

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 7 (1916)

Heft: 6

Artikel: Kommission für Ueberspannungsschutz. Bericht über den Schutz elektrischer Anlagen gegen Ueberspannungen (Leitsätze)

Autor: [s.n.]

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059564>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.02.2026

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Erscheint monatlich mit den Jahres-Beilagen „Statistik der Starkstromanlagen der Schweiz“ sowie „Jahresheft“ und wird unter Mitwirkung einer vom Vorstand des S. E. V. ernannten Redaktionskommission herausgegeben.

Alle den Inhalt des „Bulletin“ betreffenden Zuschriften sind zu richten an das

Generalsekretariat
des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins,
Neumühlequai 12, Zürich 1 - Telephon 9571
Alle Zuschriften betreffend Abonnement, Expedition und
Inserate sind zu richten an den Verlag:
Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G.,
Hirschengraben 80/82 Zürich 1 Telephon 6741

Abonnementspreis
für Nichtmitglieder inklusive Jahresheft und Statistik:
Schweiz Fr. 15.—, Ausland Fr. 25.—.
Einzelne Nummern vom Verlage Fr. 1.50 plus Porto.

Publié sous la direction d'une Commission de Rédaction
nommée par le Comité de l'A.S.E.

Ce bulletin paraît mensuellement et comporte comme annexes annuelles la „Statistique des installations électriques à fort courant de la Suisse“, ainsi que l'„Annuaire“.

Prière d'adresser toutes les communications concernant la matière du „Bulletin“ au

Secrétariat général
de l'Association Suisse des Electriciens
Neumühlequai 12, Zurich 1 - Téléphone 9571
Toutes les correspondances concernant les abonnements,
l'expédition et les annonces, doivent être adressées à l'éditeur:
Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S. A.
Hirschengraben 80/82 Zurich 1 Téléphone 6741

Prix de l'abonnement annuel (gratuit pour les membres de
l'A.S.E.), y compris l'Annuaire et la Statistique, Fr. 15.—
pour la Suisse, Fr. 25.— pour l'étranger.
L'éditeur fournit des numéros isolés à Fr. 1.50, port en plus.

VII. Jahrgang
VII^e Année

Bulletin No. 6

Juni 1916
Juin

Kommission für Ueberspannungsschutz des Schweizer. Elektrotechnischen Vereins und des Verbandes Schweizer. Elektrizitätswerke.¹⁾

Bericht über den Schutz elektrischer Anlagen gegen Ueberspannungen (Leitsätze).²⁾

Erstattet vom Generalsekretariat.

Vorwort.

Die Kommission für Ueberspannungsschutz hat seit einer Reihe von Jahren Betriebserfahrungen in Ueberspannungerscheinungen und über Schutzapparate hierfür gesammelt und eine Anzahl Versuche angestellt, sowie Besprechungen des Themas im Schosse der Kommission vorgenommen und Publikationen darüber veranlasst. Wir verweisen bezüglich der letztern auf das „Bulletin“ des S. E. V.²⁾

Inzwischen sind die Erkenntnis und die Entwicklung der Theorie der Ueberspannungen in technischen Starkstromanlagen soweit gediehen, dass das Wesen dieser Erscheinungswelt in seinen Grundzügen als für die heutige Anschauungsweise abgeklärt betrachtet werden kann.

¹⁾ Mitglieder: Ringwald-Luzern (Präsident), Abrezol-Lausanne, Dr. A. Denzler-Zürich, George Giles-Fribourg, Prof. Dr. Kuhlmann-Zürich, Prof. Dr. W. Kummer-Zürich, Prof. Dr. Rupp-Baden, H. Vaterlaus-Baden, A. Waeber-Fribourg, Generalsekretär Prof. Dr. Wyssling-Zürich.

²⁾ Siehe Bulletin 1912, pag. 161 César: Blitz- und Ueberspannungsschutz des Elektrizitätswerkes Wangen a. d. Aare.
Siehe Bulletin 1913, pag. 45/69 Bericht über die Arbeiten der Ueberspannungsschutz-Kommission des S. E. V.
Siehe Bulletin 1914, pag. 33, 77, 125, 225 Prof. Landry: Stationäre Zustände und Zustandsänderungen in elektr. Stromkreisen.
Siehe Bulletin 1914, pag. 103 Prof. Dr. Kummer: Ueber Wasserstoss und Ueberspannung.
Siehe Bulletin 1914, pag. 142 Prof. Dr. Kuhlmann: Grundzüge des Ueberspannungsschutzes in Theorie und Praxis.
Siehe Bulletin 1914, pag. 179 A. Waeber: Quelques cas de surtensions d'origine atmosphérique dans un grand réseau aérien.
Siehe Bulletin 1914, pag. 221 Giles & Capart: Betriebsstörungen in Freileitungen durch elektrische Ueberspannungen.
Siehe Bulletin 1914, pag. 321 Bericht über die Diskussionsversammlung des S. E. V.
Siehe Bulletin 1915, pag. 113 F. Ringwald: Zum Ueberspannungsschutz in Sekundärnetzen.

^{*)} Separatabzüge dieses Berichtes sind für Mitglieder zu Fr. 1. - bzw. Fr. 1.50 für Nichtmitglieder vom Generalsekretariat zu beziehen.

Nachdem die aus den bisherigen Erfahrungen und den theoretischen Betrachtungen sich ergebenden Schlussfolgerungen, soweit solche noch nicht in eindeutiger Weise formuliert werden konnten, durch die Diskussionsversammlung vom 6. Juni 1914 eine weitere Klärung erfahren haben, ist die Kommission soweit gelangt, die gewonnenen Schlüsse in Form von „Leitsätzen“ niederzulegen und bekanntzugeben.

