

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 73/74 (1919)  
**Heft:** 19

## **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:** 23.12.2024

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

INHALT: Unterirdische und oberirdische Wechselstrom-Höchstleistungskabel. — Wettbewerb für eine Gartenstadt der Firma Piccard, Pictet & Cie. in Aire bei Genf. — Die schweizerischen Eisenbahnen im Jahre 1918. — Chemisch-physikalischer Kurs für Gasingenieure an der Eidg. Technischen Hochschule. — † Prof. Dr. Wilhelm Oechsl. — Schweizerische wirtschaftliche Studienreise nach Nordamerika. — Miscellanea: Elektrifizierung der Schweiz. Bundesbahnen. Neubau der Petribrücke in Rostock.

Ausstellung der Bebauungspläne für Zürich, Biel und Le Châtelard-Montreux in Lausanne. Bebauungsplan der Stadt Genf. Eidgen. Kommission für Mass und Gewicht. Bernische Kraftwerke. — Nekrologie: H. Reese. A. Hodler. — Konkurrenzen: Spital in Siders. Bebauungsplan der Gemeinde Le Châtelard-Montreux. Erweiterung der Kantonalen Krankenanstalt in Aarau. Neubau der Schweizerischen Bankgesellschaft in Lausanne. — Literatur. — Vereinsnachrichten: G. e. P. — Tafel 19: Prof. Dr. Wilhelm Oechsl.

Band 73.

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

Nr. 19.

### Unterirdische und oberirdische Wechselstrom-Höchstleistungskabel.

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

Allmählich scheint die Voreingenommenheit der Starkstrom-Elektrotechniker für die zeitweise allein geschätzte Verlegungsart elektrischer Leitungen als Freileitungen ins Wanken zu kommen und einer gerechteren Beurteilung auch der unterirdisch verlegten Kabelanlagen Platz zu machen. Dass solche bis zu denselben Höchst-Spannungen und -Leistungen, wie die Freileitungen, technisch zuverlässig ausgebildet werden können, scheint kaum bekannt zu sein, obwohl die massgebenden technischen Daten durch Dr. Paul Humann schon vor vier Jahren<sup>1)</sup> veröffentlicht wurden; im vorliegenden Aufsatz wollen wir uns namentlich auch mit diesen Daten näher beschäftigen, nachdem vor kurzem das Interesse für Kabel-Fernübertragungen übrigens auch anderweitig<sup>2)</sup> geweckt worden ist. Sowohl bei unterirdischen, als auch bei oberirdischen Fernleitungen für Betrieb mit Hochspannung spielt die Erscheinung der elektrischen Kapazität eine bedeutsame Rolle, die besonders im Falle des unterirdischen Wechselstrom-Kabels unangenehm empfunden wird; dafür entbehrt dann die unterirdische Kabelanlage des Nachteils des besonderen, störenden Isolationsmangels, der unter dem Namen der sog. „Korona“-Erscheinung geradezu zur obern technischen Spannungsgrenze bei oberirdischen Fernleitungen führt.

#### 1. Die wichtigsten Beziehungen über die Arbeitsweise von Kabeln.

Für die praktische Beurteilung der Arbeitsweise unterirdischer und oberirdischer Wechselstrom-Kabel für Betrieb mit Hochspannung sind zwei Erscheinungen als wichtigste in Betracht zu ziehen:

- 1. der Spannungsunterschied zwischen Leitungsanfang und Leitungsende, und zwar sowohl bei unbelasteter, als auch bei belasteter Leitung,
- 2. der Leerlaufstrom der unbelasteten Leitung.

Ist der Belastungszustand des, eine Leitungslänge  $\lambda$  aufweisenden Kabels an dessen Ende (Konsumseite) durch die Effektivwerte  $E_\lambda$  der Spannung,  $I_\lambda$  der Stromstärke und  $\varphi_\lambda$  des Phasenwinkels zwischen Spannung und Stromstärke gegeben, so gilt für den Effektivwert der Spannung  $E_0$  am Leitungsanfang (Energieherkunftseite) die Beziehung:

$$E_0 = \frac{1}{V} \sqrt{E_\lambda^2 + 2 E_\lambda I_\lambda R^k \cdot \cos(\varphi_\lambda + \beta - \zeta) + I_\lambda^2 \cdot R^{2k}} \quad (1)$$

deren Ableitung C. Breitfeld<sup>3)</sup> nach der sog. symbolischen, der Verfasser<sup>4)</sup> des vorliegenden Aufsatzes dagegen nach der sog. reellen Berechnungsart vorgenommen haben; in dieser Beziehung bedeuten  $V$  eine transzendente Funktion,  $\beta$  und  $\zeta$  Hilfswinkel, und  $R^k$  den sog. Kurzschlusswiderstand der Leitung, alles Grössen, die die eigentlichen Leitungskonstanten, sowie die Periodenzahl des speisenden, sinusförmigen Wechselstromes enthalten; auf diese Grössen werden wir noch zurückkommen. Aus Formel (1) folgt für die unbelastete Leitung auch der Zusammenhang der sog. Leerlaufspannungen am Leitungsanfang ( $E_0^0$ ) und am Leitungsende ( $E_\lambda^0$ ), sobald  $I_\lambda = 0$  gesetzt wird, und zwar gemäss:

