

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung

**Band:** 73/74 (1919)

**Heft:** 5

**Artikel:** Die jüngsten Fortschritte in der Beurteilung und Bekämpfung von Ueberspannungen in elektrischen Anlagen

**Autor:** Kummer, W.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-35664>

### **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:** 17.11.2024

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

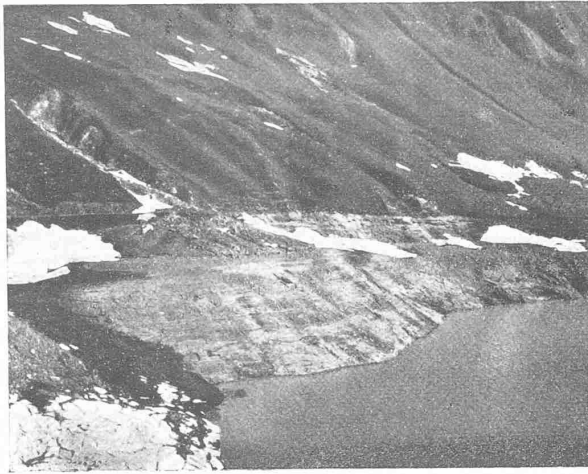


Abb. 7. Schuttkegel einer Runs aus Kalkblöcken gebildet; keine Rutsch-Erscheinungen (Punkt C in Abb. 2).



Abb. 8. Einsenkung im Delta des Canariscio di Ritom (Punkt D in Abb. 2).

blockige, also rauhe, lockere Halden, ob sie nun als Schuttkegel eines Baches (Abbildung 7) oder als Trümmerschutt unterhalb abwitternden Felswänden mehr oder weniger steil aufgetürmt sind.

Unbedeutende, wenig tiefgreifende Uferveränderungen sind an den Ufern zwischen Punkt B und Punkt C, sowie mit Ausnahme der Bach-Delta am felsigen Südufer zwischen Hotel Piora und P. 1832,32 zu beobachten (Abb. 2).

Gefahr für tiefgreifende Bewegung besteht bei allen mit Sand und Lehm durchsetzten Schutthalden ohne Rücksicht auf den Neigungswinkel, namentlich aber bei allen Deltas. Die Wirkung der Spiegelsenkung wird natürlich durch Quellen, durch oberflächlich einströmendes Sickerwasser oder durch unten liegende glatt polierte Felsplatten kräftig unterstützt.

Besonders eigenartige Verwüstungen entstehen aber infolge des Einfressens der Bäche in ihr altes Schuttgebiet, in das nach kürzester Frist tiefe Schluchten ausgehöhlt werden (Abb. 5 und 6). Da diese Wühlarbeit, die infolge des vermehrten Gefälles direkt an der Mündungstelle beginnt, gelegentlich serpentinförmige Rinnen erzeugt, geraten infolge des weitergehenden Eingrabens ganze Halbinseln nach und nach in Bewegung und schütten die junge Schlucht zum Teil wieder zu. Brechen aus den neugebildeten Flanken dieser schluchtartigen Graben Quellbäche hervor, dann bildet sich um den Ursprungsort der Quelle eine trichterartige Einsenkung, woraus bei starkem Wasserzudrang eine weite Mulde und später ein Seitental von bedeutender Ausdehnung entstehen kann. Um zu ermitteln, wie rasch das Einfressen der Bäche vor sich gehen kann, sei erwähnt, dass der Bach „La Murinascia“ (Abb. 5) seit 1917 ein Tal durch sein am Ostende des Sees gelegenes breites Delta gegraben hat und dass das Ende des Grabens sich bereits auf Kote 1840 befindet (siehe Abbildung 2).

Die Möglichkeit der Schluchtbildung in Deltas durch die mündenden Bäche hängt weniger vom Wasserquantum der Bäche als von der Beschaffenheit des Untergrundes ab. In grobkiesigem Material und in Geröllen vermag viel Wasser trotz vermehrtem Gefälle kaum nach und nach die Bachrinne zu vertiefen, in Schlamm- und Sandböden dagegen schafft wenig Wasser in wenig Tagen ausgedehnte Talbildungs-Systeme, Bilder trostlosester Verheerung, chaotischen Zerfalles.

Beim Einschätzen dieser monatelang sichtbaren Zerstörung muss unbedingt berücksichtigt werden, dass das Verhältnis zwischen Nutzinhalt und Einzugsgebiet bei den meisten Stauseen ein weitaus günstigeres ist als am Ritom-See. Wenige Tage nach dem Verschwinden der letzten schmutzigen Schneeflecken an den Uferändern wird der nicht immer ästhetisch anmutende Streifen von den grünen Fluten in der Regel verdeckt sein.