Da die physikalische Deutung der Naturerscheinungen eine mit dem Fortschreiten der Wissenschaft wandelbare ist, sind die vorliegenden rein technischen Grundsätze mit Abschnitten über das Wesen der Ueberspannungen und die Grundsätze der Schutzwirkung eröffnet, um die Basis bekanntzugeben, auf der die ins praktische umgesetzten Folgerungen aufgebaut sind.

Die *Leitsätze* sollen Grundlagen darstellen für die zweckmässige Bauart der Anlagen als Ganzes im Sinne möglichster Vermeidung von „Ueberspannungsmöglichkeiten“, sowie für die Wahl und Anordnung moderner Schutzapparate gegen die nicht zu vermeidenden Ueberspannungsscheinungen.

Mit Bezug auf die Anwendung der Leitsätze sei hier noch besonders darauf aufmerksam gemacht, dass *einzelne der empfohlenen Anordnungen und Apparate durch Patente geschützt sind*. Diese hier einzeln zu nennen und auf ihre Wirksamkeit zu untersuchen, ist weder Aufgabe dieser Schrift noch der Kommission, die sich der Verantwortlichkeit wegen allfälliger Patentverletzungen selbstverständlich entschlägt.

I. Das Wesen der Ueberspannungen in technischen Starkstromanlagen.

1. Unter den gefährlichen Spannungszuständen oder Ueberspannungen im allgemeinen Sinne in Starkstromanlagen müssen wir unterscheiden zwischen der zumeist in Betracht kommenden *eigentlichen „Ueberspannung“* und dem, was wir „*gefährliche Spannungserhöhung*“ nennen könnten.

2. Als „*gefährliche Spannungserhöhung*“ definieren wir den unter gewissen Bedingungen auftretenden, bei Wechselstrombetrieb im Verhältnis zur Schwingungsdauer der Betriebsspannung als *dauernd* zu bezeichnenden Anstieg der Spannung über die zulässigen Grenzen des Betriebszustandes hinaus.

3. *Die gefährliche Spannungserhöhung* ist zumeist eine Folge von zufälligen Wechselwirkungen einzelner Anlageteile, deren Ursache meist im nicht betriebsmässigen Zustand derselben liegt (z. B. einpoliger Anschluss oder Erdung von Anlageteilen, Ziffer 4). Es werden hierbei Schwingungskreise geschaffen, die je nach den Verhältnissen schon mit der dritten oder fünften Oberschwingung des Betriebsstroms in Resonanz treten können. Diese besteht über die Dauer des nicht betriebsmässigen Zustandes der Anlageteile.

4. Als Schwingungserreger bedeutend höherer Frequenz kann der Erdungslichtbogen (arcing ground) gefährliche Spannungserhöhungen veranlassen. Seine Folgeerscheinungen sind erfahrungsgemäss in Kabelanlagen i. a. weitaus schwerwiegender als im Freileitungsnetz.

5. Schwingungen, die infolge starker Dämpfung der Schwingungskreise meist nur eine relativ kurzzeitige gefährliche Spannungserhöhung zur Folge haben, entstehen beim Zu- und Abschalten von Stromkreisen, namentlich solchen mit konzentrierten Induktivitäten und Kapazitäten und deren Kombinationen. Wie die Erfahrung lehrt, kann diese Erscheinung gelegentlich, z. B. besonders beim betriebsmässigen Einschalten leerlaufender grosser Transformatoren und der Ständer von Asynchronmotoren, für die Anlageteile gefährlich werden.

6. Wechselwirkungen von Anlageteilen bilden auch in ihrem betriebsmässigen Zustand lokale Schwingungskreise von meist extrem hoher Eigenfrequenz (z. B. der Schutzkondensator in Kombination mit der nicht überbrückten Vorschaltrosselspule). Diese können durch atmosphärische Hochfrequenzerscheinungen oder durch Stosserregung (z. B. beim Auftreten sog. Sprungwellen) in Resonanz geraten, wodurch vorübergehend eine gefährliche Spannungserhöhung geschaffen ist. (Es ist wahrscheinlich, dass manche Isolationsdefekte in grossen Hochspannungstransformatoren auf diese Erscheinung zurückführen).

7. Als *eigentliche „Ueberspannung“* definieren wir den vorübergehenden, d. h. bei Wechselstrombetrieb im Verhältnis zur Schwingungsdauer der Betriebsspannung über eine sehr kleine Zeitspanne bestehenden Spannungsanstieg zwischen zwei Punkten des Leitungssystems über die Grenzen des betriebsmässigen Spannungszustandes an dieser Stelle.

8. Diese *Ueberspannungen* treten als Begleiterscheinung von Ausgleichsvorgängen auf, die ihre Ursache in erzwungenen plötzlichen Störungen des Energiegleichgewichts der Anlage haben. Wir unterscheiden hierbei:

a) Ueberspannungen *inneren Ursprungs* als mögliche Folge von Gleichgewichtsänderungen in der Anlage an sich, d. h. Änderungen am Betriebsstromsystem durch *Schaltoperationen*, *Kurzschlüsse* oder *Erdschlüsse*, auch durch schroffe Belastungsänderungen.

b) Ueberspannungen *äusseren Ursprungs* als mögliche Folge von Gleichgewichtsänderungen zwischen der Anlage als solcher und ihrer Umgebung, d. h. Energieverschiebungen, die sich dem Betriebsstromsystem überlagern. Hierher gehören vor allem Ausgleichsvorgänge in der *Atmosphäre* oder zwischen Atmosphäre und Erde über das Leitungssystem (Influenz, Induktion).

9. Die Analyse solcher Ueberspannungen führt in der Mehrzahl der Fälle zu zeitlich und örtlich veränderlichen Vorgängen (*nicht stationäre Vorgänge*).¹⁾ Die zu einem bestimmten Zeitpunkt herrschende örtliche Verteilung der Ueberspannung über das Leitungssystem oder Teile desselben bezeichnen wir als deren *Erscheinungsform*.

