

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Die elektrischen Gleichstromleitungen mit Rücksicht auf ihre Elastizität

Teichmüller, Joachim

Stuttgart, 1898

IV. Besondere Berücksichtigung der Verhältnisse in der Praxis

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

Kosten nicht mehr in Betracht, und es bleiben nur noch die Anlagekosten zu vergleichen. Von diesen aber sind wiederum die Kosten des Verteilungsnetzes auszuschneiden, denn diese sind durch die Forderung vollkommener Elastizität und durch die gegebene Ausdehnung des Netzes bestimmt. Es bleibt also schliesslich nur übrig, den Ort für die Zentrale so zu bestimmen, dass die Anlagekosten der Speiseleitungen möglichst gering werden.

Diese Kosten sind bei gegebener Zahl n der Speisepunkte allein abhängig von der Länge und dem Querschnitt der Leitungen und zwar nach dem Gesetze

$$k = \sum_1^n k_\nu = \sum_1^n (a + b q_\nu) l_\nu + n c \dots \dots (104)$$

vergl. Formel (89). Hierin ist $q_\nu = \frac{\mathfrak{J}_\nu l_\nu}{\epsilon} \rho$, also ist

$$k = \sum_1^n \left(a l_\nu + b \frac{\mathfrak{J}_\nu l_\nu^2}{\epsilon} \rho \right) + n c \dots \dots \dots (105)$$

Der Ort der Zentrale ist also vor allen Dingen so zu wählen, dass die Längen der Speiseleitungen möglichst klein werden, da diese im Quadrate erscheinen; es wird also besonders eine einseitige Lage der Zentrale im Verteilungsgebiete zu vermeiden und eine Lage im Zentrum desselben anzustreben sein, was auch ohne Rechnung hätte gesagt werden können. Ausserdem lehrt die Formel, dass diejenigen Speiseleitungen am kürzesten sein sollen, die den stärksten Strom \mathfrak{J}_ν zu leiten haben. Die Zentrale ist also möglichst in die Nähe der am stärksten belasteten Speisepunkte zu legen.

Die Rechnung weiter zu verfolgen, hat keinen praktischen Zweck; man muss sich in einem gegebenen Falle vielmehr damit begnügen, durch Proberechnungen nach Formel (105) den Ort der Zentrale zu bestimmen, für den der Wert k am kleinsten wird.

IV. Besondere Berücksichtigung der Verhältnisse in der Praxis.

114. Die angestellten theoretischen Untersuchungen haben uns in den Stand gesetzt, jetzt auch an grössere Projekte, vor allem auch an das Projekt einer Zentralanlage für eine Stadt heranzutreten, bei der die gesamte Leitungsanlage sich nach der in § 100 geschilderten Weise aus den Speiseleitungen, dem Verteilungsnetze und den Leitungen der Hausinstallationen zusammensetzt. Wie

die bei der Behandlung der offenen Leitungen theoretisch abgeleiteten Berechnungsmethoden für die praktische Anwendung erst noch besonders zubereitet werden mussten, so bedarf es auch jetzt wieder besonderer Ueberlegungen, um das Besprochene für den praktischen Gebrauch handlich zu machen. Das in den Paragraphen 69 bis 78 Gesagte gilt der Hauptsache nach auch jetzt noch; es treten zu diesem aber neue Erwägungen hinzu, bei denen die Verhältnisse, welche beim Projektieren von Stadtzentralen vorliegen, besonders ins Auge gefasst werden sollen.

Der Grundgedanke und das Ziel dieser Erwägungen ist, dass bei einer bestimmten geforderten Leistungsfähigkeit ein durchaus betriebssicheres Netz von möglichst hoher oder bestimmter Elastizität mit möglichst geringen Kosten geliefert werden soll. Diese Kosten bilden einen beträchtlichen Teil der Gesamtkosten einer Zentralstation; sie betragen selten weniger als ein Fünftel und nähern sich oft einem Drittel der Gesamtanlage (mit Ausschluss der Hausinstallationen). Hieraus geht hervor, dass es sehr wohl nötig ist, sorgfältig alle Ueberlegungen anzustellen, die dazu führen können, das beste Netz zu erhalten, d. h. ein Netz, das bei gleicher Leistungsfähigkeit, gleicher Betriebssicherheit und gleicher Elastizität möglichst billig ist.

