

**Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

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

**Teichmüller, Joachim**

**Stuttgart, 1898**

II. Verwertung der Ergebnisse für die Praxis

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

## II. Verwertung der Ergebnisse für die Praxis.

69. Mit den bisher gewonnenen Ergebnissen und gemachten Erfahrungen lassen sich eine grosse Anzahl von praktisch vorkommenden Aufgaben erledigen; es können z. B. alle bei Hausinstallationen vorkommenden Anlagen mit sehr geringen Ausnahmen berechnet werden. Es fragt sich nur, ob die Ergebnisse für die praktischen Aufgaben direkt, ohne Einschränkung, anwendbar sind, und ob man durch ihre unmittelbare, rücksichtslose Anwendung thatsächlich allen praktischen Anforderungen genügen kann. Diese Frage muss verneint werden; denn wie es überhaupt in der Technik eine besondere Aufgabe ist, die Ergebnisse theoretischer Betrachtungen auf ihre Anwendbarkeit in der Praxis zu prüfen und unter Umständen zu modifizieren, so werden wir auch in unserem Falle zugeben müssen, dass die Praxis bisher noch viel zu wenig zu Worte gekommen ist, als dass wir erwarten dürften, allen Anforderungen des oben begrenzten praktischen Gebietes gerecht werden zu können.

Es steht zum grossen Teile dem praktischen Ingenieur selbst zu, die durch theoretische Ueberlegungen gewonnenen Erfahrungen und Ergebnisse so auszubauen, dass sie zu einem handlichen Werkzeuge für die Praxis, und gerade für seine besondere Praxis werden. Nach vielerlei Richtungen hin aber lassen sich allgemein gültige Erwägungen anstellen und Normen daraus ableiten. Die wichtigsten Punkte sollen hier besprochen werden, und zwar sollen die bei Hausinstallationen oder anderen Anlagen geringeren Umfanges vorliegenden Verhältnisse ins Auge gefasst werden.

70. **Genauigkeit der Unterlagen.** Zur Berechnung des Querschnittes müssen die Grössen  $J$ ,  $L$ ,  $q$  und  $\epsilon_m$  bekannt sein. Es soll zunächst angenommen werden, dass ausser dem Plane des zu installierenden Gebäudes auch noch der Ort und der Stromverbrauch der Stromempfänger und die Betriebsspannung oder Nutzsinnung gegeben sei. Die Längen und die Leitungsströme lassen sich dann leicht bestimmen, indem man dem Grundsatz folgt, die Leitungsverzweigung so einzurichten, dass jeder Stromempfänger auf dem kürzesten Wege, den der Gebäudegrundriss zulässt, mit der Elektrizitätsquelle verbunden werden soll.

Plan und Ausführung sind aber verschiedene Dinge; es wird, wenn der Plan ausgeführt werden soll, oft nicht zweckmässig oder auch nicht möglich sein, den im Plane angenommenen Leitungsweg zu wählen, irgendwelche vorher nicht beachtete Umstände können zu Umwegen zwingen. Auf der andern Seite ist es sehr

möglich, eigentlich sogar Regel, dass sich kurz vor oder während der Ausführung das Bedürfnis nach einer grösseren oder kleineren Veränderung des Ortes oder der Grösse der Stromempfänger herausstellt: An der Stelle, wo eine sechzehnkerzige Glühlampe angenommen war, soll eine fünfundzwanzigkerzige verwendet werden, wo eine Glühlampe angenommen war, werden jetzt zwei verlangt; die Ausschaltung einer Lampe soll nicht mehr an der Lampe selbst, sondern durch einen besonderen Ausschalter an der Thür vorgenommen werden, und dergl. mehr. Alle diese Umstände verändern die Grössen  $J$  und  $L$ , und es ist nicht möglich derentwegen das ganze Projekt umzustossen, wenn nicht wirklich Aenderungen von bedeutendem Umfange vorliegen; es ist vielmehr schon während der Bearbeitung des Projektes auf die Möglichkeit solcher Aenderungen Rücksicht zu nehmen, und zwar dadurch, dass man nicht bis an die Grenze des Zulässigen — sowohl was den Spannungsverlust, als was die Stromdichte betrifft — geht; besonders soll die Stromdichte nach Möglichkeit unter den oben in § 14 als zulässig angegebenen Werten gehalten werden.

Viele Ingenieure tragen den geschilderten Verhältnissen dadurch Rechnung, dass sie für die einzelnen Stromempfänger einen höheren Stromverbrauch einsetzen als er der Wirklichkeit entspricht; sie setzen z. B. den Stromverbrauch einer Glühlampe von 16 NK und 110 V Spannung statt zu 0,5 Amp zu 0,7 oder 0,8 Amp fest. Bei diesem Verfahren ist es denn im allgemeinen auch nicht mehr nötig bei Abmessung der Längen auf die kleineren Verzweigungen zu den Ausschaltern und die Leitungen in den Beleuchtungskörpern Rücksicht zu nehmen.

Es ist klar, dass durch die beschriebene Ungenauigkeit die Ansprüche an eine exakte Berechnung der Leitungsverzweigungen nicht unwesentlich herabgestimmt werden; jedenfalls spielt ihnen gegenüber die mögliche Aenderung des Faktors  $\rho$ , sei es infolge von Minderwertigkeit des Kupfers, sei es infolge von Erwärmung, keine wesentliche Rolle bei der Berechnung; selbstverständlich soll man aber sich nicht etwa deswegen mit einem schlechteren Kupfer begnügen. Andererseits ist es nicht erforderlich oder gerechtfertigt, für  $\rho$  statt der Zahl 0,0175 die Zahl 0,0182 oder 0,0186 (wie es oft geschieht) einzusetzen, mit der Begründung, dass man auf die vorschriftsmässig zugelassene Erwärmung Rücksicht nehmen müsse. Dass diese Ansicht nicht richtig ist, geht aus § 44 hervor, wo gezeigt ist, dass die zulässige Stromdichte, die eine Erwärmung um  $10^{\circ}$  hervorrufen würde, in praktisch seltenen Fällen erreicht wird.

**71. Unterlagen für kleinere Beleuchtungsprojekte.** Sind, wie es in der Praxis oft vorkommt, als Unterlagen nur der Grundriss eines Gebäudes und der Zweck der einzelnen Räume gegeben, und können nähere Angaben über das Lichtbedürfnis nicht gemacht werden, so können der Erfahrung entnommene Durchschnittszahlen als Unterlagen dienen.

Die folgenden Zahlen geben die Bodenfläche an, auf die jedesmal eine Glühlampe von 16 NK zu rechnen ist. Diese Bemessung ist deshalb nicht ganz korrekt, weil das Lichtbedürfnis wesentlich vom Kubikinhalte des Raumes abhängt. Da aber die Höhe der in Frage kommenden Räume nicht sehr von einander abzuweichen pflegt, so ist das eingeschlagene Verfahren statthaft und wird in der Praxis fast allgemein angewendet\*).

Es ist zu rechnen 1 Lampe von 16 NK:

in Privathäusern, nämlich in

Wohn- und Speisezimmern . . .	auf 4,5 bis 5 m <sup>2</sup>
besseren Wohnzimmern . . .	„ 3,5 „ 4 „
Schlafzimmern . . . . .	„ 8 „ 10 „
Nebenräumen . . . . .	„ 10 „ 15 „

in Geschäftsräumen, nämlich in

Verkaufsläden (ohne Auslage) . .	auf 2,5 bis 4 m <sup>2</sup>
(in Schaufenstern rechnet man 3	
bis 5 Lampen auf das lfd. Meter).	

Bureaux . . . . .	„ 4 „ 8 „
Lagerräumen . . . . .	„ 7 „ 8 „

in Hotels, nämlich in

besseren Fremdenzimmern . . .	auf 4 bis 5 m <sup>2</sup>
einfacheren „ . . . . .	„ 6 „ 8 „
Gesellschaftszimmern . . . . .	„ 2,5 „ 3 „
Festräumen . . . . .	„ 1,5 „ 2 „
Wirtschaftsräumen . . . . .	„ 8 „ 10 „
Nebenräumen . . . . .	„ 10 „ 15 „

Für grössere Räume und Hallen wird Bogenlicht bevorzugt; als Unterlage\*\*) können hierbei folgende Zahlen dienen:

Es ist zu rechnen 1 Bogenlampe zu 8 Amp:

für Hofbeleuchtung . . . . .	auf 2000 m <sup>2</sup>
„ Bahnhofshallen . . . . .	„ 1400 „
„ Giessereien, allg. Beleuchtung „	500 bis 600 m <sup>2</sup>
„ desgl., spezielle Beleuchtung .	„ 200 „ 250 „

\*) Ausführlicheres findet sich in Herzog und Feldmann, die Verteilung des Lichtes und der Lampen, Berlin und München 1898.