10. Die Umsetzung der exakten mathematisch-physikalischen Gesetze über die örtliche und zeitliche Fortbewegung solcher Erscheinungen in eine geläufige bildliche Vorstellung mit vereinfachter mathematischer Formulierung führt zum Begriff der sog. *Wanderwellen* oder *Sprungwellen* und deren Reflexionserscheinungen.²⁾ Es ergibt sich in dieser Vorstellungart folgende Deutung der unter Punkt 8 klassifizierten Ueberspannungserscheinungen:

a) Die Ueberspannungen *inneren Ursprungs* entstehen aus dem durch Schaltoperationen, Kurzschlüsse und Funken-Erdungen bedingten plötzlichen Aufbau resp. Abbau der betriebsmässigen elektromagnetischen Felder im Leitungssystem und bekunden sich durch das Auftreten je einer *Lade- und Entladewelle*, die sich, ausgehend vom Störungspunkt, nach beiden Seiten längs der Leitung nach dem Gesetz der freien Schwingungen bewegen. Die Erscheinungsform solcher Ueberspannungen ist charakterisiert durch die meist sehr *steile Wellenstirne*, d. h. den sprunghaften Anstieg der Spannung über ein relativ kleines Längsbereich der Leitung (grosse Potentialdifferenz in der Längsrichtung desselben Leiters zwischen relativ nahe aneinanderliegenden Punkten). Die *Höhe der Ueberspannung* ist mit der Betriebsspannung gegeben, der maximale Betrag der entstehenden Spannung kann hiebei im allgemeinen (d. h. solange nicht ausnahmsweise *Resonanz* mit anderen schwingungsfähigen Systemen eintritt) den *doppelten Betrag des Maximalwerts der Betriebsspannung nicht übersteigen*.

b) *Ueberspannungen äusseren Ursprungs (atmosphärische Ueberspannungen)* ergeben sich aus den durch zeitliche und örtliche Schwankungen des Spannungsgefälles des elektrischen *Erdfeldes* bedingten Ladeerscheinungen des Leitungssystems.

Die durch *plötzliche Änderungen des Erdfeldes* (z. B. bei benachbarter Blitzentladung) entstehende einzelne Ladewelle zeigt ebenfalls den oben beschriebenen Charakter der Wanderwelle; ihre Bewegung, dem Betriebssystem übergelagert, gehorcht dem Gesetz der freien Schwingungen des betroffenen Leitungssystems als solchem in bezug auf die Erde. Die *absolute Höhe der Ueberspannung* und der *Energieinhalt* der Welle sind nur durch die Verhältnisse des *elektrischen Erdfeldes* und dessen Lage zum Leitungssystem bedingt und unabhängig von der Betriebsspannung; die Ueberspannung kann ein *Vielfaches der Betriebsspannung* erreichen.

Die Gesetzmässigkeit der Verhältnisse des Erdfeldes ist bis heute noch nicht genügend

¹⁾ Siehe Bulletin 1914, Seite 33 u. ff. Prof. Landry: Stationäre Zustände und Zustandsänderungen in elektrischen Stromkreisen.

²⁾ Siehe Bulletin 1914, Seite 142 u. ff. Prof. Kuhlmann: Grundzüge des Ueberspannungsschutzes in Theorie und Praxis.

erforscht, doch liegen über die mutmassliche Grösse der induzierten Ueberspannungen an der gegebenen Leitungsanlage Anhaltspunkte vor.¹⁾

Periodische Aenderungen des Spannungsgefälles im Erdfeld werden jedenfalls eine gesetzmässige periodische Wiederholung des einzelnen Lade- resp. Entladevorgangs zur Folge haben, wodurch auch die Möglichkeit der Ausbildung von Hochfrequenzerscheinungen auf der Leitung gegeben ist.

11. Es kommen aber auch, begünstigt durch meteorologische Einflüsse, *langsame statische Aufladungen* der Freileitung durch das Erdfeld vor, die nicht periodisch oscillatorischer Natur sind. Ihre Erscheinungsform ist daher nicht eine eigentliche „Ueberspannung“ nach unserer Definition, wohl aber kann bei vollständiger Isolation der Leitung deren Potential gegen Erde infolge derartiger stetiger Aufladung über den betriebsmässigen Wert ansteigen und so eine dauernde „gefährliche Spannungserhöhung“ zur Folge haben, die sich dem normalen Betriebszustand überlagert.

12. Die gefährlichen Spannungszustände, welche als *unmittelbare Folge* der ursprünglichen Energie-Gleichgewichtsstörung (Ziffern 4, 5, 8) auftreten, bezeichnen wir als *primäre Ueberspannungen*. Ihr Verlauf in der Anlage kann durch Reflexionserscheinungen oder durch Anregung lokaler Schwingungskreise (Ziffer 6) weitere *sekundäre Ueberspannungen* nach sich ziehen, welche in ihrem Amplitudinalwert die *primäre Ueberspannung übersteigen* können.

13. Die in der Anlage tatsächlich *auftretende, resultierende Ueberspannung* ist oft das Schlussglied mehrfacher Verkettungen von Störungsursachen, die ihren Ursprung in einer vielleicht nicht unmittelbar bemerkbaren primären Ueberspannungserscheinung finden.

II. Die in der Anordnung der Anlagen selbst sowie in besonderen Schutzapparaten liegende Schutzwirkung gegen Ueberspannungen.

