

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 69/70 (1917)  
**Heft:** 25

## **Inhaltsverzeichnis**

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 29.01.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

INHALT: Ueber die Verwendbarkeit eiserner Fahrleitungen für Wechselstrombahnen. — Wettbewerb für ein Pfarrhaus in Davos. — Vom Geist der Gotik. — Geologische und hydrologische Beobachtungen über den Mont d'Or-Tunnel und dessen anschließende Gebiete. — Die Geschichte des Transformators. — Miscellanea: Untersuchungen über den Lichtbogen unter Druck. Schweizerischer Bundesrat. Härten von

Aluminiumbronze. Ausbau der Wasserkräfte auf Neu-Seeland. Die Friedhofkunst-Ausstellung. Ueber die Vermeidung von Schwitzwasser in Gebäuden. Ein Héroult-Elektrostahlöfen für 20 t Einsatz. — Nekrologie: O. Bloch. — Preisausschreiben des Vereins deutscher Eisenbahn-Verwaltungen. — Korrespondenz. — Literatur. — Vereinsnachrichten: G. e. P.: Stellenvermittlung.

Band 70. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 25.

### Ueber die Verwendbarkeit eiserner Fahrleitungen für Wechselstrombahnen.

Von Prof. Dr. W. Kummer, Ingenieur, Zürich.

Nachdem bekannt geworden ist, dass bei der bevorstehenden Einrichtung des elektrischen Betriebs auf wichtigeren Bahnstrecken des schweizerischen Eisenbahnnetzes möglicherweise eiserne Fahrleitungen zur Verwendung kommen dürften<sup>1)</sup>, erscheint es angezeigt, auf die besondern Verhältnisse hinzuweisen, die in manchen Fällen die Verwendung solcher Leitungen erheblich erschweren. Seit 1900 besteht bereits eine grössere Zahl von Veröffentlichungen über Rechnungen und Erfahrungen an eisernen Leitungen im Dienste der allgemeinen Kraftübertragung mit Wechselstrom; jedoch gibt es, soweit uns bekannt ist, noch keine Literatur über Rechnungen und Erfahrungen an eisernen Fahrdrähten für Wechselstrombahnen. Es soll deshalb versucht werden, auf Grund der Erfahrungen an eisernen Freileitungen der gewöhnlichen Wechselstrom-Übertragung die Verwendbarkeit eiserner Fahrleitungen für Wechselstrombahnen zu prüfen. Der Schwerpunkt einer solchen Betrachtung liegt offenbar in der Prüfung der Verhältnisse des effektiven und des induktiven Spannungsabfalls in solchen Leitungen.

Der Bahnbetrieb mittels einphasigem und dreiphasigem Wechselstrom hat allerdings ähnliche Verhältnisse bereits in der elektrischen Schienenrückleitung kennen gelehrt. Es besteht aber die Gefahr, dass gerade die bisherigen, verhältnismässig günstigen Erfahrungen mit der Schienenrückleitung zu einer Unterschätzung der Schwierigkeiten bei eisernen Fahrleitungen führen dürften. Eine einfache Extrapolation ist deswegen unstatthaft, weil einerseits die in der Schienenrückleitung benutzte Stromdichte rund 20 mal kleiner ist, als sie jedenfalls in den Fahrdrähten mindestens vorhanden sein wird, und weil andererseits die allenfalls zu erwartenden Betriebschwierigkeiten eiserner Fahrdrähte gerade bei solchen Stromdichten auftreten werden, wie sie im praktischen Betrieb nicht vermieden werden können. Dabei handelt es sich besonders um den effektiven Widerstand  $R$  eiserner Leitungen, der den Ohmschen oder Gleichstrom-Widerstand  $R_0$  recht erheblich übertrifft, wie an Hand des

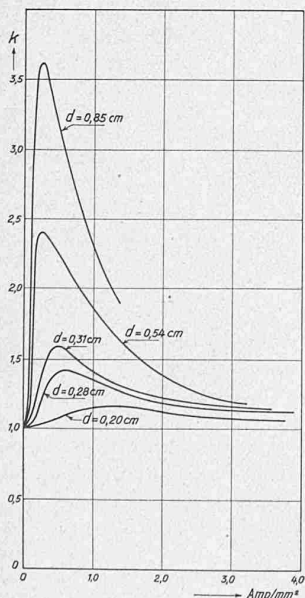


Abb. 1. Verhältnis  $k$  des Wechselstrom-Widerstandes zum Gleichstrom-Widerstand für massive Eisendrähte bei 50 Per (Versuche an Schleifen von 60 m Länge 92 m Breite, nach ETZ 1905, Seite 45).