\*\*) Vergl. Uppenborns Kalender 1898.

für Maschinenfabriken u. Giessereien	auf	200 m <sup>2</sup>
„ Webereien . . . . .	„	200 „
„ Spinnereien . . . . .	„	200 „

**72. Erreichbare Uebereinstimmung der zu verwendenden mit den berechneten Querschnitten.** Das Gefühl mit ungenauen Angaben zu arbeiten kann und soll zwar unsere Rechnung beeinflussen, und zwar um so mehr, je mehr wir von der Unsicherheit der Unterlagen überzeugt sind; immerhin kann man aber, wie auch die Unterlagen sein mögen, bestimmte Rechnungen darauf gründen und wird bestimmte Querschnitte daraus ableiten. Aber auch die Anwendung dieser Querschnitte bei Ausführung der Anlage lässt die Praxis nicht zu, man ist vielmehr auf die Benutzung gewisser Querschnitte angewiesen, die den Fabrikationsnummern der herstellenden Firma entsprechen. Wenn wir uns einerseits mit der Auswahl unter diesen Querschnitten begnügen müssen, so können wir auf der andern Seite doch auch sagen, dass die Bedürfnisse der Leitungspraxis den Fabrikanten die Querschnittsabstufungen vorgeschrieben haben, dass diese Stufen also auch genügen werden. Die neuerdings am meisten üblich werdenden Abstufungen sind die vom Verbands deutscher Elektrotechniker festgesetzten, wie sie in § 14 angegeben sind. Es empfiehlt sich im Interesse der Einheitlichkeit, sich an diese Zahlen zu halten.

Selbst die Benutzung der nach diesen Abstufungen möglichen vielerlei Querschnitte wird man in manchen Fällen gern vermeiden; z. B. ist es dann, wenn die Materialien nach einem schlecht erreichbaren Orte, etwa über See, geschickt werden müssen, wünschenswert, sich auf möglichst wenig Querschnitte zu beschränken. Es wird dadurch vermieden, dass die bei jeder Anlage vorkommenden Abfälle in kurzen Drahtenden verschiedener Sorten bestehen, und statt dessen ein Posten Draht in brauchbaren Längen und von wenigen Querschnitten zurückbehalten, der bei Reparaturen oder Erweiterungen vorteilhaft verwendet werden kann.

Die Beschränkung in der Zahl der Querschnitte muss die Berechnung der Leitungen natürlich wesentlich beeinflussen. Will man alle vom Verbands deutscher Elektrotechniker zugelassenen Querschnitte benutzen, so wird man der Berechnung durch Annahme der nächstliegenden Querschnittstufe im allgemeinen noch ziemlich nahe kommen können, und es genügt eine oberflächliche Nachrechnung des auftretenden Spannungsverlustes in den tatsächlich verwendeten Leitungen. Je mehr man aber die Stufenzahl beschränkt, um so mehr gewinnt die spätere Nachrechnung und verliert die vorherige Querschnittsberechnung an Gewicht. Unter solchen Um-

ständen fragt es sich vor allen Dingen, welche von den behandelten Methoden der Leitungsberechnung sich zur Anwendung in der Praxis am meisten empfiehlt.

**73. Wahl der Berechnungsmethode.** Zunächst wird es erklärlich, dass die Methode der Berechnung auf minimalen Kupferverbrauch erheblich an Wert verlieren muss, da wir die hierin geforderten feinen Abstufungen doch nicht ausführen können; die beabsichtigte Kostenersparnis kann überdies durch das Mehr an Arbeitslohn, das für die Herstellung der Lötstellen aufgewendet werden muss, und durch den wertlosen Verschnitt der vielen Drahtsorten sehr leicht wett gemacht werden. Hierdurch kommt es, dass diese Methode in der Praxis thatsächlich sehr selten angewendet wird. Der Wert der theoretischen Entwicklung besteht hauptsächlich darin, dass die Bedingung für das Kupferminimum aufgedeckt und hierdurch die Warnung gegeben ist, dass man sich nicht zu weit von dieser Bedingung entferne.

Dies geschieht nicht, wenn man auf konstanten Querschnitt oder konstante Stromdichte berechnet.

Der Umstand, dass die letztere der beiden Methoden bei der Ausführung ebenso vielerlei Querschnitte verlangt als die Methode der Berechnung auf minimalen Kupferverbrauch, könnte Veranlassung geben, auch diese Methode fallen zu lassen und nur auf konstanten Querschnitt zu berechnen. Dies verbietet sich aber dadurch, dass in dem ersten Teile des konstanten Querschnittes bei solchen Anlagen, wie wir sie ins Auge gefasst haben, die Stromdichte leicht zu gross wird. Andererseits giebt man damit der Berechnungsmethode auf konstante Stromdichte noch nicht unbedingt den Vorzug; die Berechnungsweise der Praxis ist vielmehr meistens ein Gemisch der beiden Methoden, wobei man aber doch noch beide mehr oder weniger streng unterscheiden kann, je nachdem der Charakter der einen oder der andern überwiegt.

Als allgemein gültige Regel für beide Methoden mag man gelten lassen, dass kleine Abzweigungen nicht für sich berücksichtigt zu werden brauchen, die ihnen entsprechende Belastung vielmehr zur vorhergehenden oder nachfolgenden grösseren Abzweigung zugezählt werden kann. In ähnlicher Weise kann man nahe bei einander liegende Abzweigungen zu einer einzigen vereinigt denken.

Die Berechnung auf konstanten Querschnitt wird in praktischen Fällen ohne sonderliche Abweichung von dem theoretisch Gegebenen durchgeführt. Natürlich wird man den Querschnitt des Hauptstranges nicht bis zum letzten Punkte (*B* in Fig. 53)

durchführen, sondern höchstens bis zu dem Punkte (B), in dem der Hauptstrang äusserlich den Charakter einer Abzweigung annimmt; in gleicher Weise verfährt man in den Nebensträngen. Wird die Stromdichte im ersten Stücke eines Stranges zu hoch, so teilt man ihn in zwei oder mehr Teile, die man für sich auf konstanten Querschnitt mit freigewählten Teilen des Spannungsverlustes berechnet. Die Teilung des Spannungsverlustes soll sich hierbei der bei Berechnung auf minimalen Kupferverbrauch oder einfacher der auf konstante Stromdichte nähern. Dieser letzten Methode wird man um so näher kommen, in je mehr Teile von konstantem Querschnitte man die Leitungsstränge zu teilen sich veranlasst sieht.

Für die Berechnung auf konstante Stromdichte bietet die Grundgleichung

$$Q_v = \frac{\mathfrak{J}_v \varrho_m}{\varepsilon_m} \varrho \quad \text{oder} \quad Q'_v = \frac{J_v \varrho_m}{\varepsilon_m} \varrho$$

die Möglichkeit zur Herstellung einer Kurventafel oder zur Aufstellung einer Tabelle, aus denen man die Querschnitte für eine gegebene Anlage unmittelbar ablesen kann. Ist nämlich der Spannungsverlust  $\varepsilon_m$  bestimmt, so enthalten die Gleichungen bei einem Leitungsstrange von gegebener Länge nur noch zwei Veränderliche,  $Q_v$  und  $\mathfrak{J}_v$  oder  $Q'_v$  und  $J_v$ , zwischen denen Proportionalität besteht, deren Abhängigkeit von einander also durch eine durch den Nullpunkt des Koordinatensystems gehende Gerade ausgedrückt wird.