14. Die erste und vornehmste Lösung des praktischen Ueberspannungsschutzes liegt in den *vorbeugenden Massnahmen* gegen das Auftreten primärer Störungserscheinungen und den Vorkehrungen gegen die Verkettung weiterer Ueberspannungsmöglichkeiten mit der primären Ueberspannung. Die Aufstellung eigentlicher Schutzapparate ist nur soweit gerechtfertigt und angezeigt, weil und soweit die vorbeugenden Massnahmen erfahrungs-gemäss nicht in allen Fällen eine hinreichende Sicherheit gewähren.

15. Das Auftreten einer „gefährlichen Spannungserhöhung“ im Sinne von Ziffer 3 in der gegebenen Anlage kann verhütet werden, wenn für alle möglichen Betriebszustände die Bildung des sie bedingenden Schwingungskreises (Ziffern 3, 4, 5, 6) verhütet wird. In Starkstromanlagen, wie sie heute zu betreiben sind, lässt sich aber diese Forderung nicht für alle Anlageteile durchführen.

16. Der zwischen *Anlageteilen mögliche Schwingungskreis* kann durch den Einbau richtig dimensionierter *Dämpfungswiderstände* praktisch gefahrlos gestaltet werden. (Nullpunktserdung über einen ohmschen Widerstand im Fall von Ziffer 4, Einbau von Vorschaltwiderständen in, bzw. vor die Schalter im Fall von Ziffer 5).

17. *Die durch eine Schaltoperation bedingte Spannungserhöhung oder Ueberspannung* ist in ihrer Bedeutung für die Anlage von der Grösse der ausgelösten Ausgleichsenergie abhängig. Die neueren Grundsätze des Schalterschutzes (Reduktion der Kurzschlussleistung durch Reaktanzspulen, Vorschaltwiderstände, Blockierungsrelais, Beeinflussung der Maschinenerregung) sind daher zugleich vorbeugende Massnahmen gegen das Auftreten primärer Ueberspannungserscheinungen aus Schaltoperationen.

18. Werden alle notwendigen Massnahmen (gemäss Ziffern 15, 16, 17) zur Vermeidung *gefährlicher Spannungszustände aus innerer Ursache* getroffen, so treten erfahrungs-

¹⁾ Siehe Bulletin 1914, Seite 179, A. Waeber: Quelques cas de surtensions d'origine atmosphérique dans un grand réseau aérien.

Ferner: *Mitteilungen der Vereinigung der Elektrizitätswerke* 1914, Referat über einen Vortrag von Prof. Petersen.

gemäss in den Anlagen doch noch primäre Störungsscheinungen auf, deren Mehrzahl *atmosphärischen Ursprungs* ist.

Das *Freileitungsnetz* ist daher der hauptsächlichste Ursprung und Träger der primären Ueberspannungen.

19. Die Vermeidung *atmosphärischer Ueberspannungen* ist mit den heute zu Gebote stehenden Mitteln nicht restlos durchführbar. Das Mass der durch sie eintretenden Gefährdung von Anlageteilen kann aber durch *vorbeugende Schutzanordnungen* wesentlich eingeschränkt werden.¹⁾

20. Hievon ausgenommen sind die *direkten Blitzschläge* in die Leitungsanlage. Es sind bis heute keine praktisch anwendbaren Schutzmittel bekannt geworden, die deren zerstörende Wirkungen mit Sicherheit verhüten könnten.²⁾ Die Ausrüstung des Freileitungsgestänges an besonders ausgesetzten Stellen mit Blitzableitern wird empfohlen, bietet aber noch keine sichere Gewähr für den Schutz der dazwischen liegenden Leitungen.

21. Dem durch die ungehinderte *statische Aufladung der Freileitung* durch das Erdfeld (Ziffer 11) gebildeten gefährlichen Spannungszustand kann durch die stetige Ableitung der elektrischen Mengen nach der Erde über den Betrieb nicht beeinträchtigende Widerstände, die auch als Drosselpulen ausgebildet sein können, entgegengewirkt werden.

22. Gegen die Begleiterscheinungen *plötzlicher Änderungen des Erdfeldes* (Ziffer 10 b) an *Freileitungen* kommt als unmittelbar schirmend der über die Leiter derselben gelegte *Erdungsdraht* in Frage, dem theoretisch in allen Fällen ein Schutzwert beizumessen ist. Diesbezügliche Berechnungen ergeben, dass die infolge atmosphärischer Störungen auf der Freileitung möglichen gefährlichen Spannungen gemäss Ziffer 10 b in ihrer Höhe durch praktisch mögliche Ausführungen um 30—50 % verringert werden können.

Da sich indessen die Höhe der an die Freileitung herantretenden Ueberspannung (Ziffer 10 b) unabhängig von der Betriebsspannung, im wesentlichen durch die Höhe der Freileitungsdrähte über dem Erdboden bestimmt, ist der noch verbleibende Betrag der Ueberspannung an der Freileitung *mit Schutzdraht bei hohen Masten* (die mehr bei grossen Betriebsspannungen vorkommen) grösser, als *bei niedrigem Gestänge* (wie es zumeist bei kleineren Betriebsspannungen verwendet wird). Der Schutzwert des Erdungsdrahtes ist daher ein relativ.³⁾

23. Die auf einer *Freileitung wandernde Ueberspannungswelle* bedeutet nicht notwendigerweise eine Gefahr für die Freileitung selbst, wenn diese richtig gebaut ist. Sind die Isolatoren derart bemessen, dass sie bei einer Spannung „überschlagen“, die wesentlich kleiner ist als diejenige, welche die Isolatoren durch „Durchschlag“ zerstören würde, so findet bei primären Ueberspannungen, denen die Ueberschlagssicherheit der Isolatoren nicht standhält, durch den Ueberschlag nicht unbedingt auch eine Schädigung der Freileitung statt, wohl aber ein Ausgleich der Energie der Ueberspannungswelle auf der Freileitung selbst. Dieser Ausgleich zieht bei den hierzulande vorkommenden und möglichen Freileitungsverhältnissen im allgemeinen keine bedeutenden Betriebsstörungen nach sich; die an die Freileitungen anschliessenden Anlageteile werden durch diesen Ausgleich auf den ersteren selbst vor den Wirkungen solcher primärer Ueberspannungen bis zu einem gewissen Grade geschützt.