115. Das Entwerfen eines Leitungsnetzes. Während das Entwerfen des Leitungsplanes bei Anlagen mit einfachen Leitungsverzweigungen keinerlei Schwierigkeiten bereiten konnte, denn die Lage der Leitungen war durch die Lage der Verbrauchsstellen und der Stromquelle fast genau bestimmt, lässt dieselbe Aufgabe bei Leitungsnetzen eine grosse Anzahl von Lösungen zu, und die Güte eines Leitungsnetzes hängt sehr wesentlich davon ab, welche von diesen Möglichkeiten gewählt wird. Zwar ist der erste Teil der Aufgabe, nämlich der, die Lage der Verteilungsleitungen zu bestimmen, fast ebenso einfach wie früher: In den Plan des zu versorgenden Gebietes werden alle Konsumstellen ihrer Lage, Grösse und Art nach (ob der Strom beleuchten oder mechanische Arbeit leisten soll) eingetragen und mit einander durch Leitungen so verbunden, dass ein Netz entsteht, dessen Knotenpunkte an den Strassenkreuzungen liegen. Es soll zunächst angenommen werden, dass die genannten Grundlagen genau gegeben seien, wie es z. B. der Fall ist, wenn Konkurrenzprojekte auszuarbeiten sind, die später gegeneinander abgewogen werden sollen und deshalb auf gleicher Grundlage aufgestellt werden müssen.

Man vermeidet bei der Einzeichnung der Leitungen offene Leitungsstränge, schliesst sie vielmehr nach Möglichkeit zu-

sammen, wodurch mehrere Vorteile erreicht werden: Erstens wird hierdurch die Elastizität der Leitungsanlage erhöht (vergl. § 84), und zwar nicht nur für den Fall gleicher Spannung an allen Speisepunkten, sondern vor allen Dingen für den Fall, dass ein Ausgleich zwischen den Speisepunkten erforderlich wird (vergl. § 102). Zweitens ist die ununterbrochene Stromzufuhr zu jeder Verbrauchsstelle mehr gesichert, wenn der Strom auf zwei oder mehr Wegen dahin gelangen kann, und endlich ist es mit Rücksicht auf eine Erweiterung der Anlage nötig, den späteren Anschluss von Hausinstallationen dadurch zu erleichtern, dass man von vornherein die Strassen ihrer ganzen Länge nach mit Leitungen belegt, wenigstens diejenigen Strecken zwischen je zwei Strassenkreuzungen, in denen überhaupt ein Anschluss erwartet werden kann.

In den Strassen mit vielen Anschlüssen werden die Leitungen an beiden Häuserfronten unter den Fussteigen verlegt, sobald — was durch eine Stichrechnung leicht klargestellt wird — diese Anordnung billiger wird, als wenn die Hausanschlussleitungen von einer einzigen Leitung nach beiden Seiten abgezweigt werden.

Die Schwierigkeit der Aufgabe beginnt nun mit dem zweiten Teil, wo es sich darum handelt, die Lage der Speisepunkte festzustellen.

Eine Grundlage hierfür bieten Berechnungen, die nach § 111 unter Annahme verschiedener Belastungsdichten und der andern nötigen Zahlen angestellt werden können. Es ist aber selbstverständlich, dass man die Speisepunkte in der Regel nur an Strassenkreuzungen legen wird, denn hier müssen so wie so Kabelkästen aufgestellt werden, in denen die von verschiedenen Seiten kommenden Kabel mit einander verbunden und durch Bleisicherungen geschützt werden, und von diesen Punkten aus vollzieht sich die Verteilung des Stromes nach allen Seiten am leichtesten. Die hierdurch eintretende grosse Beschränkung in der Zahl der für die Anlage von Speisepunkten etwa in Frage kommenden Orte erleichtert die Aufgabe beträchtlich.

Der Versuchung, die Speisepunkte möglichst unmittelbar an die grossen Konsumstellen zu legen, um hierdurch die Verteilungsleitungen möglichst billig zu machen, wird man leicht widerstehen, wenn man sich vergegenwärtigt, dass der Ausgleich im Netze hierdurch sehr leicht leidet (vergl. § 104), und ausserdem berücksichtigt, dass die Kosten der Speiseleitungen die der Verteilungsleitungen meistens, in grösseren Netzen wenigstens, erheblich zu übersteigen pflegen. Es ist im Interesse des Ausgleichs vielmehr ratsam, die

Punkte mit grossem und vor allen Dingen die mit stark wechselndem Verbräuche, wie Theater, möglichst mitten zwischen viele Speisepunkte zu legen.