In Fig. 55 ist eine Schar von solchen Kurven für verschiedene Leitungslängen gegeben. Der Tafel sind die Zahlen

$$\varepsilon_m = 2 \text{ Volt} \quad \text{und} \quad \varrho = 0,0175 \text{ Ohm}$$

zu Grunde gelegt, als Abscissen sind die Ströme in Amp, als Ordinaten die Querschnitte in  $\text{mm}^2$  aufgetragen; jede Gerade gilt für eine bestimmte Länge  $\varrho_m$ , die der betreffenden Geraden beigeschrieben ist, und zwar ist dies z. B. durch die Bezeichnung  $\frac{1}{2} \varrho_m = 100 \text{ m}$  geschehen, um die Tafel für den praktischen Gebrauch, bei dem man die einfache Entfernung des Stromempfängers von den Hauptklemmen (in diesem Falle also 100 m) misst, handlicher zu machen.

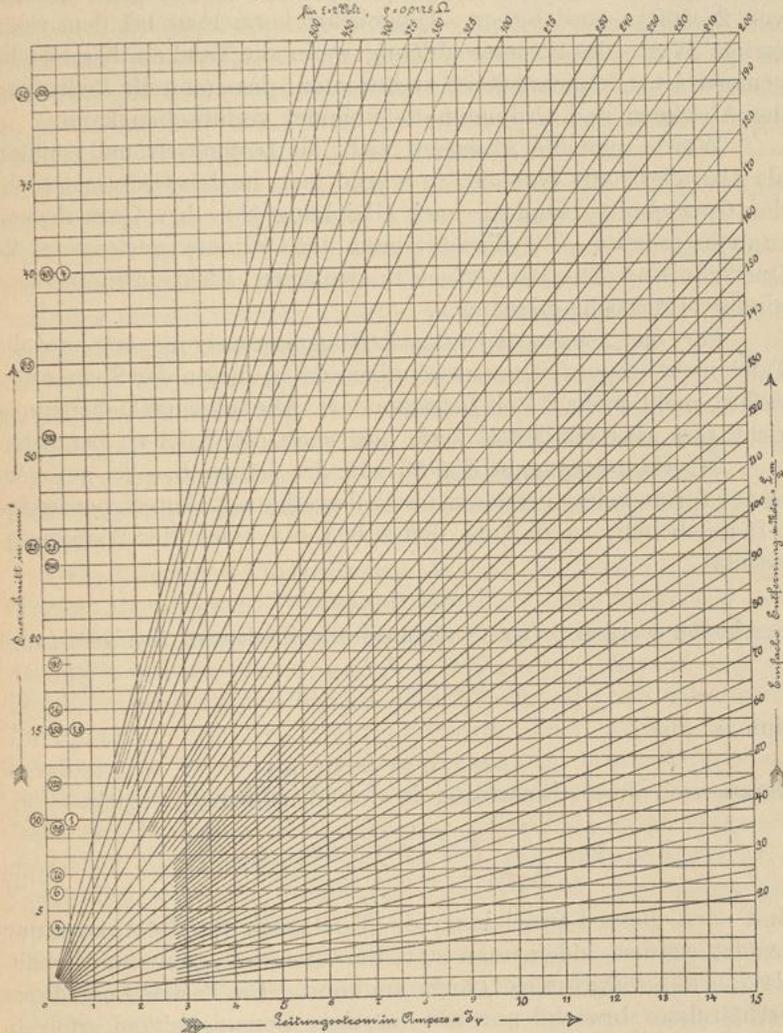
Die Tafel ist folgendermassen zu gebrauchen: Man fasst zunächst den Hauptstrang ins Auge und misst dessen Länge; dieselbe sei, einfach gemessen = 170 m. Für den Hauptstrang gilt nun nur die mit dieser Länge bezeichnete Gerade, ihre Ordinaten stellen die Querschnitte dar, welche für die durch die Abscissen gemessenen Leitungsströme erforderlich sind, wenn der

Fig. 55.

Tafel der Leitungsquerschnitte

nach der Formel  $Q = \frac{P \cdot L \cdot \rho}{U \cdot \Delta U}$

für  $\rho = 0,0175 \Omega \cdot \text{mm}$



Die von Kreisen umgebenen Zahlen stellen die Querschnitte des Verbandes deutscher Elektrotechniker dar.

maximale Spannungsverlust 2 Volt sein soll. Es ist also z. B. für das von 8 Amp durchflossene Leitungsstück der Querschnitt von 24 mm<sup>2</sup>, rund 25 mm<sup>2</sup> zu wählen. Die Tafel ergibt also um 10% zu starke Querschnitte, wenn ein Spannungsverlust von 2% der

Nutzspannung zugelassen werden soll. Uebersteigt die Stromstärke den Betrag von 15 Amp, so ist der Querschnitt für den zehnten Teil des Stromes zu suchen und dann zu verzehnfachen. In derselben Weise ist die Anwendbarkeit der Tafel über die Längen von 2 · 500 m ausdehnbar. Umgekehrt kann man bei dem zehnfachen Werte des Stromes ablesen, wenn die Tafel an dieser Stelle genauer ist. Schliesslich ist zu beachten, dass man die Bedeutung der Abscissen und Ordinaten miteinander vertauschen kann.

Würde man die Abscissen nicht als Leitungsströme, sondern als Abzweigströme ansehen, so würde man in den Ordinaten nicht den Querschnitt, sondern nach Gleichung (20) den Querschnittszuwachs erhalten. Bei Einschreibung der Ordinatenwerte ist auf die Querschnittsstufen des Verbandes deutscher Elektrotechniker besondere Rücksicht genommen.

Für die Nebenzweige der Leitungsverzweigung ist nun die Tafel nicht ohne weiteres anwendbar, da in diesen der Spannungsverlust nicht mehr 2 Volt betragen darf. Die folgende Ueberlegung giebt uns aber ein Mittel auch hier noch die Tafel zu benützen:

Der Hauptstrang in Fig. 53 von der Länge  $L_{AB}$  sei auf konstante Stromdichte berechnet; soll dasselbe mit dem Nebenzweige  $GH$  geschehen, so darf in demselben nur noch der Spannungsverlust

$$\epsilon_{GB} = \epsilon_{GH}$$

zugelassen werden. Der  $v^{\text{te}}$  Querschnitt in diesem Zweige ist also

$$Q_v = \frac{\mathfrak{J}_v L_{GH}}{\epsilon_{GB}} \varrho.$$

Nun ist aber

$$\epsilon_{GB} : \epsilon_m = L_{GB} : \mathcal{L}_m,$$

woraus sich durch Einsetzung in den Wert von  $Q_v$  ergibt

$$Q_v = \frac{\mathfrak{J}_v L_{GH} \frac{\mathcal{L}_m}{L_{GB}} \varrho}{\epsilon_m} \dots \dots \dots (37)$$

Und nach dieser Formel kann die Tafel auch für die Abzweigung benutzt werden, indem man statt der Länge  $L_{GH}$  die im Verhältnis  $\mathcal{L}_m : L_{GB}$  vergrösserte Länge annimmt. Die Feststellung dieses Verhältnisses braucht nur mit mässiger Genauigkeit zu erfolgen.

In ähnlicher Weise kann man die Brauchbarkeit der Tafel auch auf solche Fälle ausdehnen, in denen der maximale Spannungsverlust nicht  $\epsilon_m = 2 \text{ V}$ , sondern  $\epsilon'_m \leq 2 \text{ V}$  sein soll: Man stellt das Verhältnis

$$\epsilon_m : \epsilon'_m = \zeta$$

fest und liest die Querschnitte an der dem Werte  $\zeta \cdot \varrho_m$  entsprechenden Graden ab.

Statt der Kurventafel kann man eine Tabelle benutzen wie sie auf Seite 114 u. 115 gegeben ist. Es empfiehlt sich eine solche Tabelle dem eine Anlage ausführenden Monteur mitzugeben, damit dieser bei Abweichungen vom Montageplan selbst in der Lage ist, den richtigen Querschnitt zu wählen. Die Bedeutung der drei Zahlen in jedem Vierecke der Tabelle ist durch die beigezeichnete Figur angegeben; die Durchmesser sind dabei von 0,5 zu 0,5 mm abgestuft. Die beiden oberen Zahlen sind aus der unteren in der Weise entnommen, dass da, wo ein Durchmesser oder Querschnitt nach den Abstufungen des Verbandes deutscher Elektrotechniker nicht genau dem berechneten Querschnitte entspricht (also im allgemeinen), der nächst grössere Durchmesser angenommen ist. Jedoch ist die vorhergehende kleinere Drahtnummer ( $D_1$  oder  $Q_1$ ) jedesmal noch verwendet bis der berechnete Querschnitt den Wert  $Q_1 + \frac{1}{4} (Q_2 - Q_1)$  erreicht hat. Die als Entfernungen bezeichneten Zahlen kann man auch als Leitungsströme ansehen, wenn man umgekehrt die Zahlen der ersten Kolonne als Längen annimmt.