Dass gelegentlich Abrisse weiter den Hang hinaufgreifen, ist nicht zu verhindern; durch gehörige Entwässerung mit nachfolgender Anpflanzung oder Aufforstung, wird wie anderwärts das Aussehen der Erdschlipfe derart verändert, dass diese nach Jahren nur mehr dem geübten Auge des Naturforschers auffallen werden.

### Die jüngsten Fortschritte in der Beurteilung und Bekämpfung von Ueberspannungen in elektrischen Anlagen.

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

(Schluss von Seite 41.)

#### Schutzwirkung und Beanspruchung von Spulen.

In unserm vor sechs Jahren veröffentlichten Aufsatz befassen wir uns bereits mit dem Schutzwert einer zwischen zwei Leitungsbahnen mit verschiedenen Wellenwiderständen eingebauten Spule von der Induktivität  $L$ . Die erste Leitungsbahn mit der Induktivität  $l$  und der Kapazität  $c$  pro Länge  $1$  und die zweite mit den entsprechenden Konstanten  $l_a$  und  $c_a$  besitzen die Wellenwiderstände:

$$z = \sqrt{\frac{l}{c}} \quad \text{sowie} \quad z_a = \sqrt{\frac{l_a}{c_a}}$$

Eine Ueberspannung  $E$  auf der ersten Bahn wird von der zweiten nur im maximalen Betrage  $E_a$  aufgenommen, gemäss:

$$E_a = 2 \cdot E \cdot \frac{z}{z + z_a}$$

wenn man die in dem von uns samt Ableitung mitgeteilten Ausdrücke<sup>1)</sup> vorkommende Exponentialfunktion weglässt, wie es erforderlich ist, um den Maximalbetrag  $E_a$  zu erhalten. Andererseits ergibt sich das höchste Spannungs-Gefälle für die auf der zweiten Leitungsbahn weiterlaufende Ueberspannungswelle zu:

$$\frac{dE_n}{dn} = \frac{dE_a}{dx} = \frac{2 \cdot E}{z_a} \cdot \frac{z_a}{L}$$

wenn wiederum die in dem von uns samt Ableitung mitgeteilten Ausdrücke<sup>2)</sup> vorkommende Exponentialfunktion weggelassen wird, wie es erforderlich ist, um den Maximalbetrag  $\frac{dE_n}{dx}$  zu erhalten. Da:

$$v_a = \frac{1}{\sqrt{l_a \cdot c_a}}$$

folgt einfacher:

$$\frac{dE_n}{dx} = 2 \cdot E \cdot \frac{l_a}{L}$$

<sup>1)</sup> Auf Seite 342 von Band LXI (28. Juni 1913), bzw. Seite 12 des Sonder-Abdruckes.

<sup>2)</sup> Auf Seite 343 von Band LXI (28. Juni 1913), bzw. Seite 16 des Sonder-Abdruckes.

Es hat sich gezeigt, dass die Auffassung der zwischen zwei Leitungsbahnen eingebauten Spule als einer reinen Induktivität ein teils zu günstiges, teils zu ungünstiges Urteil über ihre Schutzwirkung nach sich zieht, und dass insbesondere die Beanspruchung dieser Spule gegen Durchschlag in Wirklichkeit grösser ist, als die angegebenen Beziehungen erwarten lassen. Damit entstand das Bedürfnis nach einer Abklärung der Frage der Schutzwirkung und Beanspruchung von Spulen, die von umso grösserer praktischer Bedeutung ist, als die zweite Leitungsbahn meist durch eine Maschinen- oder Transformatorwicklung gebildet wird, wobei die „Spule L“ dann sehr häufig nur durch „Eingangswindungen“ dieser Wicklung gebildet erscheint. Unter den bezüglichen klärenden Forschungsarbeiten ist besonders wichtig die Studie von *K. W. Wagner*<sup>1)</sup>, auf Grund seiner Auffassung der Spule als eines Leitungselementes, das neben der Selbstinduktion *L* auch Erdkapazität *C* und Eigenkapazität oder Windungskapazität *K* besitzt, gemäss dem auch noch die gegenseitige Windungsinduktivität *M* enthaltenden Schema unserer Abbildung 5. Wegen der Windungskapazität besteht zu jeder Windung der Spule ein eigentlicher Nebenschluss und entsteht damit ein schwingungsfähiges Leitergebilde ähnlicher Art, wie es auch schon an der in der Telephonie gebräuchlichen Pupinspule durch *F. Breisig*<sup>2)</sup> erkannt wurde; eine solche Spule lässt nur solche Wechselströme durchfliessen, deren Frequenz tiefer als ihre Eigenfrequenz liegen; die Uebertragung dieser Auffassung auf Starkstromspulen ist durch *R. Rüdberg*<sup>3)</sup> vorgenommen worden. Endlich hat *O. Böhm*<sup>4)</sup> für das unserer Abbildung 5 zugrunde liegende Spulenschema die Eigenfrequenz  $\nu_s$  der Spule berechnet gemäss:

$$\nu_s = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{L \cdot K - M \cdot C}} \approx \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{L \cdot K}}$$