Als praktische Grenzen für die Entfernung der Speisepunkte können ungefähr die Zahlen 150 bis 250 m, die verlegten Netzen entnommen sind, angenommen werden; die kleineren gelten für das Verbrauchszentrum, die grösseren mehr für die weniger stark belasteten Gebiete, wo sie aber auch noch erheblich überschritten werden können. Bei Speisepunkten, die durch Sammelleitungen vereinigt sind, kann die Entfernung noch etwas kürzer werden. Diese Zahlen bestätigen mit genügender Annäherung die aus den theoretischen Formeln abgeleiteten. Aus diesen Formeln soll noch gelernt werden, dass die Entfernungen auch bei gleicher spezifischer Belastung um so grösser sein sollen, je weiter die Punkte von der Zentrale entfernt sind, und ferner wiederum, dass die Entfernungen kleiner sein müssen in Kabelanlagen, in denen der Koeffizient a gross ist, als in Anlagen mit oberirdischen Leitungen, in denen a etwa nur den zwanzigsten Teil so gross ist. Der Koeffizient b ist allerdings gleichzeitig von etwa 0,029 auf 0,013 gesunken, doch ist sein Einfluss nicht so gross wie der von a .

Die nach diesen Grundsätzen bestimmte Lage der Speisepunkte ist als eine vorläufige anzusehen, die noch mehrfach geändert werden kann und muss, wenn sich dies während der späteren Berechnungen als wünschenswert oder notwendig herausstellt.

116. Die Berechnung der Verteilungsleitungen. Nach Festlegung der Speisepunkte stehen wir vor dem Probleme der Leitungsberechnung, das wir in § 96 verlassen hatten, ohne eine befriedigende Lösung dafür gefunden zu haben. Die Lösung konnte nicht befriedigen, denn ein danach berechnetes Netz würde zwei Hauptmängel zeigen, es würde aus Leitungen von sehr vielen verschiedenen Querschnitten zusammengesetzt sein, und an den der dortigen Anweisung gemäss hergestellten Schnittstellen würden in der Regel verschiedene Querschnitte zusammenstossen. Diese Nachteile werden durch folgende Methode der Berechnung, die aber auch noch ergänzt werden muss (vergl. § 118), vermieden.

Man betrachtet die nach § 89 definierten Bezirke für sich; nur im ersten Augenblick verlässt man diese Anschauungsweise eine kurze Zeit, um — zu der vorigen zurückkehrend — durch eine schnelle Ueberschlagsrechnung an den aufgeschnittenen Leitungen ein ungefähres Bild über die Grösse der einzelnen Quer-

schnitte zu erhalten. Diesem Bilde gemäss wählt man in dem geschlossenen Bezirke die Verhältnisse der Querschnitte zu einander und bestimmt hiernach die Stromverteilung, die nach § 95 nunmehr eindeutig bestimmt ist. Auch diese Rechnung soll vorläufig nur überschlägig geschehen und kann dadurch vielfach erleichtert werden, dass man Leitungen, die einen geringen Einfluss auf die Stromverteilung ausüben, nach Gutdünken aufschneidet und hierdurch die Bezirke verkleinert.

Die Stromverteilung ergibt nun die wahren Schnittpunkte, zu denen der Strom von beiden Seiten hinfliesst; greift man irgend einen — den einfachsten — Leitungsstrang von einem Speisepunkte bis zu einem Schnittpunkte heraus und berechnet aus den nun bekannten Strömen und dem zugelassenen Spannungsverluste den Querschnitt dieses Stranges, so sind durch die angenommenen Verhältnisse nunmehr alle Querschnitte bestimmt.

