

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Die elektrischen Gleichstromleitungen mit Rücksicht auf ihre Elastizität

Teichmüller, Joachim

Stuttgart, 1898

III. Die entwickelte Wärme als zu bezahlender Verlust. (Die
Wirtschaftlichkeit der Anlage.)

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

Die Aufgabe ist hiermit bereits gelöst. Fragen wir aber jetzt nach dem Betrage des Effektes, der in der Leitung nutzlos verloren geht, so finden wir

$$J^2 R = 9300 \text{ Watt,}$$

da der Widerstand der Leitung $R = 114,7 \Omega$ ist. Es geht also bedeutend mehr — fast das Zehnfache — verloren als nützlich verwendet wird; 9300 + 990 Watt muss die Maschine liefern, um 990 Watt nützlich abzugeben, der Wirkungsgrad der Leitung ist also

$$\gamma = 0,096,$$

also kleiner als 10%. Der Betrieb des Nutzwiderstandes wird offenbar verhältnismässig sehr teuer; wie aber kann man diese ungünstigen Verhältnisse verbessern? Dass der Effektverlust kleiner wird mit zunehmendem Querschnitt, ist offenbar; es fehlt aber vorläufig noch jeder Massstab, wie weit man den Querschnitt vergrössern soll, denn ein vernachlässigbar kleiner Effektverlust bei sehr grossem Querschnitt würde durch einen so grossen Aufwand von Leitungsmaterial erkauft werden müssen, dass hierdurch der erstrebte Vorteil wieder verloren gehen würde. Es stehen sich also die Kosten der Leitung und die Kosten des Betriebes einander gegenüber, und in dieser reciproken Beziehung finden wir den neuen Massstab für die Bemessung des Leitungsquerschnittes.

III. Die entwickelte Wärme als zu bezahlender Verlust. (Die Wirtschaftlichkeit der Anlage.)

18. Die Thomsonsche Regel. Nachdem wir gesehen haben, dass mit abnehmendem Querschnitte einerseits die Kosten des dauernden Verlustes zunehmen, andererseits aber die Kosten der Leitung abnehmen, können wir uns die Aufgabe stellen, den Querschnitt so zu bemessen, dass die dauernden Kosten möglichst gering werden. Es handelt sich bei den Kosten der Leitung natürlich nicht um die Höhe des anzulegenden Kapitals, sondern um die dauernden durch die Verzinsung dieses Kapitals und durch die Amortisation und Instandhaltung der ausgeführten Anlage erwachsenden Kosten. Diese beiden aus zwei verschiedenen Ursachen entstehenden Kosten sind gegeneinander abzuwägen.

Der Verlust an elektrischer Arbeit, die in den Leitungen während einer bestimmten Zeit T in Wärme umgesetzt wird, ist nach dem Gesetze von Joule ausgedrückt durch

$$\mathfrak{B} = J^2 R T,$$

und zwar in Wattstunden, wenn J in Amp, R in Ohm und T in Stunden gemessen ist, oder es ist zu setzen

$$\mathfrak{B} = J^2 \frac{L}{q} \varrho T$$

da uns die Abhängigkeit des Verlustes vom Querschnitt interessiert. Kostet eine Wattstunde m Mark, so kostet der gesamte Verlust in Mark *)

$$k_v = J^2 \frac{L}{q} \varrho T m \dots \dots \dots (12)$$

Diese Summe stellt die Kosten des Verlustes im Jahre dar, wenn T die Stundenzahl bedeutet, während der der Strom J innerhalb eines Jahres fließt, d. h. also während der die Anlage im vollem Betriebe ist. Es würde z. B. bei 300 Arbeitstagen und täglich zehnstündigem vollem Betriebe $T = 3000$ sein.

Die Kosten einer Leitung lassen sich mit hinreichender Genauigkeit darstellen durch den Ausdruck

$$(a + bQ)L,$$

worin a und b Zahlenwerte bedeuten; sie sind also der Länge der Leitung L , nicht aber dem Querschnitte Q proportional.

Ist die Leitungsanlage mit $p\%$ im Jahre zu verzinsen, in Stand zu halten und zu amortisieren, so sind die hierdurch jährlich erwachsenden Kosten

$$k_z = (a + bQ)Lp \cdot 10^{-2} \dots \dots \dots (13)$$

Die jährlichen Gesamtkosten $k = k_v + k_z$ setzen sich also zusammen aus einem Gliede, das mit zunehmendem Querschnitte kleiner wird, und einem, das in demselben Falle wächst.