24. Wir betrachten daher als wesentliche Aufgabe der Ueberspannungsschutzanordnung die *Lokalisierung der Störungsscheinung auf das Gebiet der Freileitungsanlage* (indem wir dieser durch Reflexion am Leitungsende die Ausgleichung der Störungsenergie durch Umformung in Wärme (Ziffer 28), Strahlung oder durch Ueberschlag überlassen) d. h. die

¹⁾ Neben den Massnahmen an den Anlagen selbst kommen allerdings auch andere in Betracht. Darunter ist namentlich die nachgewiesene gute Wirkung der *Aufforstung* zu verzeichnen.

²⁾ Siehe Bulletin 1914, Seite 179. A. Waeber: *Quelques cas de surtension d'origine atmosphérique*.

³⁾ Siehe Elektrotechnik und Maschinenbau 1914, Seite 261, E. Pfiffner: *Die Schirmwirkung des geerdeten Schutzdrahtes*.

Ferner E. T. Z. 1914, Seite 1, Petersen, der Schutzwert von Blitzseilen.

bestmögliche Verhinderung des Uebertritts der Ueberspannungswelle auf die Apparaten- bzw. Maschinenanlage.

25. Ueberspannungen an *Kabelnetzen*, ob sie von inneren Ursachen herrühren (Schaltungen etc.) oder zufolge angeschlossener Freileitungen äusseren (atmosphärischen) Ursprungs sind, können leichter Schaden stiften an den Kabeln, als dies bei Freileitungen der Fall ist. In diesem Sinne sind Kabelnetze als durch herantretende Ueberspannungen besonders gefährdete Anlageteile zu betrachten, und ihr Ueberspannungsschutz ist daher nach dem Grundsatz grösstmöglicher Absorption der Störungsenergie im Schutzapparat zu bewerkstelligen (Ziffer 28).

26. Die an die Anlageteile herantretenden *Ueberspannungen beanspruchen deren Isolation*. Es kommen hierbei drei Punkte in Betracht:

- a) die absolute Höhe der Ueberspannung,
- b) die Grösse des Spannungsgefälles an der betrachteten Stelle (Steilheit der Wellenstirne),
- c) die Dauer (und Häufigkeit) der Beanspruchung.

27. Die absolute Höhe einer längs der Leitung wandernden Ueberspannung erfährt jedesmal dann eine Reduktion, wenn die Welle von einem Leitungsstück grösseren „charakteristischen“ oder sogenannten Wellen-Widerstandes¹⁾ auf ein solches kleineren Wellenwiderstandes übertritt, (z. B. im Kabel, das auf eine Freileitung folgt).

28. Die Gefahr der an die Anlageteile herantretenden schädlichen Ueberspannungswirkung ist dann vollkommen beseitigt, wenn die ganze *Ausgleichsenergie* auf eine für die Anlage unschädliche Art in Wärme umgesetzt ist; die Gefahr an den Anlageteilen ist umso kleiner, je grösser der in der Leitung natürlicherweise in Wärme umgesetzte Teil der Ausgleichsenergie ist, die bei der primären Störungserscheinung auftritt. (Vorteil von Kabelnetzen, von Zweigleitungen zu einzelnen Transformatorenstationen aus Eisendraht).

29. Das (unter Ziffer 24 aufgestellte) Schutzprinzip der Abwehr von Ueberspannungen von den an das Freileitungsende angeschlossenen Anlageteilen deckt sich unter Verwendung der heute zur Verfügung stehenden Mittel nicht im vollen Umfang mit der (unter Ziffer 25 aufgestellten) Forderung grösstmöglicher Absorption der Störungsenergie durch die eigentliche Schutzanordnung.

30. Gegen Ueberspannungen, die durch ihren Amplitudinalwert gefährlich sind, können alle Schutzapparate mit „Ventilwirkung“ in Betracht kommen, d. h. Funkenableiter im allgemeinen Sinn, wie Hörner, Walzen, Giles-Ventile.²⁾ Diese Apparate werden mit vorgesetztem Dämpfungswiderstand verwendet. Letzterer erfüllt hierbei zwei Funktionen: Er wirkt erstens als Dämpfungswiderstand im Sinne möglichst reflexionsfreier Umwandlung der Ueberspannungsenergie in Wärme, und gleichzeitig zur Begrenzung des über den Lichtbogen tretenden Betriebsstromes auf eine, die selbsttätige Abschaltung der betreffenden Betriebskreise vermeidende, mässige Stärke. Die nachstehend bezeichneten Umstände verringern die allgemeine Anwendbarkeit der Funkenableiter in modernen Starkstromanlagen:

a) Bei höheren Betriebsspannungen (z. B. über ca. 12 000 Volt) fordert die genügende Begrenzung des Betriebsstromes Werte für den Dämpfungswiderstand, welche nur noch einen kleinen Teil der Ueberspannungsenergie in Wärme überführen. Der Hauptbetrag wird bei Anwesenheit einer Drosselpule auf die ankommende Leitung zurückgeworfen. Für Freileitungen ist diese Rückwirkung im Sinne von Ziffer 23 und 24 nicht schädlich.

b) *Funkenstrecken* können, insbesondere in Verbindung mit Drosselpulen, als Schwingungsreger wirken und geben so unter Umständen zu sekundären Ueberspannungen

¹⁾ Der Wellenwiderstand ist bekanntlich $= \sqrt{\frac{L_1}{C_1}}$, worin L_1 den Selbstinduktionskoeffizienten, und C_1 die Kapazität des Leiters gegen Erde, bezogen auf die Einheit der Länge, bedeuten.