Durchmesser in mm.	Querschn. des V.D.E. in mm <sup>2</sup> .
Berechneter Querschnitt in mm <sup>2</sup>	

Die berechneten Querschnitte in den links oben durch dicke Striche abgetrennten Vierecken können nicht verwendet werden, weil der entsprechende Draht nicht genügende mechanische Festigkeit besitzen würde, es ist deshalb auch jedesmal nur der Durchmesser von 1 mm darüber geschrieben, nämlich der kleinste Durchmesser, der noch verwendet wird. Stuft man nach Querschnitten ab, so ist als kleinster Querschnitt  $Q = 0,75 \text{ mm}^2$  zugelassen, der ungefähr dem Durchmesser von 1 mm entspricht. Diese Drähte dürfen aber nach den Vorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker nur in und an Beleuchtungskörpern verwendet werden; ausserhalb derselben soll der Querschnitt wenigstens  $1 \text{ mm}^2$  betragen.

Die berechneten Querschnitte der in gleicher Weise links unten abgetrennten Vierecke gelten deshalb nicht, weil in ihnen die Stromdichte zu gross werden würde. Die dafür anzunehmenden Durchmesser oder Querschnitte sind aus der in § 14 gegebenen Tabelle der zulässigen Stromstärken entnommen und in die Vierecke eingeschrieben. Einfache Drähte von über 8 mm Durchmesser werden in der Regel nicht verlegt und sind deshalb in der Tabelle nicht mehr eingeschrieben.

114 Tabelle der Querschnitte und Durchmesser für Leitungen  
 — Einfache Entfernungen

	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
0,5	1 0,75 0,088	1 0,75 0,131	1 0,75 0,175	1 0,75 0,219	1 0,75 0,262	1 0,75 0,306	1 0,75 0,350	1 0,75 0,394	1 0,75 0,438	1 0,75 0,481	1 0,75 0,525
1,0	1 0,75 0,175	1 0,75 0,263	1 0,75 0,350	1 0,75 0,438	1 0,75 0,525	1 0,75 0,612	1 0,75 0,700	1 0,75 0,788	1 1 0,875	1 1 0,962	1 1,5 1,05
1,5	1 0,75 0,263	1 0,75 0,394	1 0,75 0,525	1 0,75 0,657	1 0,75 0,788	1 1 0,918	1,5 1 1,05	1,5 1,5 1,18	1,5 1,5 1,31	1,5 1,5 1,44	1,5 1,5 1,58
2,0	1 0,75 0,350	1 0,75 0,525	1 0,75 0,700	1 1 0,875	1,5 1 1,05	1,5 1,5 1,225	1,5 1,5 1,40	1,5 1,5 1,58	1,5 1,5 1,75	1,5 2,5 1,93	1,5 2,5 2,10
2,5	1 0,75 0,438	1 0,75 0,657	1 1 0,875	1,5 1 1,005	1,5 1,5 1,31	1,5 1,5 1,53	1,5 1,5 1,75	1,5 2,5 1,97	1,5 2,5 2,19	2 2,5 2,41	2 2,5 2,63
3,0	1 0,75 0,525	1 0,75 0,788	1,5 1 1,05	1,5 1,5 1,31	1,5 1,5 1,58	1,5 2,5 1,84	1,5 2,5 2,10	2 2,5 2,37	2 2,5 2,63	2 2,5 2,88	2 4 3,15
3,5	1,5 1 0,612	1,5 1 0,921	1,5 1,5 1,225	1,5 1,5 1,53	1,5 2,5 1,84	1,5 2,5 2,14	2 2,5 2,45	2 2,5 2,76	2 4 3,06	2 4 3,36	2 4 3,68
4,0	1,5 1 0,700	1,5 1 1,05	1,5 1,5 1,40	1,5 1,5 1,75	1,5 2,5 2,10	2 2,5 2,45	2 2,5 2,80	2 4 3,15	2 4 3,50	2,5 4 3,85	2,5 4 4,20
4,5	1,5 1,5 0,788	1,5 1,5 1,18	1,5 1,5 1,58	1,5 2,5 1,97	2 2,5 2,36	2 2,5 2,75	2 4 3,15	2 4 3,54	2,5 4 3,94	2,5 4 4,33	2,5 6 4,73
5,0	1,5 1,5 0,875	1,5 1,5 1,31	1,5 1,5 1,75	1,5 2,5 2,19	2 2,5 2,63	2 4 3,06	2 4 3,50	2,5 4 3,94	2,5 4 4,38	2,5 6 4,82	2,5 6 5,25
5,5	1,5 1,5 0,962	1,5 1,5 1,45	1,5 2,5 1,93	2 2,5 2,41	2 4 2,89	2 4 3,38	2,5 4 3,85	2,5 4 4,33	2,5 6 4,82	2,5 6 5,28	3 6 5,77
6,0	1,5 1,5 1,05	1,5 1,5 1,58	1,5 2,5 2,10	2 2,5 2,63	2 4 3,15	2 4 3,67	2,5 4 4,20	2,5 6 4,73	2,5 6 5,25	3 6 5,76	3 6 6,30
6,5	1,5 2,5 1,14	1,5 2,5 1,71	2 2,5 2,27	2 2,5 2,84	2 4 3,41	2 4 3,98	2,5 6 4,55	2,5 6 5,12	3 6 5,68	3 6 6,25	3 6 6,82
7,0	1,5 2,5 1,225	1,5 2,5 1,84	2 2,5 2,45	2 4 3,06	2 4 3,68	2,5 6 4,28	2,5 6 4,90	3 6 5,52	3 6 6,12	3 6 6,73	3 10 7,35
7,5	1,5 2,5 1,31	1,5 2,5 1,97	2 2,5 2,63	2 4 3,28	2 4 3,94	2,5 6 4,59	2,5 6 5,25	3 6 5,89	3 6 6,56	3 10 7,20	3 10 7,88
8,0	1,5 2,5 1,40	1,5 2,5 2,10	2 2,5 2,80	2 4 3,50	2 4 4,20	2,5 6 4,90	3 6 5,60	3 6 6,30	3 6 7,00	3 10 7,70	3 10 8,40
8,5	2 2,5 1,49	2 2,5 2,24	2 4 2,98	2 4 3,72	2,5 4 4,47	2,5 6 5,21	3 6 5,95	3 6 6,70	3 10 7,44	3 10 8,18	3 10 8,82
9,0	2 2,5 1,58	2 2,5 2,36	2 4 3,15	2 4 3,94	2,5 6 4,73	3 6 5,50	3 6 6,30	3 10 7,08	3 10 7,88	3 10 8,66	3 10 9,45
9,5	2 2,5 1,66	2 2,5 1,49	2 4 3,32	2 4 4,17	2,5 6 5,00	3 6 5,82	3 6 6,65	3 10 7,48	3 10 8,32	3 10 9,14	3 10 9,98
10	2 2,5 1,75	2 2,5 2,63	2 4 3,50	2 4 4,38	2,5 6 5,25	3 6 6,12	3 6 7,00	3 10 7,88	3 10 8,75	3 10 9,62	4 10 10,5
20	3 6 3,50	3 6 5,26	3 6 7,00	3 10 8,75	4 10 10,5	4 16 13,25	4 16 14,0	5 16 15,8	5 16 17,5	5 25 19,3	5 25 21,0
50	5,5 25 8,75	5,5 25 13,1	5,5 25 17,5	5,5 25 21,9	6 25 26,3	6 35 30,6	7 35 35,0	7 50 39,4	7,5 50 43,8	8 50 48,2	8 50 52,5
100	8 50 17,5	8 50 26,3	8 50 35,0	8 50 43,8	8 50 52,5	8 50 61,2	8 50 70,0	8 50 78,8	8 50 87,5	8 50 96,2	8 50 105,0
150	95 26,3	95 39,4	95 52,5	95 65,7	95 78,8	95 91,8	95 105,0	120 118,0	120 131,0	150 144,0	150 158,0
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60