aus den in Abbildung 1 veranschaulichten Kurven erkenntlich ist. Diese Abbildung, die bei 50 Perioden die Werte  $k$  für massive Eisendrähte verschiedener Dicke darstellt, ist aus einer Reihe analoger Versuchsergebnisse herausgenommen, die vom „Verband Deutscher Elektrotechniker“ 1914 und 1915<sup>2)</sup> mit Rücksicht auf die seit Juli 1914 gesteigerte Anwendung eiserner Freileitungen bekannt ge-

geben wurden, und die, soweit massive Leiter in Betracht kommen, durchaus übereinstimmende Ergebnisse zeitigen. Es mag daran erinnert werden, dass die Widerstandsdifferenz  $R - R_0$  in der Hauptsache durch die sogenannte Stromverdrängung oder Hautwirkung (Skinneffekt), bzw. durch die ungleichmässige Stromverteilung in von Wechselströmen durchflossenen Leitern verursacht ist, und bei magnetisierbaren, also besonders bei eisernen Leitern, die erheblichen Zahlenwerte bedingt, die aus Abbildung 1 hervorgehen; ein kleinerer Anteil der Widerstandsdifferenz  $R - R_0$  eiserner Leiter ist auf Verluste durch Ummagnetisierung (Hysteresis-Verluste) zurückzuführen. Indem wir die Maxima der Kurven in Abbildung 1 herausgreifen und die bezüglichen Werte  $k_{max}$  über den zugehörigen Drahtdicken  $d$  auftragen, erhalten wir Abbildung 2, die den linearen Zusammenhang von  $k_{max}$  und  $d$  zum Ausdruck bringt, den wir auch durch viele andere Kurvenbilder nach Art von Abbildung 1 bestätigt finden. Der aus Abbildung 2 hervorgehende lineare Zusammenhang von  $k_{max}$  und  $d$  gilt auch für beliebige  $k$  und  $d$  bei gleichen magnetischen Zuständen in den Drähten und ist mit der Berechnung der Hautwirkung a priori, die zuerst durch Lord Kelvin gegeben wurde, angenähert im Einklang. An Stelle der strengen Lösung, die in Reihen oder in Bessel'schen Funktionen dargestellt werden müsste, benutzen wir die nachstehend mitgeteilten Näherungsformeln zur praktischen Verwertung. Wird die magnetische Permeabilität des Eisens mit  $\mu$ , die Periodenzahl des Wechselstroms mit  $\nu$ , der spezifische Widerstand des Eisens (in CGS-Einheiten) mit  $\rho$  bezeichnet, so gilt als charakteristisch die Grösse:

$$x = \frac{\pi \cdot d}{2} \cdot \sqrt{\frac{\mu \cdot \nu}{\rho}} \quad (2)$$

Bei Freileitungen wird für diese Charakteristik im Gebiete der praktisch vorkommenden Drahtdicken und Periodenzahlen stets gelten:

$$x > \sqrt{2}$$

Dann kann die von J. Zenneck<sup>1)</sup> mitgeteilte Näherungsformel:

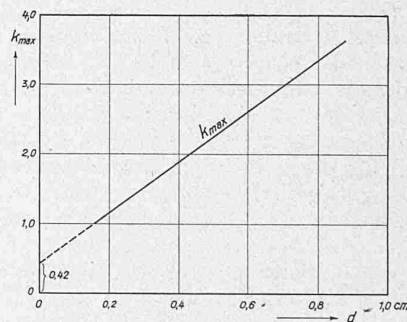


Abb. 2. Darstellung der Werte  $k_{max}$  aus Abb. 1 über der Drahtdicke  $d$ .

$$k = \frac{1}{4} + x \quad (3)$$

an Stelle der strengen Lösung mittels Bessel'scher Funktionen benutzt werden. Schreibt man diese Näherungsformel explicite aus, so lautet sie

$$k = \frac{1}{4} + \frac{\pi \cdot d}{2} \cdot \sqrt{\frac{\mu \cdot \nu}{\rho}}$$

sie lässt den linearen Zusammenhang von  $k$  mit  $d$  erkennen, wie wir ihn schon in Abbildung 2 für die Maxima der Werte  $k$  der Kurven der Abbildung 1 feststellten. Für Abbildung 2 lautet die Gleichung der Geraden, wie sie allgemein durch Formel (3) gegeben ist, numerisch:

$$k_{max} = 0,42 + 3,7 \cdot d$$

Statt der Zahl 0,25 in Gleichung (3) haben wir hier die Zahl 0,42, die jene namentlich wegen des Hysteresiseffektes übertrifft, da durch Gleichung (3) natürlich nur der reine Skinneffekt ausgedrückt wird. Mit Hülfe der Beziehung:

$$3,7 \cdot d = \frac{\pi \cdot d}{2} \cdot \sqrt{\frac{\mu \cdot \nu}{\rho}}$$

<sup>1)</sup> Vergl. die Notiz auf S. 259 dieses Bandes (1. Dez. 1917). *Red.*  
<sup>2)</sup> E. T. Z. 1914, Seite 1109, und 1915, Seite 44.

<sup>1)</sup> Ann. d. Phys., Bd. 11, Seite 1135 (1903).