$$E_0^0 = \frac{E_\lambda^0}{V}$$

Neben unserer Spannungsbeziehung (1) haben wir vor allem auch die Beziehung über den am Leitungsanfang in Betracht fallenden Leerlaufstrom  $I_0^0$  aufzuführen, die diesen durch die Formel:

$$I_0^0 = \frac{E_0^0}{R^0} \dots \dots \dots (2)$$

mit dem Effektivwert  $E_0^0$  der Spannung am Leitungsanfang bei Leerlauf und mit dem sog. Leerlaufwiderstande  $R^0$  in Zusammenhang bringt.

Für die Widerstandsgrössen  $R^0$  und  $R^k$  gilt nun:

$$\left. \begin{aligned} R^0 &= Z \cdot \frac{U}{V} \\ R^k &= Z \cdot \frac{V}{U} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3)$$

wodurch neben  $V$  die neue transzendente Grösse  $U$ , sowie die rein algebraische Grösse  $Z$  eingeführt werden. Für ideale Isolation und für die Leitungskonstanten des Widerstandes  $r$  pro Länge 1, der Selbstinduktion  $l$  pro Länge 1 und der Kapazität  $c$  pro Länge 1, und für die Periodenzahl  $\nu$  gilt:

$$Z = \sqrt[4]{\frac{r^2 + (2\pi\nu l)^2}{(2\pi\nu c)^2}} \dots \dots \dots (4)$$

Zur Darstellung von  $U$  und  $V$  werden Hilfsgrössen  $a$  und  $b$  benötigt, die für ideale Isolation folgendermassen formuliert sind:

$$\left. \begin{aligned} a &= \sqrt{\frac{1}{2} \left\{ \sqrt{(cr2\pi\nu)^2 + [lc(2\pi\nu)^2]^2} - lc(2\pi\nu)^2 \right\}} \\ b &= \sqrt{\frac{1}{2} \left\{ \sqrt{(cr2\pi\nu)^2 + [lc(2\pi\nu)^2]^2} + lc(2\pi\nu)^2 \right\}} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (5)$$

Bei Einführung der Basis  $e$  des natürlichen Logarithmen-Systems ergeben sich dann:

$$\left. \begin{aligned} V &= \frac{2}{\sqrt{e^{+2a\lambda} + e^{-2a\lambda} + 2 \cdot \cos(2b\lambda)}} \\ U &= \frac{2}{\sqrt{e^{+2a\lambda} + e^{-2a\lambda} - 2 \cdot \cos(2b\lambda)}} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (6)$$

Endlich folgt für die in Gleichung (1) vorkommenden Hilfswinkel:

$$\left. \begin{aligned} \beta &= \arctg\left(\frac{b}{a}\right) \\ \zeta &= \arctg\left(\frac{2 \cdot \sin(2b\lambda)}{e^{+2a\lambda} - e^{-2a\lambda}}\right) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (7)$$

Für die besonders wichtigen Grössen  $R^0$  und  $R^k$  sind in gewissen Fällen vereinfachte Ausdrücke, die keinerlei Exponentialgrössen mehr enthalten, möglich. So gilt einerseits:

$$\lambda = \infty: R^0 = R^k = Z$$

Ferner gilt für verhältnismässig kurze Leitungen, deren  $\lambda$  einen kritischen Wert  $\lambda_c$  nicht überschreitet:

$$\lambda < \lambda_c: R^0 = \frac{1}{2\pi\nu c \cdot \lambda} \quad R^k = \lambda \cdot \sqrt{r^2 + (2\pi\nu l)^2}$$

wie C. Breitfeld<sup>1)</sup> gezeigt hat. Für die Verhältnisse der uns hier hauptsächlich interessierenden Höchstleistungskabel ergeben sich für wesentlich grössere Leitungslängen als  $\lambda_c$  noch besondere Vereinfachungen der rechnerischen Beziehungen, auf die wir nach Kennzeichnung der bezüglichen Kabel eintreten werden. Mit Hilfe unserer Beziehungen sind übrigens die wesentlichen Verhältnisse der Arbeitsweise von Kabeln, soweit sie für den praktischen Betrieb von Bedeutung sind, bereits im Allgemeinen dargelegt.

<sup>1)</sup> Seite 20–25 des schon erwähnten Buches.

<sup>1)</sup> Elektrische Kraftbetriebe und Bahnen 1915, Seite 313.  
<sup>2)</sup> Vergleiche „Die Grenzen der Kraftübertragung mittels Wechselströmen“, Seite 38 (am 25. Januar 1919) und Seite 139 (am 22. März 1919) laufenden Bandes der „Schweiz. Bauzeitung“.  
<sup>3)</sup> Auf Seite 52 und 53 des 1912 im Verlage von Vieweg (Braunschweig) erschienenen Buches: „Die Berechnung der Wechselstrom-Fernleitungen“.  
<sup>4)</sup> Auf Seite 84 der E. T. Z. 1918.