Leitungsströme in Amp

— Einfache Entfernungen

mit konstanter Stromdichte bei 2 Volt Spannungsverlust. 115  
in Meter →

	75	100	125	150	175	200	250	300	350	400	500	
1	0,75 0,657	1 0,875	1,5 1,095	1,5 1,31	1,5 1,53	1,5 1,75	1,5 2,19	2 2,68	2 3,06	2 3,50	2,5 4,38	0,5
1,5	1,5 1,31	1,5 1,75	2 2,19	2 2,62	2 3,06	2 3,50	2,5 4,38	2,5 5,25	3 6,12	3 7,00	3,5 8,75	1,0
1,5	2 1,97	2 2,63	2 3,28	2,5 3,94	2,5 4,59	2,5 5,25	3 6,57	3 7,88	3,5 9,18	4 10,5	4 13,1	1,5
2	2 2,63	2 3,50	2,5 4,38	2,5 5,25	3 6,12	3 7,00	3,5 8,75	4 10,5	4 12,25	4,5 14,0	5 17,5	2,0
2	2 3,28	2,5 4,38	2,5 5,47	3 6,57	3 7,66	3,5 8,75	4 10,95	4 13,1	4,5 15,3	5 17,5	5,5 21,9	2,5
2,5	2,5 3,95	2,5 5,25	3 6,57	3,5 7,88	3,5 9,18	4 10,5	4 13,1	4,5 15,3	5 18,4	5,5 21,0	6 26,2	3,0
2,5	3 4,59	3 6,12	3 7,66	3,5 9,21	4 10,7	4 12,25	4,5 15,3	5 18,4	5,5 21,4	5,5 24,5	6,5 30,6	3,5
2,5	3 5,25	3 7,00	3,5 8,75	4 10,5	4 12,25	4,5 14,00	5 17,5	5,5 21,0	5,5 24,5	6 28,0	7 35,0	4,0
3	3 5,89	3,5 7,88	3,5 9,86	4 11,8	4,5 16,8	4,5 18,8	5 19,7	5,5 23,7	6 27,5	6,5 31,5	7 39,5	4,5
3	3 6,57	3,5 8,75	4 10,95	4 13,1	4,5 15,3	5 17,5	5,5 21,9	6 26,3	6,5 30,6	7 35,0	7,5 43,8	5,0
3	3 7,22	3,5 9,62	4 12,06	4,5 14,4	4,5 16,8	5 19,3	5,5 24,1	6 28,9	6,5 33,8	7 38,5	8 48,2	5,5
3,5	3,5 7,88	4 10,5	4 13,1	4,5 15,8	5 18,4	5,5 21,0	6 26,3	6,5 31,5	7 36,7	7,5 42,0	8 52,5	6,0
3,5	3,5 8,52	4 11,4	4,5 14,2	5 17,1	5 19,9	5,5 22,7	6 28,4	6,5 34,1	7 39,8	7,5 45,5	8 56,8	6,5
3,5	3,5 9,16	4 12,25	4,5 15,3	5 18,4	5,5 21,4	5,5 24,5	6,5 30,6	7 36,8	7,5 42,8	8 49,0	8 61,2	7,0
3,5	3,5 9,84	4 13,1	4,5 16,4	5 19,7	5,5 23,0	6 26,3	6,5 32,8	7 39,4	7,5 45,9	8 52,5	8 65,6	7,5
4	4 10,5	4,5 14,0	5 17,5	5,5 21,0	5,5 24,5	6 28,0	7 35,0	7,5 42,1	8 49,0	8 56,0	8 70,0	8,0
4	4 11,1	4,5 14,9	5 18,6	5,5 22,4	6 26,0	6,5 29,8	7 37,2	7,5 44,7	8 52,1	8 59,5	8 74,4	8,5
4	4 11,8	4,5 15,7	5 19,7	5,5 23,6	6 27,5	6,5 31,5	7 39,4	7,5 47,3	8 55,0	8 63,0	8 78,8	9,0
4	4 12,4	4,5 16,6	5,5 20,8	5,5 25,0	6 29,1	6,5 33,2	7,5 41,7	8 50,0	8 58,2	8 66,5	9 83,2	9,5
4	4 13,1	5 17,5	5,5 21,9	6 26,2	6,5 30,6	7 35,0	7,5 43,8	8 52,5	8 61,2	8 70,0	9 87,5	10
6	6 26,3	7 35,0	7,5 43,8	8 52,5	8 61,2	9 70,0	9,5 87,5	10 105,0	10 122,5	12 140,0	15 175,0	20
7	7 65,7	9 87,5	12 109,5	15 181,0	15 163,0	18 175,0	24 219,0	30 263,0	30 306,0	40 350,0	50 438,0	50
15	15 131,0	18 175,0	24 219,0	30 262,0	30 306,0	40 350,0	50 438,0	50 525,0	62,5 612,0	80 700,0	100 875,0	100
18	18 197,0	30 263,0	30 328,0	40 394,0	50 459,0	50 525,0	62,5 657,0	80 788,0	100 918,0	100 1050	130 1310	150
75	100	125	150	175	200	250	300	350	400	500		

Leitungsströme in Amp

in Meter →

Beispiel. Als Beispiel soll der in den §§ 58 bis 63 berechnete Leitungsstrang behandelt werden: Die Gesamtlänge ist  $L_m = 2 \cdot 356$ , der maximale Spannungsverlust  $\epsilon'_m = 2,2$  V. Das Verhältnis  $\zeta$  ist also  $= 0,91$ , so dass als neue Länge

$$\zeta \cdot L_m = 2 \cdot 324 \text{ m}$$

einzuführen ist. Die auf der Tafel zu benutzende Kurve ist die für  $2 \cdot 325$  m.

Der Querschnitt für das erste Stück des Leitungsstranges mit 70 Amp ist auf der Ordinate für 7 Amp abzulesen und ergibt sich zu  $40 \cdot 10 \text{ mm}^2$ , für das zweite ergeben sich ebenso  $200 \text{ mm}^2$ . Glaubt man den Querschnitt für das letzte Stück mit 25 Amp auf der Ordinate für 2,5 Amp, bis zu der die Gerade nicht gezogen ist, nicht mit hinreichender Genauigkeit schätzen zu können, so kann man statt dessen auf der Ordinate für 5 Amp ablesen und mit  $10 : 2$  multiplizieren. Es ergibt sich dabei der Querschnitt zu  $142 \text{ mm}^2$ . Alle Querschnitte stimmen mit den in § 60 ermittelten hinreichend genau überein.

In der Tabelle ist die Länge von 325 m nicht gegeben, man muss den Mittelwert der für 300 und für 350 m geltenden Querschnitte nehmen. So ergibt sich für das erste Stück der Querschnitt

$$Q_1 = \frac{36,8 + 42,8}{2} \cdot 10 = 398 \text{ mm}^2,$$

für das zweite der Querschnitt

$$Q_2 = \frac{18,4 + 21,4}{2} \cdot 10 = 199 \text{ mm}^2$$

und endlich für das dritte

$$Q_3 = \frac{13,1 + 15,3}{2} \cdot 10 = 142 \text{ mm}^2.$$

Die Rechnungen lassen sich mit hinreichender Genauigkeit im Kopfe ausführen.

Bei der praktischen Ausführung des behandelten Leitungsstranges wird man, wie oben hervorgehoben, den mittleren Querschnitt von  $198 \text{ mm}^2$  nicht anwenden, statt dessen vielmehr den Querschnitt von  $396$  oder  $400 \text{ mm}^2$  bis zum zweiten Abzweigpunkte durchführen.

**74. Abweichungen von den behandelten Methoden.** Von den mancherlei Umständen, die zu einer Abweichung von den oben behandelten Berechnungsmethoden führen können, und von denen ein Teil schon erwähnt worden ist, sollen zwei noch besonders hervorgehoben werden.