Die Vernachlässigbarkeit des in diesem Zusammenhange tatsächlich bedeutungslosen Koeffizienten *M* der Gegen-

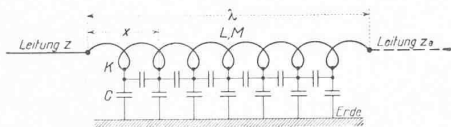


Abb. 5. Spule mit Induktivitäten *L* und *M* sowie mit Kapazitäten *C* und *K*.

Induktivität benachbarter Spulenwindungen hat *Wagner* festgestellt.<sup>5)</sup> Infolge dieser Eigenschaft wird also eine mit richtig gewählter Eigenfrequenz „arbeitende“ Spule von den besonders gefährlichen Ueberspannungswellen mit steiler Wellenstirn die höhern harmonischen Teilwellen überhaupt nicht durchlassen und damit eine bisher noch gar nicht berücksichtigte Abflachung der Wellenstirne bewirken. Wie *K. W. Wagner*<sup>6)</sup> dargelegt hat, ist diese abflachende Wirkung namentlich durch das Verhältnis  $\frac{C}{K}$  der Erdkapazität zur Windungskapazität bedingt. Für die praktisch wichtigen Grössen  $E_a$  und  $\frac{dE_a}{dx}$  ermittelte er die zunächst nur für sehr lange Rechteckwellen gültigen rechnerischen Beziehungen<sup>7)</sup>:

$$E_a = E \cdot \frac{1}{\cosh\left(\sqrt{\frac{C}{K}}\right)}$$

sowie, für  $x = 0$ , am Anfang der eine Windungslänge  $\lambda$  aufweisenden Spule:

$$\frac{dE_a}{dx} = \frac{E}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{C}{K}}$$

<sup>1)</sup> Beanspruchung und Schutzwirkung von Spulen bei schnellen Ausgleichsvorgängen, E. T. Z. 1916, Seite 425, 440, 456.

<sup>2)</sup> E. T. Z. 1909, Seite 463.

<sup>3)</sup> Elektr. und Maschinenbau (Wien), 1914, Seite 731.

<sup>4)</sup> Archiv für Elektrotechnik Band 5, Seite 383.

<sup>5)</sup> Archiv für Elektrotechnik, Band 6, S. 310.

<sup>6)</sup> Elektr. und Maschinenbau (Wien) 1915, Seite 89, 105.

<sup>7)</sup> E. T. Z. 1916, Seite 456 u. 459.

wenn wir dieselben Bezeichnungen für die in praktischer Hinsicht gleichwertigen Grössen, wie bei der frühern Darstellungsweise auf Grund der als einer reinen Induktivität aufgefassten Spule, benutzen. Die erste dieser beiden Beziehungen erkennen, dass Schutzspulen möglichst grosse Erdkapazität und möglichst kleine Windungskapazität besitzen sollen, damit der von ihnen durchgelassene Spannungsstoss  $E_a$  nicht zu gross ausfällt. Für die praktisch in Frage kommenden Werte von  $\cosh\left(\sqrt{\frac{C}{K}}\right)$  wird aber  $E_a$  so klein, dass es kaum in Betracht fällt; vielmehr entscheidet dann  $\frac{dE_a}{dx}$ , das am kleinsten, also am günstigsten ausfällt, wenn man die Erdkapazität möglichst klein, die Windungskapazität dagegen möglichst gross wählt, beide immerhin aber nicht derart, dass etwa  $E_a$  hierdurch namhaft ungünstig beeinflusst werden könnte. Die für  $x = 0$ , d. h. für den Spulenanfang abgeleitete Beziehung:

$$\frac{dE_a}{dx} = \frac{E}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{C}{K}}$$

stellt für sehr lange Rechteckwellen das höchste Spannungsgefälle in der Spule dar, das nach der von *K. W. Wagner* gegebenen Darstellung möglich ist und das das durchschnittliche Gefälle um  $\sqrt{\frac{C}{K}}$  übertrifft. Nach einer seither von *O. Böhm*<sup>1)</sup> an einem Trockentransformator experimentell aufgenommenen und zum Teil rechnerisch begründeten Untersuchung des Spannungsgefälls längs der Transformatorwicklung tritt indessen für ausgesprochen periodische Wellen das grösste Spannungsgefälle nicht unmittelbar am Anfang der Wicklung, sondern in einem Punkte im Innern, der vom Anfang der Wicklung um etwa eine Viertelwellenlänge entfernt liegt, auf. Wir geben in Abb. 6 das bezügliche interessante Bild einer solchen experimentell aufgenommenen Kurve. Beim Auftreffen einer ausgesprochen periodischen Welle auf die nach unserer Abb. 5 aufgefasste Spule spaltet