Grundsätzlich befolge man bei diesem Verfahren die Regel, dass der Querschnitt von Kreuzungspunkt zu Kreuzungspunkt derselbe sei; diejenigen Verteilungsleitungen, die als Ausgleichleitungen wirken sollen, halte man womöglich von Speisepunkt zu Speisepunkt gleich stark. Ausserdem suche man mit möglichst wenig verschiedenen Querschnitten auszukommen; fünf bis acht Querschnitte, die man so weit als möglich nach der vom Verbands deutscher Elektrotechniker angegebenen Skala (vergl. Seite 24) auswählt, sollten unter allen Umständen genügen. Bei unterirdischen Anlagen sollen Querschnitte von über 500 mm^2 möglichst, von über 1000 mm^2 aber unbedingt vermieden werden. Kabel von diesen Querschnitten werden so steif, dass sie nicht mehr auf einen Haspel aufgewickelt werden können. Führt die Berechnung zu so starken Querschnitten, so ist zuerst zu überlegen, ob es nicht das Beste ist, die Speisepunkte näher zusammenzulegen. Kabel von unter 35 mm^2 Querschnitt werden nicht gern mehr verlegt, ausnahmsweise kommen noch Querschnitte von 25 mm^2 vor.

Ist das Verteilungsnetz auf diese Weise unter Annahme derselben Spannung an allen Speiseleitungen berechnet, so ist die genauere Stromverteilung nochmals zu ermitteln, und hierauf durch Rechnungen nach § 98 zu prüfen, ob die Stromdichte in keinem Querschnitte zu hoch wird. Schliesslich ist die ermittelte Stromverteilung, die übrigens nicht so genau festgestellt zu werden braucht, als es in den oben angeführten Beispielen geschehen ist, samt den maximalen Spannungsverlusten in einen besonderen Plan einzutragen; hieraus ergeben sich dann die Belastungen der Speisepunkte.

117. Bestimmung der Lage der Zentrale und Berechnung der Speiseleitungen. Die zuletzt ermittelten Belastungen der Speisepunkte bilden die notwendige Grundlage sowohl für die Bestimmung der Zentrale, als auch für die Berechnung der Speiseleitungen.

Als Bauplatz für die Zentrale können in der Regel nur einige wenige Plätze zur Wahl gestellt werden, die gerade verkäuflich sind und sich ihrer Grösse und Umgebung nach zur Errichtung einer solchen Anlage eignen. Unter diesen Plätzen ist nach § 114 der auszuwählen, für den die Kosten der Speiseleitungen am geringsten werden, und das wird im allgemeinen der Platz sein, der dem dichtesten Stromverbrauche, also dem belebtesten und verkehrsreichsten Stadtbezirke am nächsten liegt. Hier pflegen aber die Bauplätze am teuersten zu sein, so dass es sehr leicht möglich ist, dass die Gesamtanlage trotz des teureren Leitungsnetzes bei Wahl eines anderen Platzes billiger wird. Auch die Frage, ob eine bequeme Kohlenzufuhr und Wasserbeschaffung möglich ist, ist zu berücksichtigen. Die zur Bestimmung des Ortes für die Zentrale nötigen Berechnungen der Speiseleitungen können unter Zugrundelegung eines Spannungsverlustes ausgeführt werden, der nur ungefähr dem schliesslich zu wählenden entspricht, denn es handelt sich nur um Feststellung relativer Werte. Auch die Lage der Speiseleitungen kann und braucht nur ungefähr festgelegt zu werden. Erst bei der jetzt vorzunehmenden genauen Berechnung der Speiseleitungen müssen in Betreff beider Unterlagen bestimmte Abmachungen getroffen werden.

Zunächst sind, am besten auf einem besonderen Plan, auf dem nur die Speisepunkte mit eingeschriebenen Belastungen und die Zentrale angegeben ist, die Speiseleitungen einzuzichnen. Natürlich wird man mit diesen Leitungen auf dem kürzesten Wege zu den Speisepunkten zu gelangen suchen. Leitungen, die auf längere Strecken nebeneinander herlaufen, um sich schliesslich in einzelne Leitungen zu trennen, die in ihrer ganzen Länge nicht sehr verschieden von einander sind, schliesst man — am besten paarweise oder auch zu dreien — zu Sammelleitungen zusammen.