Die Bedingung, dass mit Rücksicht auf die mechanische Festigkeit der Drähte Querschnitte unter  $0,75 \text{ mm}^2$  überhaupt nicht, unter  $1 \text{ mm}^2$  nur in oder an Beleuchtungskörpern verwendet werden dürfen, ist von einschneidender Bedeutung für viele praktische Fälle. Es kann z. B. die maximale einfache Entfernung bei einem auf konstante Stromdichte zu berechnenden Leitungsstrange bis 90 m betragen und es wird, wenn der letzte Anschluss in einer Glühlampe von 0,5 Amp besteht, der Querschnitt des letzten Leitungsstückes grösser gewählt werden müssen als er bei Berechnung auf einen Spannungsverlust von 2 Volt sein würde. Umgekehrt wird der Spannungsverlust in Abzweigungen oder Leitungsenden, die zu kleinen Belastungen führen, sehr häufig viel kleiner sein, als er sein dürfte. Hierdurch kommt es, dass man derartige Leitungsenden oft überhaupt nicht zu berücksichtigen braucht und statt dessen die Entfernung bis zur vorletzten Belastung als maximale Entfernung einsetzt.

Einen Anhaltspunkt über die Grösse des Fehlers, den man macht, wenn man bei der Berechnung die letzten Abzweigungen vernachlässigt und nur den Querschnitt von  $0,75$  oder  $1 \text{ mm}^2$  verwendet, liefert die folgende Tabelle.

»—— Querschnitt in  $\text{mm}^2$  ——>

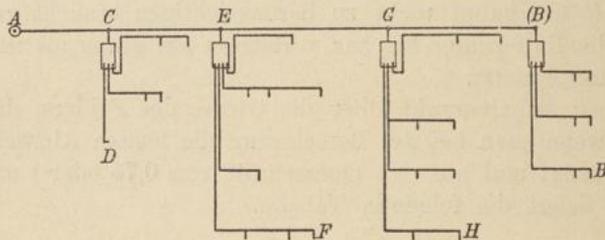
	0,75	1,0	1,5	2,5	4,0	6,0
0,5	0,23	0,175	0,12	0,07	0,044	0,029
0,75	0,35	0,26	0,175	0,105	0,066	0,044
1,0	0,47	0,35	0,23	0,14	0,088	0,058
1,25	0,58	0,44	0,29	0,175	0,11	0,073
1,5	0,70	0,525	0,35	0,21	0,13	0,088
1,75	0,82	0,61	0,41	0,245	0,15	0,102
2,0	0,93	0,70	0,47	0,28	0,175	0,12
2,5	1,17	0,875	0,58	0,35	0,22	0,15
3,0	1,40	1,05	0,70	0,42	0,26	0,175
3,5	—	1,23	0,82	0,49	0,33	0,20
4,0	—	1,40	0,93	0,56	0,35	0,23
4,5	—	—	1,05	0,63	0,39	0,26
5,0	—	—	1,17	0,70	0,44	0,29
5,5	—	—	1,28	0,77	0,48	0,32
6,0	—	—	1,40	0,84	0,525	0,35
7,0	—	—	—	0,98	0,61	0,41
8,0	—	—	—	1,12	0,70	0,47

← Leitungstrom in Amp

Diese Tabelle giebt in den ersten beiden Kolonnen den Spannungsverlust an, der in einer Leitung von den genannten Querschnitten und von  $2 \cdot 10$  m Länge auftritt, wenn sie von 0,5, 0,75, 1,0 u. s. f. Amp durchflossen wird. Sie ist durch Hinzufügung der nächst grösseren Querschnitte vervollständigt, um sie zur Kontrollierung des Spannungsverlustes im weiteren Umfange tauglich zu machen. Die Zahlen links unten sind ausgelassen, weil in diesen Fällen die zulässige Stromdichte überschritten werden würde.

Der andere Umstand, der zu Abweichungen Veranlassung geben kann, liegt in dem Bestreben, die Bleisicherungen der Anlage zu zentralisieren. Eine solche Zentralisierung der

Fig. 56.



Sicherungen — unter Umständen auch der Ausschalter — wird überall, wo es die höheren Kosten nicht verbieten, gern angewendet, weil die Ueberwachung und Instandhaltung der Anlage hierdurch sehr erleichtert wird.

Die Sicherheitsvorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker verlangen nun, dass Sicherungen an allen Stellen, wo sich der Querschnitt ändert, anzubringen sind, und dass ein Zweig, der verschiedene Querschnitte enthält, nur dann gemeinsam gesichert werden darf, wenn der Gesamtstrom in dem Zweige 6 Amp nicht überschreitet. Will man unter diesen Umständen die Sicherungen zentralisieren, so ist es offenbar, dass die ganze Leitungsanlage hierdurch beeinflusst werden muss; es wird beispielsweise die in Fig. 53a gezeichnete Leitungsverzweigung die in Fig. 56 wiedergegebene Gestalt annehmen: Die Abzweigpunkte C, E, G und (B) sind zu Zentralpunkten der Sicherungen geworden, die praktisch in Form von kleinen Schaltbrettern ausgeführt werden. Von ihnen aus zweigen die einzelnen Leitungsstränge ab, die nur dann einen grösseren Strom als 6 Amp führen dürfen, wenn sie durchweg denselben Querschnitt haben. Diese Bedingung wird aber bei Glühlichtanlagen selten oder nie erfüllt sein, schon deshalb nicht,

weil die Zuführungsleitungen in den Beleuchtungskörpern im allgemeinen einen dünneren Querschnitt haben als  $1,5 \text{ mm}^2$ , den der Strom von 6 Amp mit Rücksicht auf Stromdichte mindestens fordern würde.

Nimmt man hiernach 6 Amp als Maximalstrom einer Zweigleitung an und zieht in Erwägung, dass einen grossen Teil dieser Leitung Drähte von  $1 \text{ mm}^2$  mit kleinen Spannungsverlusten ausmachen werden und dass in vielen Zweigleitungen wegen ihrer Kürze der Spannungsverlust auch dann sehr klein sein wird, wenn der Querschnitt so dünn gewählt wird wie es die Stromdichte zulässt, so erkennt man, dass diese Umstände die Berechnungsmethode wesentlich beeinflussen müssen.

Für den Hauptstrang ist der Einfluss nicht bedeutend, nur wird man gut thun, soweit als möglich auf konstanten Querschnitt zu berechnen, so dass für die einzelnen Abzweigungen Spannungsverluste zur Verfügung bleiben, die möglichst wenig von einander abweichen. Bei den Zweigleitungen dagegen empfiehlt es sich, folgendes Verfahren anzuwenden: Man geht von den Stromempfängern aus rückwärts zu dem Verzweigungspunkte und wählt die Querschnitte zunächst nach Stromdichte aus der Tabelle des Verbandes deutscher Elektrotechniker. Die so bestimmte Zweigleitung kontrolliert man auf Spannungsverlust, was sehr oft durch einen Blick auf die auf Seite 117 gegebene Tabelle erledigt ist. Für den Fall, dass eine genauere Kontrolle nötig wird, kann die in Fig. 57 gezeichnete Kurventafel, die dasselbe aussagt wie die Tabelle, benutzt werden. Diese Kontrolle kann die Vergrösserung eines oder einiger Querschnitte zur Folge haben, damit der maximal zulässige Spannungsverlust nicht überschritten wird. Auch kann es notwendig werden den Querschnitt des Hauptstranges zu verändern.

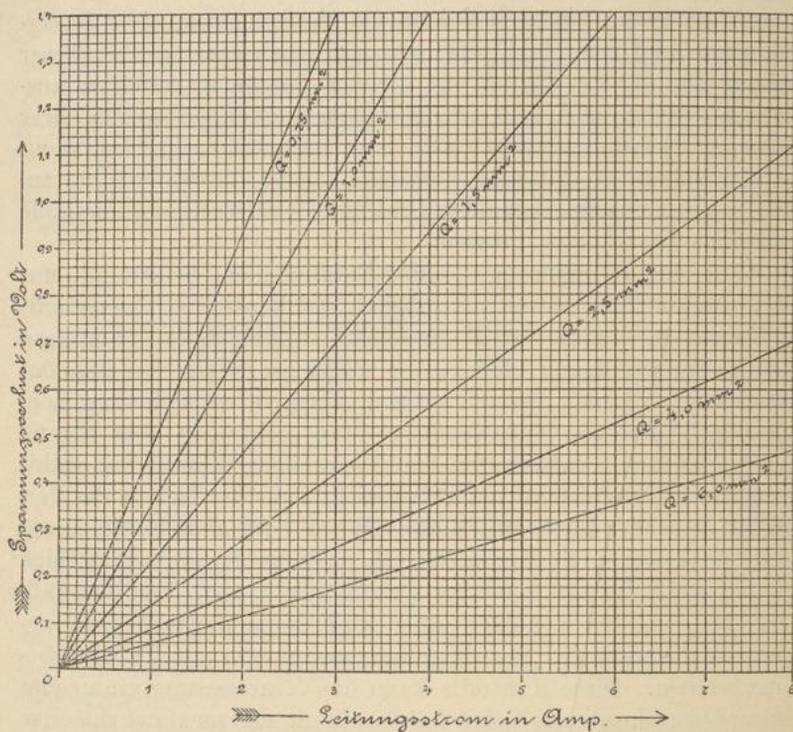
Bis zu welchen Grenzen dieses Verfahren zulässig ist, wird seine Anwendung sehr bald zeigen.