²⁾ Widerstände gemäss Ziffer 21, z. B. Wasserstrahlerder, würden gegen diese Ueberspannungen ebenfalls wirken, wenn sie entsprechend bemessen würden. Ihre Bemessung muss aber nach anderen Gesichtspunkten erfolgen. (Siehe Ziffer 41.)

Anlass; da aber diese Verhältnisse in der Praxis nicht sehr häufig auftreten, so wird die Anwendbarkeit dieser Apparate, wenn sie auch aus jenem Grunde gelegentlich anfechtbar ist, praktisch doch nur wenig beschränkt.

c) *Ueberspannungen in Form von Wellen mit steiler Stirne* erhalten durch die Anordnung solcher Funkenstrecken (wenn nicht ein Dämpfungswiderstand verwendet wird) grundsätzlich *keine Verflachung* der Wellenstirne, dagegen wirkt in diesem Sinne eine in die Abzweigung zu den gefährdeten Anlageteilen eingeschaltete *Vorschalt-drosselpule*. (Siehe Ziffer 31).

31. *Funkenlose Abwehr der Ueberspannung* von den gefährdeten Anlageteilen mit *Abflachung der Stirne* der an die Anlageteile herantretenden *Ueberspannungswelle* ist grundsätzlich durch den Einbau einer konzentrierten Induktivität zwischen Freileitung und dem zu schützenden Anlageteil (*Vorschalt-Drosselpule*) oder durch eine an jener Stelle zur Leitung parallel geschaltete Kapazität (*Schutz-Kondensator*) möglich. Bei entsprechender Dimensionierung dieser Apparate wird so durch Abflachung der Wellenstirne eine unschädlichere Erscheinungsform der Welle bewirkt.

Im gleichen Sinne und mit grösserem Schutzwert wirkt die *Kombination der Drosselpule mit dem Kondensator*.

Die Schutzwirkung dieser Apparate ist unabhängig von der Betriebsspannung und nur durch die charakteristischen Daten der Anlageteile (Induktivität und Kapazität) sowie die Konstanten der Schutzanordnung selbst bestimmt. Die nachbezeichneten Umstände vermindern etwas die Wirksamkeit und Anwendbarkeit der Schutzkondensatoren und Drosselpulen:

a) Eine merkbare *Reduktion der absoluten Höhe der Ueberspannung* durch diese Apparate oder deren Kombination tritt nur ein, wenn die räumliche Ausdehnung der auftretenden Welle (ihre Länge) ein bestimmtes durch die Konstanten der Anlageteile und der Schutzanordnung gegebenes Mass nicht überschreitet.

b) Drosselpule und Kondensator bilden für die an die Anlageteile herantretenden Ueberspannungswellen Reflexionspunkte; ihre Schutzwirkung bezieht sich nur auf die „durchgehende Welle“, nicht auf die „rücklaufende Welle“, welche mit dem vollen Spannungssprung bei gleichzeitiger Erhöhung des maximalen Wertes ausserhalb der Vorschalt-Drosselpule umkehrt. Wo es sich um Rückwerfung auf Freileitung handelt, ist dieser Umstand gemäss Ziffer 23 und 24 meist nicht schädlich.

c) Drosselpule und Kondensator nehmen nur vorübergehend einen Teil der Ueberspannungsenergie auf, ohne deren wesentliche Umwandlung in Wärme; sie vernichten also keine Ueberspannungsenergie.

d) Die Kombination von Drosselpule und Kondensator bildet (eventl. mit weiteren Anlageteilen) einen lokalen Schwingungskreis, der infolge Anregung durch periodische Wellenzüge z. B. zu Resonanzspannungen hoher Amplitude führen kann. Erfahrungsgemäss treten derartige Verhältnisse jedoch relativ selten auf, sodass dies die praktische Anwendbarkeit dieser Anordnung wenig beschränkt.

32. Die Behebung der unter 31 a - d erwähnten Nachteile der Vorschalt-drosselpulen und Kondensatoren ist grundsätzlich durch die *Ueberbrückung* der *Vorschalt-Drosselpule* durch einen *ohmschen Widerstand* und die Vorschaltung eines solchen vor den Kondensator möglich (System Campos¹⁾). Durch sinngemäss Dimensionierung der Konstanten kann für die gegebene Anlage das *Hauptgewicht der Schutzwirkung des Apparates* auf die Behebung einer der durch die Punkte 31 a - d erwähnten Nachteile gelegt werden. Für Freileitungsanlagen erblicken wir in der Verwendung des zusätzlichen Widerstandes im Wesentlichen ein Mittel zur Dämpfung eventueller Schwingungskreise gemäss Ziffer 31 d. Im Sinne von Ziffer 25 ist für Kabelanlagen das Hauptgewicht dieser Schutzanordnung auf die möglichst vollständige Absorption der Ueberspannungsenergie im Ueberbrückungswiderstand zu legen.

¹⁾ Siehe auch E.T. Z. 1914, Seite 610. R. Reinhold: Eine neue Schutzanordnung für elektrische Stromkreise gegen Ueberspannungen und ähnliche Störungen.

33. Die *Abflachung steiler Wellenstirnen* kann durch *Hintereinanderschaltung mehrerer konzentrierter Induktivitäten* (Drosselspulen) in nicht zu kleinem gegenseitigem Abstand vergrössert, die unter Punkt 31 zitierte Schutzwirkung in beliebigem Masse verbessert werden.