Ueber die jetzt noch zur Berechnung fehlende Grösse des Spannungsverlustes ϵ_s lassen sich bestimmte Angaben nicht machen, wie schon oben in § 110 auseinandergesetzt ist. Als mittlerer Wert hat sich etwa ein Verlust von 10 bis 12 % herausgestellt, der aber in der Regel nicht überschritten werden sollte. Ueberschreitungen kommen bis ungefähr 15 % vor, während der Betrag in anderen Fällen bis auf etwa 6 % und weniger heruntergeht. Die grossen Zahlen dürfen dann eher zugelassen werden, wenn

die Speiseströme sehr stark sind, also überhaupt in stark belasteten Netzen, denn in solchen Fällen sind die Schalteinheiten (vergl. § 75), also die Grössen der Belastungsschwankungen relativ zu den Speiseströmen natürlich kleiner, als wenn die Speiseströme selbst klein sind; die praktisch vorkommenden Spannungsschwankungen werden also im ersten Falle bei gleichem ϵ_s im allgemeinen kleiner, oder es darf umgekehrt ein grösserer Verlust ϵ_s zugelassen werden, wenn man dieselbe Elastizität verlangt. Die Teilung des angenommenen Spannungsverlustes auf die gemeinsame Sammelleitung und die Einzelleitungen geschieht, wie es in § 109 durchgeführt ist, am besten nach der Forderung geringsten Kupferverbrauches.

Werden die Speiseleitungen nach diesen Festsetzungen berechnet, so kann es vorkommen, dass in vielen kurzen Leitungen die zulässige Stromdichte überschritten wird; man nimmt dann den Spannungsverlust kleiner an und berechnet die Leitungen von neuem. Kommt es andererseits vor, dass viele Leitungen zu fernen Speisepunkten übermässig stark werden, so muss der Spannungsverlust ϵ_s vergrössert und die hierdurch verminderte Elastizität durch Verstärkung der Ausgleichleitungen später wieder erhöht werden. Ist die Stromdichte nur in einer oder einigen Speiseleitungen zu hoch, so ist nach § 97 für diese der Querschnitt mit Rücksicht auf Erwärmung zu bestimmen und der hierdurch zu klein gewordene Spannungsverlust durch einen in der Zentrale dauernd in diese Leitung einzuschaltenden Vorschaltwiderstand auf den normalen Betrag ϵ_s zu ergänzen. Speiseleitungen, deren Ströme starken Schwankungen unterworfen sind, kann man an regulierbare Widerstände anschliessen, doch sind solche Widerstände nicht beliebt, da automatische Regulierungen nicht zuverlässig sind und die Regulierung von Hand viel Bedienung erfordert.

Nicht selten dagegen wendet man, wenn die Zentralen mit Akkumulatorenbatterien ausgestattet werden sollen, gruppenweise Regulierung durch Zellschalter an. Sämtliche Speiseleitungen werden zu diesem Zwecke in einige, etwa zwei bis vier, Gruppen eingeteilt, und jede Gruppe an einen besonderen Entladeschlitten des Zellschalters angeschlossen, so dass die Speisepunktspannungen dieser Gruppen unabhängig von einander reguliert werden können. In diesem Falle dürfen für die einzelnen Gruppen bei der Berechnung der Speiseleitungen verschiedene Spannungsverluste angenommen werden, und der Ausgleich im Netze darf zwischen den zu verschiedenen Gruppen gehörigen Speisepunkten verhältnismässig gering sein.

Die durch die Berechnung für die Speiseleitungen ermittelten Querschnitte müssen mit ziemlicher Genauigkeit innegehalten werden, viel genauer, als es bei den Verteilungsleitungen nötig war, denn andernfalls ist die Bedingung gleicher Spannung an allen Speisepunkten während der maximalen Belastung des Netzes nicht erfüllt.

Bei der Prüfung der Speiseleitungen auf Stromdichte hüte man sich, bis an die Grenzen des Erlaubten heranzugehen, verfolge vielmehr den Grundsatz, dass sich eine Speiseleitung auch dann noch nicht übermässig erwärmen darf, wenn eine Nachbarleitung betriebsunfähig wird.

118. Die Berechnung der Ausgleichleitungen. Das nunmehr in allen Teilen berechnete Netz bedarf jetzt nur noch der Ergänzungen, die durch die Forderung eines guten Ausgleichs nötig werden, soweit diese Forderung nicht schon während der erledigten Berechnungen berücksichtigt wurden.

