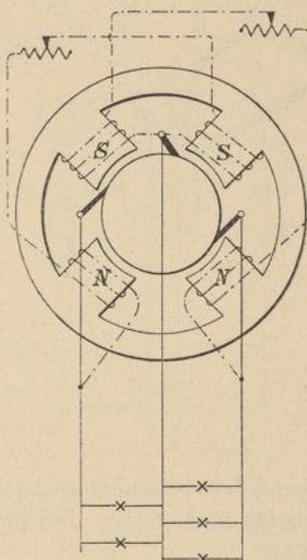


Fig. 126.



für sich kleine Strom in seiner Phase sehr stark gegen die Phase der Klemmenspannung verschoben, der Effektverbrauch in der Spule also sehr gering.

Schliesst man nun an die Bürsten der Maschine die Aussenleitungen, an den Halbierungspunkt der Spule die Mittelleitung eines Dreileitersystemes an, so werden die Verhältnisse in der Spule nicht geändert, so lange die beiden Systemhälften gleich stark belastet sind. Aendert sich aber die Belastung, so bleibt die *EMK* der Maschine durch die Mittelleitung nach wie vor halbiert; der Differenzstrom durchfließt die Mittelleitung und die eine Hälfte der Drosselspule, welche diesem Strome nur einen sehr geringen Widerstand entgegensezt, nämlich — weil der Strom ein Gleichstrom ist — nur den reinen Ohmschen Widerstand. Die

Drosselspule lässt man nun nicht mit dem Anker mitrotieren, sondern stellt sie ausserhalb der Maschine fest auf und führt ihr den Strom mit Hilfe von Schleifringen zu, wie es in Fig. 128 dargestellt ist.

Die Maschine hat den Nachteil, dass die *EMK* für die beiden Systemhälften in der Maschine selbst nicht unabhängig voneinander reguliert werden kann.

Fig. 127.

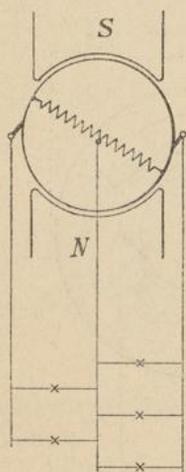
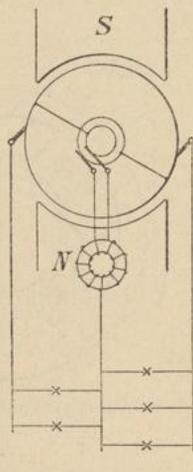


Fig. 128.



Um eine Regulierung zu ermöglichen, bedarf es der Einschaltung von Widerständen oder einer Zusatzmaschine in der Mitteleitung.

**147. Schlussbemerkung.** Durch Einführung der Mehrleitersysteme ist das Verteilungsgebiet zwar erweitert worden, aber nicht in dem Masse, wie es vielleicht von vornherein erwartet war, und nicht bis zu den Grenzen, die praktisch erreicht werden müssen. Der Vorteil der Spannungserhöhung geht eben zum guten Teil wieder verloren durch Hin-

zufügung der Zwischenleitungen und durch die zur Erzielung gleicher Elastizität notwendige Verringerung des prozentualen Spannungsverlustes.

Das weitere Streben muss dahin gehen, die Fortleitung des elektrischen Effektes in der Weise vornehmen zu können, dass der Vorteil hoher Spannungen in seinem ganzen Umfange zum Ausdruck kommt. Hierzu bieten sich zwei Wege. Der eine besteht darin, dass die Glühlampen für eine höhere Klemmenspannung gebaut werden, denn diese Stromempfänger waren es nach § 42, welche die Betriebsspannung begrenzten. Es ist in den letzten Jahren gelungen, haltbare Lampen für 150 und 250 Volt zu bauen, und einige Elektrizitätswerke mit dieser Nutzspannung sind bereits angelegt worden, das Urteil über die Zweckmässigkeit solcher Anlagen ist aber noch schwankend.

Der andere Weg ist der, dass man für die Leitung des Effektes eine andere, höhere Spannung verwendet als für seine Ausnutzung in den Stromempfängern. Hierbei muss also der Effekt = Spannung mal Strom in der Weise transformiert werden, dass in den Leitungen der erste Faktor gross, der zweite klein ist, dass dieses

Verhältnis sich aber umkehrt, sobald der Effekt nutzbar gemacht werden soll.

Zu einer solchen Transformierung eignet sich der Gleichstrom schlecht, der Wechselstrom dagegen bekanntlich sehr gut. Es wird deshalb überall da, wo sehr grosse Entfernungen zu überwinden sind, Wechselstrom verwendet. Die Eigentümlichkeiten dieser Stromart, die ein besonderes Studium verlangen, machen auch eine besondere Behandlung der für ihn verwendeten Leitungen erforderlich.

---