34. Die durch den Schutzapparat auf eine ungefährliche Form gebrachte Welle, die in das Bereich der gefährdeten Anlageteile übertritt, kann durch *Reflexionserscheinungen an Betriebsinduktivitäten* (Stromwandler, Auslösespulen von Schaltern und dgl.) aufs neue auf einen gefährlichen Betrag der absoluten Spannung gebracht werden. *Die Ueberbrückung der Induktivität durch eine Funkenstrecke oder einen Widerstand* vermindert diese Reflexionserscheinung auf ein ungefährliches Mass.

35. *Die Entstehung sekundärer Ueberspannungs-Erscheinungen aus der primären Störung* ist dann vollkommen vermieden, wenn deren Ausgleichsenergie im Schutzapparat vollständig in Wärme überführt wird. Dies ist von Bedeutung für Kabelanlagen, siehe Ziffern 25, 28.

III. Praktische Leitsätze für den Schutz elektrischer Anlagen gegen Ueberspannungen.

(NB. Die empfohlenen Massnahmen sind, um möglichst dem Bedürfnis des Praktikers zu genügen, im nachstehenden nach *Anlageteilen*, wie Freileitung, Maschinenanlage etc., und nach deren Elementen geordnet.)

36. Der Ueberspannungsschutz elektrischer Anlagen hat gemäss den vorangegangenen Abschnitten I und II nach folgenden vier Gesichtspunkten zu erfolgen:

- a) Vorbeugende Massnahmen zur möglichsten Vermeidung primärer Störungerscheinungen an der gegebenen Anlage.
- b) Anordnung von Schutzapparaten zur Umbildung der auftretenden Ueberspannungen in eine für die Anlageteile unschädliche Form.
- c) Vorbeugende Massnahmen gegen die Verkettung weiterer Ueberspannungsmöglichkeiten mit der aufgetretenen primären Störung.
- d) Konstruktive Massnahmen an besonders gefährdeten Anlageteilen zur schadlosen Aufnahme erhöhter Beanspruchungen.

Die Anwendung dieser Grundsätze entsprechend den Erörterungen in vorstehenden Abschnitten führte zu nachfolgenden Richtlinien für empfehlenswerte Anordnung des Ueberspannungsschutzes in Starkstromanlagen. Die darin empfohlenen Massnahmen entsprechen der heutigen Entwicklung der Elektrizitätserzeugungs- und Verteilungsanlagen sowie dem heutigen Stand der Maschinen- und Apparatenkonstruktion.

37. *Freileitungsisolatoren.* Mit Rücksicht auf den Ueberspannungsschutz sind die Freileitungsisolatoren auf elektrische Festigkeit so zu bemessen, dass ihre *Durchschlagsfestigkeit* grösser ist als die Ueberschlagsfestigkeit des trockenen und sauberen Isolators. Die *Ueberschlagsspannung* des Isolators mit nasser oder berusster Oberfläche soll mindestens den doppelten Wert der maximalen Betriebsspannung betragen, welche bei Erdung einer Phase zwischen dem übrigen Leitungssystem und Erde auftritt.

Die Beanspruchung des Isolators durch häufige Oberflächen-Entladungen kann für Stützisolatoren hoher Betriebsspannung durch Anwendung von metallenen Schutzringen, an die die Ueberschlagslichtbogen ansetzen, gemildert werden.

38. Die Spannung, bei welcher die *Innenraum-Isolatoren* in der an die Freileitung anschliessenden Schaltanlage überschlagen, soll höher sein als die Ueberschlagsspannung des Freileitungsisolators bei trockener und sauberer Oberfläche. (Ziffern 23, 24.)

39. *Geerdeter Schutzdraht für Freileitungen.* Zur Verminderung der Höhe der durch atmosphärische Einflüsse entstehenden Ueberspannungen werden mit Vorteil über den Freileitern verlegte *geerdete Schutzdrähte* verwendet. (Ziffer 22.)

Ihre Wirkung nimmt mit wachsender Höhe der Leiter über Erdboden relativ ab; bei *hoch verlegten Leitern* oder bei besonders *breiter Anordnung der Leiter* (stark aus-

ladenden Querträgern) empfiehlt sich daher die Anordnung von zwei (nebeneinander) über den Leitern verlegten Schutzdrähten.

Die beschränkte Wirkung des Mittels und dessen Kosten lassen es im allgemeinen nur als wirtschaftlich empfehlen in gewitterreicheren Gegenden und bei nicht allzugrossen Mastenhöhen, unter mittleren Verhältnissen etwa für Masten mit Leitungshöhen bis zu 10 bis 12 m über Boden.¹⁾

Der Schutzdraht besteht vorteilhaft aus verzinktem Stahldraht oder Stahlseil von 35 bis 50 mm².

Bei Niederspannungsanlagen mit Nulleiter kann dieser als Schutzdraht verlegt werden.²⁾

Der Schutzdraht benötigt vorzüglichste Erdung; er ist je nach den Grundwasser- verhältnissen etwa an jedem dritten oder vierten Mast an Erde zu legen.

Die Erdleitung sollte bei Verwendung von Kupferdraht mindestens 25 mm², bei Eisen- draht mindestens 100 mm² Querschnitt aufweisen. Erdplatten empfehlen sich nur bei günstigen Grundwasserverhältnissen, andernfalls treten mehrere Stabelektroden (Bandeisen, Gasrohre) von 2 bis 3 m Länge an ihre Stelle.

40. Etwelchen *Schutz gegen direkte Blitzschläge* für die Freileitungen bieten hohe Blitzableiter gewöhnlicher Art. Solche haben aber da keinen Sinn, wo geerdete eiserne Masten an sich die Leitung überragen und sind an Holzmasten nicht zu empfehlen. Unter Umständen kann an exponierten Stellen die Aufstellung besonderer, von der Leitung getrennter aber neben ihr, sie überragend angebrachter metallener Auffangstangen in Betracht kommen. Hauptsache ist dabei immer die gute und sichere Erdleitung. Die Anordnung ist in besonders gefährdeten Gegenden zu empfehlen. (Ziffer 20.)