Nach § 102 benutzt man zu Ausgleichleitungen die kürzesten Verbindungsleitungen zwischen den Speisepunkten. Diese Leitungen denkt man sich zusammen mit den beiden oder den drei zugehörigen Speiseleitungen nach der in den Figuren 94 und 95 gezeichneten Weise vom Netze losgelöst und kontrolliert den Ausgleich in der in § 103 bis § 105 ausführlich geschilderten Weise. Ueber die Neuberechnung auf Ausgleich und die dabei zu Grunde zu legenden Werte ist an derselben Stelle das Erforderliche besprochen. Bei praktischen Berechnungen darf man sich aber noch den Umstand zu nutze machen, dass diejenigen Verteilungsleitungen, die die beiden oder drei betrachteten Speisepunkte auf Umwegen mit einander verbinden, auch etwas zum Ausgleich beitragen. Man kann diese Thatsache in der Rechnung dadurch berücksichtigen, dass man bei der Kontrolle der Verbindungsleitung auf Ausgleich nicht den Querschnitt dieser Leitung, sondern einen etwas grösseren Querschnitt einführt. Ist z. B. die Länge der Verbindungsleitung L_a , die einer andern Verteilungsleitung zwischen denselben Speisepunkten L_b und deren Querschnitt Q_b , wobei $L_b > L_a$, so darf der Querschnitt der ersten Leitung Q_a um einen Querschnitt Q'_b vergrössert gedacht werden, den die zweite Leitung besitzen würde, wenn sie bei gleichem Widerstande R_b die Länge L_a besässe. Es ist also

$$Q'_b = \frac{L_a}{L_b} \cdot Q_b,$$

und in die Rechnung auf Ausgleich darf an Stelle des Querschnittes Q_a der Querschnitt $Q_a + Q'_b$ eingeführt werden.

Muss wegen des Ausgleichs die Verbindungsleitung von zwei Speisepunkten, z. B. die Leitung $Vfe II$ in Fig. 86, verstärkt werden, so steigt natürlich die Spannung an den Punkten f und e , von denen andere Leitungen, wie fg , eg u. a., abzweigt sind, und der Querschnitt dieser letzteren kann deshalb verringert werden. Dieser Umstand ist geeignet, die Feststellung der Querschnittsverhältnisse, die nach § 116 der Netzberechnung vorausgehen muss, zu erleichtern; denn man kann nach dieser Erkenntnis die direktesten Verbindungsleitungen der Speisepunkte als das Gerippe des Leitungsnetzes ansehen, das besonders starke Querschnitte enthält und das bei der ersten Ueberschlagsrechnung für sich berechnet werden kann. Auf die abzweigenden Leitungen ist dann der noch zur Verfügung stehende Spannungsverlust zu verteilen.

Durch diese Anschauungsweise ist also eine Grundlage für die Verteilung des Spannungsverlustes auf die einzelnen Verteilungsleitungen und eine bequeme Unterlage für die Wahl der Querschnittsverhältnisse gewonnen.

119. Der Belastungsfaktor. Alle Berechnungen sind bisher unter Annahme der Leitungsströme ausgeführt worden, die sich aus den eingeschriebenen maximalen Belastungen ergeben. Es ist nun zweifellos, dass das Netz niemals diesen ganzen Effekt, der den angeschlossenen Nutzwiderständen entspricht, wird zu leisten haben. Erfahrungsmässig beträgt die Gesamtleistung in den Tagen und Stunden der grössten Belastung, je nach der Grösse und dem Charakter des Ortes, etwa 50 % bis höchstens 80 % der eingeschriebenen Belastung, und es wird deshalb offenbar niemals der Spannungsverlust eintreten, der den Berechnungen zu Grunde gelegt wurde. Das Netz leistet also thatsächlich mehr als verlangt wurde und ist unnötig teuer.

Man kann diesem Umstande dadurch Rechnung tragen, dass man die berechneten Querschnitte mit der angegebenen Verhältniszahl von 0,5 bis 0,8, dem Belastungsfaktor, multipliziert, oder indem man von vornherein eine geringere Belastung oder einen höheren Spannungsverlust zugrunde legt; einem Belastungsfaktor 0,6 würde z. B. der Spannungsverlust 3,3 % entsprechen, wenn vorher 2 % für zulässig erachtet waren.

Es ist hierbei aber zu berücksichtigen, dass der Belastungsfaktor nicht in allen Punkten des Netzes dieselbe Grösse hat. Dienen z. B. die angeschlossenen Nutzwiderstände in einer Strasse hauptsächlich zur Beleuchtung von Verkaufsläden, so wird der Belastungsfaktor hier sehr gross sein, denn zur Zeit des maximalen Konsums, nämlich in der zweiten Hälfte des Dezember, ist gerade

der Bedarf an Strom für den bezeichneten Zweck sehr gross. Zu gleicher Zeit ist aber ausserdem auch der Spannungsverlust in den Leitungen der Hausinstallationen sehr gross. Diese Thatsachen müssen bei der Berechnung ins Auge gefasst und durch Vergrösserung des Belastungsfaktors oder durch Verminderung des Spannungsverlustes an Stellen von dem geschilderten Charakter berücksichtigt werden.