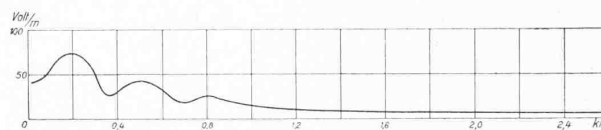


Abb. 6. Spannungsgefälle über einer aufgerollten Transformatorwicklung bei 0,72 km Wellenlänge, nach *O. Böhm*.

sich nach den Rechnungen von *O. Böhm* diese Welle in zwei Teile, von denen nur einer als wirkliche Welle in die Wicklung einläuft, während der zweite eine aperiodisch fallende Strom- und Spannungsverteilung hervorbringt; unterhalb der kritischen Frequenz, die der Eigenfrequenz einer Windung der Spule angenähert gleich ist, überwiegt das erste, oberhalb das zweite Glied. Stimmt die Schwingungsfrequenz der eindringenden Welle mit der kritischen überein, so erreicht das Spannungsgefälle am Anfang der Wicklung, also bei  $x = 0$ , ein ausgesprochenes Maximum:

$$\frac{dE_a}{dx} = \frac{E}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{L \cdot C}{4 \cdot M \cdot K}}$$

Die höchste Windungsspannung eindringender periodischer Wellen tritt jedoch, übrigens gemäss Abbildung 6, nicht am Anfang der Wicklung auf; vielmehr verändert sich, wie *K. W. Wagner*<sup>2)</sup> nachträglich rechnerisch begründete, mit dem Eindringen der Welle in die Wicklung, die Beanspruchung, womit die experimentell festgestellte Erscheinung ebenfalls ihre Klärung findet. Da die Beanspruchung  $\frac{E}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{C}{K}}$ , die nicht nur für sehr lange Rechteckwellen, sondern auch für extrem hohe Frequenzen von ausgesprochen periodischen Wellen gilt, kleiner ist als die Be-

anspruchung  $\frac{E}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{L \cdot C}{4 \cdot M \cdot K}}$ , so erfolgt also die grösste

<sup>1)</sup> Rechnerische und experimentelle Untersuchung der Einwirkung von Wanderwellenschwingungen auf Transformatorwicklungen. Archiv für Elektr. Bd. 5, Seite 383.

<sup>2)</sup> Archiv für Elektr. Band 6, S. 320, sowie E. T. Z. 1918, S. 146.

Die neue Schlachthof-Anlage in Liestal.

Architekt W. Brodbeck in Liestal.

Abb. 3 bis 5. Grundriss, Längsschnitt und Querschnitt des Schlachthauses. Masstab 1:300.