**75. Der maximal zulässige Spannungsverlust.** Bei den Beispielen zu den theoretischen Betrachtungen war als Spannungsverlust, der bei vollkommen elastischen Anlagen für zulässig erachtet wurde, ein Verlust von 2% der Nutzspannung angenommen, was einer maximal möglichen Stromschwankung in der gleichen Höhe entsprach. Beim Uebergang zu praktischen Fällen ist es nötig, die Bedeutung der Grösse  $\epsilon_m$  genauer zu untersuchen, denn von ihr hängen die Leitungsquerschnitte ganz wesentlich ab.

Als Grundlage für die Festsetzung dieser Zahl gilt immer die Empfindlichkeit des Auges gegen Stromschwankungen und die damit verbundenen Schwankungen in der Intensität der Beleuchtung.

Fig. 57.

Spannungsverluste  
in Leitungen von  $2 \times 10$  m Länge.



Es handelt sich also um eine subjektive Empfindung, über die sich allgemein gültige genaue Festsetzungen nicht wohl machen lassen. Für Glühlampen von 110 Volt Klemmenspannung kann man etwa folgende Skala annehmen\*): Es sind für das Auge plötzliche Stromschwankungen von

- 1,0% fast unmerklich,
- 1,5% wenig merklich,
- 2,0% deutlich merklich, noch eben zulässig, bei schneller periodischer Wiederholung sehr störend,
- 2,5% störend, bei schneller periodischer Wiederholung unendlich,
- 3,0% sehr störend,
- 4,0% unendlich.

\*) Für die neuerdings verwendeten Glühlampen von 150 und 220 Volt sind etwas höhere Schwankungen zulässig.

Diese Stufen gelten etwa, wenn die Lampe zur Beleuchtung beim Lesen dient, weniger Ansprüche auf ein ruhiges Licht wird man machen, wenn es sich um die Beleuchtung eines Wirtschaftsraumes oder gar eines Stalles handelt. Wir kommen damit zu der Ueberzeugung, dass die zulässige Höhe des Spannungsverlustes abhängig gemacht werden darf von dem Charakter des zu beleuchtenden Raumes, eine Thatsache, die sehr willkommen sein kann, wenn etwa ein ferner liegendes Wirtschaftsgebäude an die Beleuchtungsanlage eines Wohnhauses angeschlossen werden soll.

Wichtiger aber ist die Erörterung der Frage: In welcher Beziehung steht die praktisch mögliche Stromschwankung in einer Lampe zum maximal zugelassenen Spannungsverlust?

Zunächst ist zu beachten, dass der maximale Spannungsverlust nur bis zu den Klemmen einiger, der äussersten Lampen der Verzweigungen auftritt. Die Spannungs-, also auch Stromschwankung einer solchen Lampe in der ganzen Höhe des maximalen Verlustes kann aber offenbar nur dann plötzlich auftreten, wenn alle Lampen bis auf die eine betrachtete plötzlich gelöscht werden, oder allgemeiner: wenn alle Nutzwiderstände bis auf eine Glühlampe plötzlich ausgeschaltet werden, und wenn ausserdem der Strom einer Lampe sehr klein ist im Vergleich zu dem Gesamtstrom, der erst den maximal zugelassenen Spannungsverlust zur Folge hat. Man erkennt hieraus, dass der der Rechnung zu Grunde zu legende Spannungsverlust um so grösser sein darf, je kleiner die Teile sind, um die der augenblicklich fliessende Strom vergrössert oder vermindert werden kann, je mehr und je kleinere Ausschalter also die Anlage besitzt. Man kann in dieser Beziehung von grossen und kleinen Schalteinheiten einer Anlage sprechen.

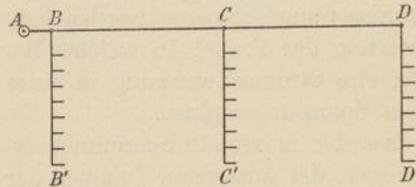
Für die Ausführung der Anlage folgt daraus die Regel, dass man grössere Ausschalter vermeiden oder doch nur dann anbringen soll, wenn mit ihnen stromlose oder annähernd stromlose Zweige ein- und ausgeschaltet werden sollen, was zur grösseren Feuersicherheit in ähnlicher Weise üblich ist, wie man gewöhnt ist, den Hauptkahn einer Gasleitung abends zu schliessen. In Festsälen soll man nicht alle Kronleuchter auf einmal, sondern einzeln ausschalten.

Der Berechnung einer Leitung ist bisher immer, wie es gebräuchlich ist, die Annahme zu Grunde gelegt, dass alle Stromempfänger gleichzeitig eingeschaltet sind, während dies thatsächlich fast nie vorkommt. Mit Rücksicht hierauf darf, wenn mit Sicherheit vorausgesagt werden kann, dass die im Maximum that-

sächlich vorkommende Belastung wesentlich kleiner ist als die dem Projekte nach mögliche, der Spannungsverlust der Rechnung unter Umständen etwas erhöht werden. Dies darf aber nicht zur allgemeinen Regel gemacht werden.

Kann z. B. von der in Fig. 58 skizzierten Anlage ausgesagt werden, dass im Maximum nur zwei Drittel der installierten Strom-

Fig. 58.



empfänger gleichzeitig eingeschlossen sein können, so fragt es sich zunächst, wie diese zwei Drittel örtlich verteilt sind. Ist nur ausgesagt, dass von den drei Strängen B, C und D nur zwei gleichzeitig eingeschaltet sein können, so darf dies die Rechnung noch gar nicht beeinflussen, denn der abgeschaltete Zweig kann B sein und dieser hat auf den Spannungsverlust bis C' und D' offenbar nur einen unmerklich kleinen Einfluss. Erst die bestimmte Angabe, dass in der Anlage entweder nur der Zweig C oder der Zweig D eingeschaltet ist, darf zu einer Erhöhung des sogenannten maximal zulässigen Spannungsverlustes führen, d. h. des Spannungsverlustes, der eintreten würde, wenn alle Stromempfänger eingeschaltet wären.

In dem vorliegenden einfachen Falle wird man die erstrebte Querschnittsverminderung offenbar nicht dadurch zu erreichen suchen, dass man den Spannungsverlust der Rechnung erhöht, sondern dadurch, dass man die Belastung der bestimmten Angabe entsprechend, entweder in C oder in D gleich Null annimmt; in anderen Fällen wird es einfacher sein können, den Spannungsverlust zu erhöhen. Man sieht aber, dass man diese Erhöhung nicht unvorsichtig vornehmen darf.

Darf nun auch in gewissen Fällen, besonders — wie oben gezeigt wurde — wenn die Schalteinheiten klein sind, eine Erhöhung des zulässigen Spannungsverlustes vorgenommen werden, so ist doch auch hier bald eine Grenze durch den Umstand gezogen, dass die Leuchtkraft einer Glühlampe durch den Spannungsverlust verringert wird. Es handelt sich also jetzt nicht mehr um die Schwankungen der Beleuchtung, also die Elastizität der Anlage, sondern um eine lang dauernde Beeinträchtigung der Wirkung einer Lampe.