120. Netzberechnungen ohne genaue Unterlagen. Es ist nicht selten, dass Projekte eingefordert werden, ohne dass genaue Unterlagen für eine Netzberechnung gemacht werden können, oder dass der Charakter des Projektes — es handelt sich vielleicht um ein vorläufiges Projekt, aus dem nur ungefähr die Kosten der beabsichtigten Anlage ermittelt werden sollen — eine Angabe von genauen Zahlen nicht verlangt. In solchen Fällen begnügt man sich mit der Annahme von Werten, die nach praktischen Erfahrungen an ähnlichen, ausgeführten Anlagen für den vorliegenden Fall am wahrscheinlichsten sind. Man pflegt hierbei die Belastung bezogen auf 1 m der Strassenfront anzugeben, die sich in der Regel, je nach dem Charakter der Strasse, ungefähr innerhalb der Grenzen von 20 bis 80 Watt hält. Diese Zahlen haben allerdings nur einen beschränkten Wert, die thatsächliche Belastung kann diese Grenzen sowohl nach unten als nach oben (bis auf etwa 200 Watt) überschreiten*).

Bei solchen Angaben tritt die in § 65 angegebene Berechnungsmethode in Kraft, und zwar in der Weise, dass man nach der Fertigstellung des Netzentwurfes die Verteilungsleitungen jedesmal mitten zwischen zwei Kreuzungspunkten mit einer Stromstärke belastet denkt, die gleich der Hälfte des gesamten Belastungsstromes zwischen diesen Punkten ist; vergl. die Rechnung in § 111.

Die Thatsache, dass das Leitungsnetz für eine Stadtzentrale nach einigen Jahren gewöhnlich erweitert werden muss, muss bei dem Entwurfe des Netzes berücksichtigt werden. Das geschieht in der Regel dadurch, dass man einen ersten und einen zweiten Ausbau der Anlage annimmt und das Netz für den zweiten Ausbau, bei dem auch weniger verkehrsreiche Strassen in das Verteilungsgebiet einbezogen sind, berechnet. Das Netz des ersten Ausbaues bildet dann den Teil des so berechneten Netzes, für den Anschlüsse bereits angemeldet oder in der nächsten Zeit zu erwarten sind.

*) Ueber die Ermittlung der zu erwartenden Belastung eines Netzes macht Oskar v. Miller in seinem Buche über die Versorgung der Städte mit Elektrizität, Darmstadt 1896, nähere Angaben.

121. Die Elastizität der Leitungsnetze. Leitungsnetze besitzen, wie schon in § 102 erwähnt, keine vollkommene Elastizität, da in den Speiseleitungen der Spannungsverlust den hiernach zulässigen Betrag wesentlich zu übersteigen pflegt. Aber auch von den Speisepunkten ab ist die Elastizität nicht gewahrt, denn zu den Verlusten in den Verteilungsleitungen treten die Verluste in den Hausleitungen. Sind beide zu 2% angenommen, so beträgt der maximale Gesamtverlust 4%, und innerhalb dieser Grenzen kann die Spannung an den Nutzwiderständen schwanken, selbst wenn die Spannung an den Speisepunkten dauernd konstant ist.

Dieser verhältnismässig hohe Gesamtverlust hat sich aber praktisch als zulässig erwiesen, und das ist dadurch zu erklären, dass der Gesamtstrom in einer Verteilungsleitung im Verhältnis zu einer Schalteinheit (vergl. § 75) sehr gross ist, so dass die Spannungsschwankungen nur sehr allmählich erfolgen. In den Vorschriften vieler Zentralen ist die maximal zulässige Schalteinheit auf einen bestimmten Betrag, z. B. 50 Amp, festgesetzt.