Sollen die Gesamtkosten möglichst klein sein, so muss sein

$$\frac{dk}{dq} = 0 = bLp \cdot 10^{-2} - \frac{J^2}{q^2} L \varrho T m$$

oder

$$Q_{min} = 10J \sqrt{\frac{\varrho T m}{bp}} \dots \dots \dots (14)$$

Durch Einsetzung dieses Wertes in die oben angegebenen Ausdrücke ergeben sich die Minimalkosten zu

$$K_{vmin} = \frac{JL}{10} \sqrt{bp \varrho T m} \dots \dots \dots (15)$$

und

$$K_{zmin} = aLp \cdot 10^{-2} + \frac{JL}{10} \sqrt{bp \varrho T m} \dots \dots \dots (16)$$

Und hieraus ergibt sich der Satz:

Wären die Kosten der Längeneinheit einer Leitung nur dem Querschnitt proportional, so würden

*) Querschnitt und Kosten sind durch kleine Buchstaben bezeichnet, um ihre Eigenschaft als Veränderliche in dieser Rechnung hervorzuheben.

bei Anwendung des wirtschaftlich günstigsten Querschnittes die durch Verzinsung und Amortisation erwachsenden Ausgaben gerade so gross sein, wie die den Verlust durch Stromwärme deckenden Ausgaben. Da diese Voraussetzung nicht zutrifft, so sind die erstgenannten Ausgaben grösser als die letztgenannten, und zwar um den Betrag $aLp 10^{-2}$.

Die hiermit gewonnene sogenannte Thomsonsche Regel ist in der Praxis noch nicht ohne weiteres brauchbar; sie bedarf vielmehr noch mehrfacher Veränderungen und Erweiterungen, die aber hier deshalb noch nicht erörtert werden sollen, weil derartige Berechnungen doch nur für sehr umfangreiche Leitungsanlagen angestellt werden, die zuvor noch in anderer Weise behandelt werden müssen. Immerhin ist aus der angestellten Betrachtung zu erkennen, in welcher Weise die Wärmeentwicklung in den Leitungen zu wirtschaftlicher Bedeutung gelangt, und wie dieser Umstand in der Rechnung berücksichtigt werden kann.

19. Praktische Werte der Zahlen a und b . Von den im vorigen Paragraphen benutzten neuen Grössen sollen die Werte für a und b , die später in Beispielen mehrmals benutzt werden, schon hier angegeben werden^{*)}. Die Grösse a stellt im wesentlichen den bei der Herstellung (und Verlegung) der Leitung für ein Meter zu zahlenden Arbeitslohn dar, während b hauptsächlich den Preis des für die Leitung verwendeten Materials, bezogen auf die Längen- und Querschnittseinheit, bezeichnet. Unter Material ist hierbei das Leitermetall, die Isolation, die Bewehrung und der etwaige weitere Leitungsschutz zu verstehen; als Längeneinheit ist das Meter, als Querschnittseinheit das Quadratmillimeter angenommen.

Es geht hieraus hervor, dass die Werte a und b beträchtlich schwanken müssen. Der Arbeitslohn, also der Wert a , muss bei blanken unverlegten Leitungen am geringsten sein, er kann in diesem Falle sogar als verschwindend klein im Vergleich zum Werte b angesehen werden; den grössten Wert wird er erreichen, wenn die Isolierung, Bewehrung und Verlegungsart der Leitung am kompliziertesten sind. Je grösser die Zahl der gemeinsam verlegten Leitungen ist, um so kleiner ist der Arbeitslohn, der für die Verlegung einer Leitung aufzuwenden ist, a nimmt dann also ab. Der Wert b kann sich lange nicht in dem Grade ändern

^{*)} Vergl. Hochenegg: Anordnung und Bemessung elektrischer Leitungen, Berlin und München. Die folgende Tabelle ist diesem Werke entnommen, doch sind die Zahlen auf den Preis von 50 £ für die Tonne Rohkupfer, der dem gegenwärtigen Stande besser entspricht, umgerechnet.

wie a , da der Preis des Kupfers allein schon in allen Fällen einen beträchtlichen Teil des Preises des gesamten Materials ausmacht. Sehr teure Isolationsmaterialien kommen bei den Leitungen, bei denen Rechnungen mit den Grössen a und b angestellt werden, nicht in Frage. Die Zahlenwerte von a und b sind in der folgenden Tabelle für die praktisch wichtigsten Verhältnisse zusammengestellt.

Tabelle der Werte a und b in dem Ausdruck $a + bQ$ in Mark bei einem Preise von 50 \mathcal{L} für die Tonne Rohkupfer:

	a	b
1) Blanke Leitung, unverlegt	0,0	0,013
2) Blanke Leitung, verlegt, und zwar		
zu 2 Drähten auf einem Gestänge	0,23	0,013
zu 4 " " " " " "	0,17	0,013
zu 8 " " " " " "	0,13	0,013
3) Kabel, unverlegt	1,7	0,029
4) Kabel, verlegt, und zwar		
zu 2 Kabeln in einem Graben	4,0	0,029
zu 3 " " " " " "	3,4	0,029
zu 5 " " " " " "	3,0	0,029
zu 7 " " " " " "	2,7	0,029

Die blanken Leitungen sind auf Doppellocken an Telegraphenstangen verlegt angenommen. Unter Kabel sind die am meisten gebräuchlichen Kabel mit Juteisolation, Bleimantel und Eisenbandbewehrung zu verstehen, die in einer Weise verlegt sind, wie es in Deutschland in den Städten fast allgemein üblich ist. Die Kosten für die Herstellung der Verbindungen und für die Prüfung der verlegten Kabel sind in den Preisen mit inbegriffen.