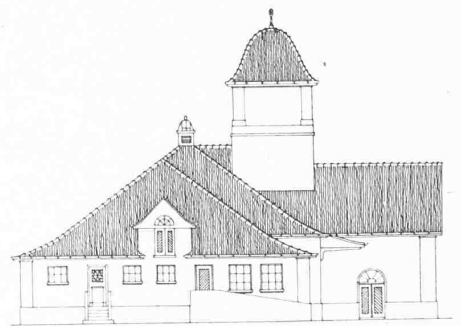
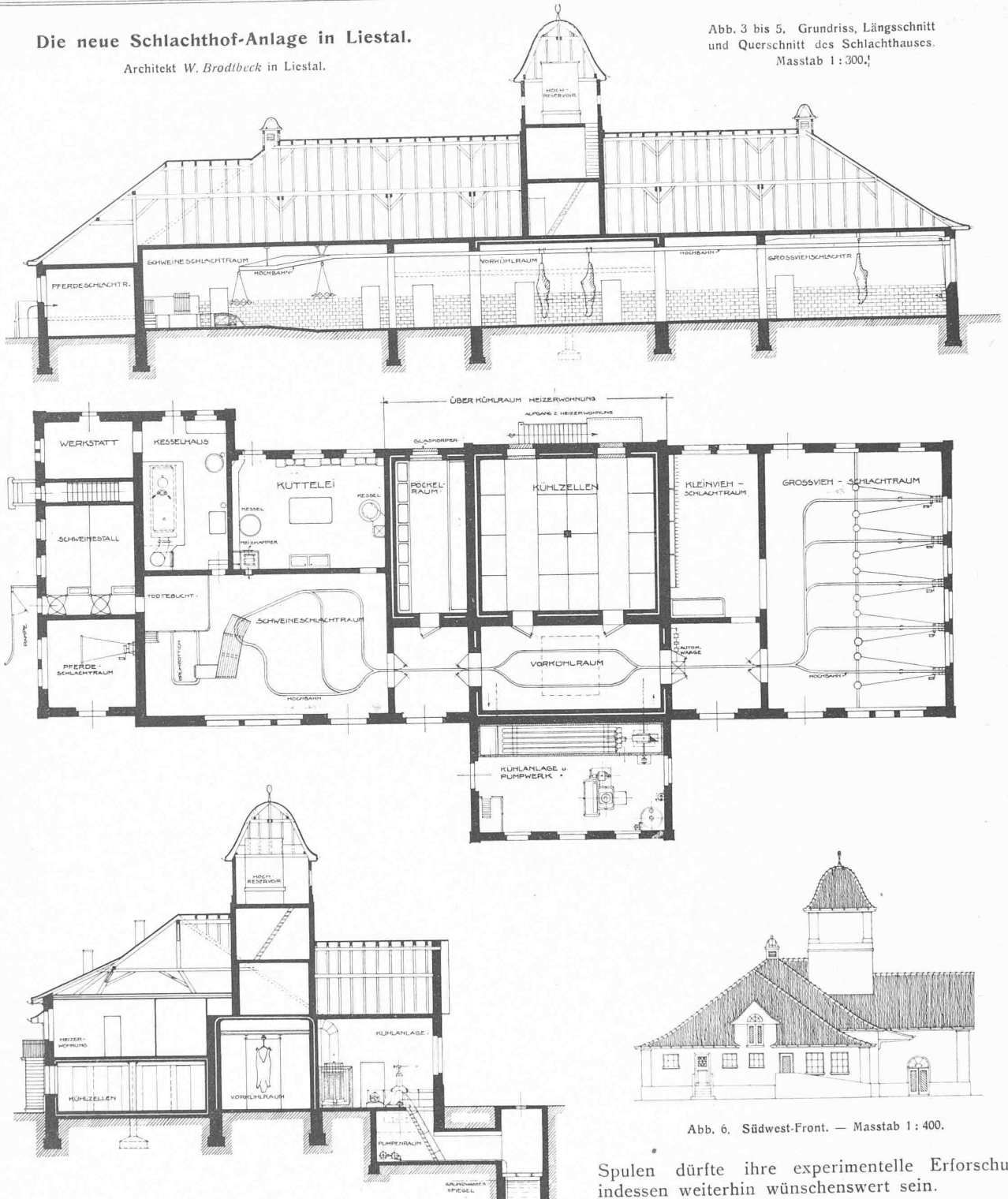


Abb. 6. Südwest-Front. — Masstab 1:400.

Beanspruchung der Eingangswindungen durchaus nicht beim Auftreffen von Rechteckwellen, sondern von solchen der kritischen Frequenz.

Als wesentlichen Fortschritt in der Auffassung der Schutzspule als ein Leiterelement, das ausser Induktivität auch noch Erdkapazität und ganz besonders auch Windungskapazität aufweist, betrachten wir die daraus abzuleitende praktische Folgerung vorzüglichster Isolation zwischen den einzelnen und zwar besonders zwischen den ersten Windungen solcher Spulen, die auch mit den unmittelbar in der praktischen Anwendung gemachten Erfahrungen im Einklang stehen. Im Hinblick auf eine exakte Vorausberechnung der Schutz-

Spulen dürfte ihre experimentelle Erforschung indessen weiterhin wünschenswert sein.

Ueberblickt man die seit 1913 in der Beurteilung und Bekämpfung von Ueberspannungen erzielten Fortschritte, die, wie wir gesehen haben, ganz besonders die Erforschung der Erdschluss-Störungen und das Problem der Schutzwirkung und Beanspruchung von Spulen betreffen, so muss anerkannt werden, dass für die Betriebsicherheit der elektrischen Anlagen neue und wertvolle Unterlagen gewonnen wurden. Damit erscheint auch die Anwendung weiter wachsender Uebertragungsspannungen und Uebertragungsleistungen im Hinblick auf die Ueberspannungs-Gefahr noch zu keinen schweren Bedenken Anlass zu bieten.