Weniger zulässig ist der Anschluss von Motoren an ein Leitungsnetz, das vornehmlich der Beleuchtung durch Glühlicht dienen soll, da die Motoren infolge ihres grossen Anlassstromes starke Spannungsschwankungen hervorrufen. Sowenig auch kleine Motoren in dieser Beziehung schaden, besonders wenn durch genügend grosse und vielstufige Anlasswiderstände die Stromänderung beim Anlassen verlangsamt und vermindert wird, sowenig gelingt es andererseits den Einfluss grosser Motoren auf ähnliche Weise vollständig aufzuheben, und in manchem Elektrizitätswerke machen sich die grossen Motoren, die in den letzten Jahren mehr und mehr angeschlossen wurden, sehr störend bemerkbar. Durch die Berechnung der Leitungen den störenden Einfluss der Motoren zu beseitigen, ist unmöglich, denn einerseits würden die Netze hierdurch zu teuer, andererseits hängt der Einfluss zu sehr von der Geschwindigkeit beim Einschalten des Anlasswiderstandes ab, sodass Störungen selbst in einem Netze mit sehr kleinen Verlusten nicht völlig ausgeschlossen sein würden. Vielleicht wird im Laufe der Zeit, wenn das Bedürfnis nach grossen Motoren wächst, die Anlage besonderer Leitungsnetze für die Kraftverteilung erforderlich.

122. Schlussbemerkung. Die Betrachtungen der vorangegangenen Paragraphen lehren, wie die Berechnung eines Leitungsnetzes vielfach darin besteht, durch mancherlei Rechnungen und Umrechnungen zu probieren, auf welche Weise man allen gestellten Bedingungen am besten genügen kann. Der Geübtere wird sich von diesen einzelnen Rechnungen mehr und mehr frei machen und

schon bei dem Entwerfen des Netzes den später zu beachtenden Forderungen Rechnung tragen. Die behandelten Rechenmethoden verlieren für ihn vielfach an praktischem Wert, wenn es sich darum handelt ein Netz vorauszuberechnen, aber erst durch die Betrachtung dieser Methoden konnte der Einblick in die Wirkungsweise eines Leitungsnetzes in seinen einzelnen Teilen und als Ganzes gewonnen werden, der die Befähigung zur freieren Behandlung der Probleme gewährte.

Ein gutes Leitungsnetz gleicht einem Kunstwerk, das um so vollkommener ist, je mehr es der Künstler verstanden hat, alles nebeneinander zu sehen, was der Ungeübte nur langsam voranschreitend erblicken und berücksichtigen konnte.

V. Rechnungen an fertigen Leitungsnetzen.

123. Die Beurteilung projektierter Netze. Zu besonderer Bedeutung gelangen die Rechnungen zur Bestimmung der Stromverteilung*), wenn es sich darum handelt, ein im Projekte fertiges Netz auf seinen Wert zu prüfen, etwa in dem Falle, dass Projekte, die von verschiedenen Firmen auf gleicher Grundlage ausgearbeitet wurden, mit einander verglichen werden sollen. Der technische Wert der Netze ist dann — gleiche Vollkommenheit in der Ausführung vorausgesetzt — wesentlich nach ihrer Elastizität und der Stromdichte in den einzelnen Leitungen zu beurteilen. Die Prüfung auf Elastizität zerfällt in eine Berechnung des Spannungsverlustes unter Annahme gleicher Spannung an den Speisepunkten und eine Prüfung auf Ausgleich unter Zugrundelegung gewisser Schwankungen in der Belastung der Speisepunkte. Beiden Untersuchungen muss die Bestimmung der Stromverteilung vorausgehen. Da nun für die Berechnung der Netze genaue Unterlagen gegeben waren, so ist es jetzt auch am Platze, die Bestimmung der Stromverteilung im Netze genau vorzunehmen, annähernd mit dem

*) Ausser durch Rechnung kann die Stromverteilung auch durch Messung an einem Modell bestimmt werden. Das ganze Leitungsnetz mit den Speiseleitungen wird zu diesem Zwecke durch Widerstände nachgebildet, die ein bestimmtes Vielfache, etwa das Hundertfache der Leitungs- und Nutzwiderstände darstellen. Der Spannungsverlust kann dann mit Hilfe eines Spannungsmessers von hohem Widerstande direkt gemessen werden. Dieses Verfahren wurde in den achtziger Jahren, als die ersten Zentralen gebaut wurden, ziemlich viel angewendet, ist aber mit der Ausbildung der rechnerischen Methoden durch diese verdrängt worden. Eine interessante graphische Methode bringt J. Herzog in der *ETZ* 1893, S. 10.