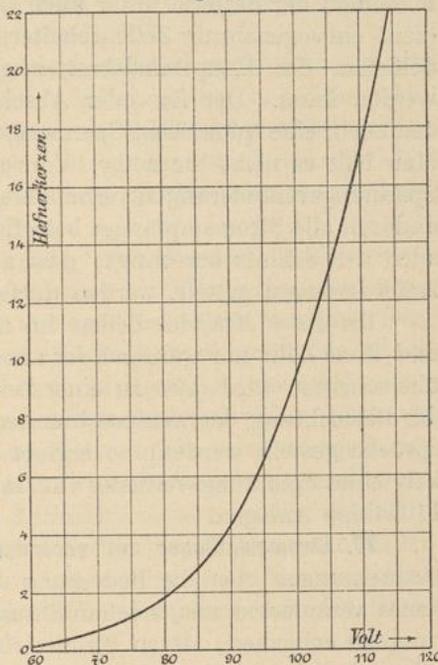
Dieser Umstand ist bisher wenig beachtet worden aus dem Grunde, weil er thatsächlich weniger Beachtung verdient, denn weit unangenehmer als eine geringere Beleuchtung sind die Schwan-

kungen derselben. Fig. 59 zeigt die Abhängigkeit der Leuchtkraft einer Glühlampe zu nominell 16 Kerzen von ihrer Klemmenspannung. Man sieht daraus, dass die Leuchtkraft sich prozentual in viel stärkerem Masse ändert als die Spannung; einer Abnahme der Nutzspeisung um 2%, von 110 auf 107,8 Volt, entspricht eine Abnahme in der Leuchtkraft von ungefähr 11%, nämlich von etwa 17,1 auf 15,2 HK, während ein Spannungsverlust von 4% eine Verringerung der Leuchtkraft um etwa 22%, nämlich von 17,1 auf 13,3 HK, zur Folge hat. Wir haben es also keineswegs mit vernachlässigbaren Grössen zu thun.

Soll nach diesen Betrachtungen der zulässige, der Rechnung zu Grunde zu legende Spannungsverlust von neuem festgesetzt werden, so erkennt man, dass bei 110voltigen Glühlichtanlagen 2% im allgemeinen jedenfalls nicht überschritten werden dürfen, dass nur in Ausnahmefällen eine geringe Erhöhung zugelassen werden darf und andererseits eine Verminderung dieser Zahl für manche Fälle wünschenswert sein kann.

**76. Konstanz der Spannung an den Hauptklemmen.** Die an den Klemmen der Glühlampen beobachtete Spannungsschwankung ist nicht allein eine Wirkung der Leitungen, vielmehr kann die bis jetzt immer stillschweigend gemachte Voraussetzung, dass die Spannung an den Hauptklemmen konstant sei, nicht zutreffen. Und tatsächlich wird sie je nach der Güte der Betriebsmaschinen mehr oder weniger schwanken, was um so bedenklicher ist, als die bei Maschinen möglichen periodischen Schwankungen nach der auf Seite 120 gegebenen Skala weit störender sind als momentane. Die elektrische Beleuchtung verlangt deshalb die besten Betriebsmaschinen und hat auch tatsächlich seit der Zeit ihrer Einführung einen grossen, fördernden Einfluss auf den Bau der Dampf- und Gasmaschinen ausgeübt.

Fig. 59.



Bei Gleichstromanlagen unterstützen die Akkumulatoren die Konstanz der Betriebsspannung und schliessen periodische Schwankungen aus, dagegen sind momentane Aenderungen auch hierdurch nicht vermieden: Die *EMK* einer Zelle ändert sich während der Ladung bis auf ungefähr 2,6 V, während sie bei der Entladung bis auf etwa 1,8 V zurückgehen darf. Um die Spannung an den Klemmen der Batterie unter allen Umständen konstant zu halten, dient ein sogenannter Zellschalter, mit dem die Zahl der an die Schienen des Hauptschaltbrettes geschlossenen Zellen geändert werden kann. Der Zu- oder Abschaltung einer Zelle entspricht demnach eine plötzliche Spannungsänderung von 1,8 bis 2,6 V. Man hält es nicht für nötig, Vorrichtungen zu treffen, die diese Spannungsveränderungen vermindern oder verlangsamen, obwohl dadurch alle Stromempfänger betroffen werden; und es ist deshalb auch der Schluss berechtigt, dass an die Leitungen nicht höhere Anforderungen gestellt werden dürfen.

Da die *EMK* der Zellen im allgemeinen etwa 2 V beträgt, und diese Zahl nur während der am Tage vorgenommenen Ladung überschritten wird (also zu einer Zeit, wo an die Gleichmässigkeit der Beleuchtung der wenigen brennenden Lampen keine hohen Ansprüche gestellt werden), so ergibt sich auch hieraus die Zulässigkeit eines Spannungsverlustes von etwa 2 V oder ungefähr 2% für 110voltige Anlagen.

**77. Stromempfänger mit veränderlichem Stromverbrauche.** Die Betrachtungen über die Bedeutung des maximalen Spannungsverlustes veranlassen uns, solchen Stromempfängern besondere Beachtung zu schenken, deren Stromverbrauch während des Betriebes schwanken kann, ohne dass ihre Zahl durch Ab- oder Zuschalten geändert wäre. Solche Stromempfänger sind die Bogenlampen und die Elektromotoren.

Alle bisher getroffenen Abmachungen würden hinfällig, wenn man Bogenlampen oder Motoren ohne Einschränkung zum Anschluss an dieselben Leitungen zulassen wollte, von denen Glühlampen abzweigt sind, denn die dann auftretenden Stromschwankungen würden so grosse Spannungsschwankungen nach sich ziehen können, dass die durch Aus- und Einschalten von Nutzwiderständen hervorgerufenen Spannungsschwankungen weit übertroffen würden. Es folgt daraus, dass die Leitungen für Glühlampen einerseits und Bogenlampen und Elektromotoren andererseits nur bis zu einem Punkte gemeinsam sein dürfen, bis zu dem der Spannungsverlust noch klein ist. Der Spannungsverlust muss um so kleiner sein, der Abzweigpunkt muss also den Hauptklemmen um so näher liegen, je grösser der Strom-

verbrauch der Motoren oder Bogenlampen ist. Unter Umständen kann eine der beiden Leitungen gemeinsam benutzt werden, wie es in Fig. 60 gezeichnet ist.

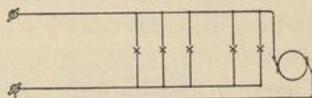
**78. Sorgfalt in der Ausführung der Anlage.** Alle Berechnungen werden natürlich wertlos, wenn man nicht sicher ist, dass die Ausführung dem berechneten Projekte entspricht. Dass

eine vollständige Uebereinstimmung zwischen Projekt und Ausführung nicht leicht zu erzielen ist, ist schon oben in § 70 erwähnt, und es muss dem Monteur ein gewisser Spielraum gewährt werden, innerhalb dessen er Aenderungen selbständig vornehmen darf. Um so grösser sind die Ansprüche, die man an die Zuverlässigkeit des Monteurs stellen muss.

Dass die richtigen Querschnitte verwendet sind, lässt sich noch leicht kontrollieren, schwieriger ist es die Verbindungsstellen auf ihre Güte zu untersuchen; und auf diese muss ganz besondere Sorgfalt verwendet werden, denn jeder Uebergangswiderstand ist gleichbedeutend mit einer Verlängerung der Leitung, also auch einer Vergrösserung des Spannungsverlustes und ist daher auch aus diesem Grunde — nicht nur wegen der Gefahr einer übermässigen Erwärmung der Verbindungsstelle — unbedingt zu vermeiden.

Auch die Besorgnis, dass die Anlage nicht sorgfältig ausgeführt werden könnte, kann unter Umständen das Projekt beeinflussen, z. B. in der Weise, dass man — wie es oben in § 72 aus anderen Gründen geschehen war — die Zahl der zu verwendenden Drahtsorten möglichst beschränkt.

Fig. 60.



### III. Theorie der geschlossenen Leitungen.

#### Grundlagen.

Der geschlossene einfache Leitungsstrang.

**79. Erklärung an einem Beispiele.** Es sei ein Gebäudekomplex, etwa die Gebäude einer Fabrikanlage, wie in Fig. 61, gegeben; nach allen Gebäuden soll der elektrische Strom vom Maschinenhaus aus geleitet werden. Die gesamte Leitungsverzweigung wird in diesem Falle in einem Hauptleitungsstrange bestehen, der die Gebäude I bis V mit dem Maschinenhaus verbindet, und aus den Leitungsverzweigungen, die von diesem Hauptstrange, für jedes Gebäude an einer oder mehreren Stellen abzweigend, den Strom innerhalb der einzelnen Gebäude verteilen sollen.