41. *Apparate für die stetige Ableitung der statischen Aufladungen von Fernleitungen* sind bei allen ausgedehnten Freileitungen zu empfehlen, neben allem anderen Ueberspannungsschutz. (Ziffer 21.)

Bewährt haben sich dafür sowohl *Wasserstrahlerder* als auch *Erdungsdrosselspulen*.

a) *Wasserstrahlerder* sind nur in sehr sorgfältigen Konstruktionen, die den nachstehenden Bedingungen entsprechen, und bei gutem Unterhalt, zu empfehlen bis auf Spannungen von etwa 40 000 bis 50 000 Volt hinauf, da, wo das fliessende Wasser ohne zu grosse Kosten oder Schwierigkeiten erhältlich ist; sie werden vorgezogen, wo sich die teuren Drosselspulen nicht lohnen, und haben vor diesen infolge ihres hohen, induktions-losen Widerstandes den Vorzug der Dämpfung möglicher Schwingungskreise. (Ziffern 6, 16.)

Der sichere Betrieb des *Wasserstrahlerders* verlangt der stark veränderlichen Leitfähigkeit des Wassers wegen Konstruktionen, welche den Widerstand (Querschnitt) des nützlichen Wasserwegs leicht einstellen lassen und die Erhaltung seiner bestimmten Form garantieren. Ausführungen mit *frei* fallendem Wasserstrahl (geringer Wasserverbrauch) neigen infolge elektrostatischer Erscheinungen bei höheren Spannungen zum Zerstäuben des Strahls und nachfolgender Lichtbogenbildung; sie sind daher nur für Spannungen bis etwa 10 000 bis 15 000 Volt zu empfehlen. Konstruktionen mit *frei steigendem* Druckwasserstrahl oder mit *eingeschlossener* Druckwassersäule sind für höhere Spannungen eher empfehlenswert. Die letzteren Konstruktionen zeigen den Nachteil von Niederschlagsbildung an den einschliessenden Isolierrohren.

Die Möglichkeit der vorübergehenden Regulierung auf kleineren Widerstand ist während des Betriebs durch Vergrösserung der Wassermenge wünschenswert, namentlich bei Freileitungsnetzen in gewitterreichen Gegenden.

b) *Erdungsdrosselspulen* bieten, ohne besondere Aufmerksamkeit der Bedienung und ohne besondere Vorkehrungen (wie Wasserbeschaffung), sichere Gewähr für rasche Ableitung der statischen Ladungen. Sie sind für beliebig hohe vorkommende Betriebsspannung verwendbar.

¹⁾ Siehe E. T. Z. 1914, Seite 1, Petersen: Der Schutzwert von Blitzseilen.

Ferner E. und M. 1914, Seite 261: Pfiffner: Die Schirmwirkung des geerdeten Schutzdrähtes.

²⁾ Siehe Bulletin 1915, Seite 113, Ringwald: Zum Ueberspannungsschutz in Sekundärnetzen.

Die *Erdungsdrosselspulen* dürfen nicht als mehrphasige Apparate mit verketteten Magnetschenkeln ausgeführt werden, sondern sollen entweder als einphasige Apparate hergestellt oder bei Drehstrom mit viertem Magnetschenkel ausgeführt werden. Sie sind als selbst besonders durch Ueberspannung gefährdete Apparate zwischen den eigentlichen Ueberspannungs-Schutzapparaten und den zu schützenden Maschinen- und Apparaten-Anlagen anzuschliessen.

Zweckmässig ist der Einbau einer Schutzwicklung vor die Apparate zur Schirmung der eigentlichen Wicklungen gegen Sprungwellen. (Ziffer 31.)

Erdungsdrosselspulen sind zur Vermeidung von Schwingungerscheinungen zweckmässig über Dämpfungswiderstände an die Hochspannungsleitung anzuschliessen.

c) Ueber die zu verwendende *Anzahl* der stetigen Erdungen eines gegebenen Freileitungsnetzes liegen keine allgemein gültigen Berechnungen oder Erfahrungsregeln vor; jedenfalls sollen längere Leitungen mindestens an zwei extremen Punkten über Erdungsapparate an Erde gelegt sein.

42. Zum *Schutz der Maschinen- und Apparaten-Anlagen mit Freileitungsnetz* sind besondere Ueberspannungsschutz-Apparate zur Umbildung der von Seiten der Freileitung an die Teile der innern Anlage herantretenden Ueberspannungen nötig. An solchen kommen beim heutigen Stand der Ueberspannungsschutz-Technik, unter geeigneter Hinzuziehung der Drosselspule, eventuell mit Ueberbrückungswiderstand, in Betracht: Ableiter mit *Ventilfunktion (Funkenstrecken)*, besonders Hörner und Vielfachfunkenstrecken in Form von Rollenableitern, sowie *Kondensatoren*. (Ziffern 30, 31.)

a) Von den Funkenstrecken ist der *Rollenblitzableiter mit Dämpfungswiderstand* ein billiges Schutzmittel, jedoch wegen Neigung zum Stehenbleiben des Lichtbogens des Betriebsstroms im allgemeinen nur für Niederspannung und relativ niedrige Hochspannung, etwa bis $5000 \div 10\,000$ Volt, und nur für Wechselstrom, bewährt und verwendbar. (Ziffer 30).

Beim *Rollenblitzableiter* mit Vielfachfunkenstrecke soll der *Dämpfungswiderstand* nicht grösser gewählt werden, als es die Bedingung des höchst zugestandenen Teils des Betriebsstroms erfordert, der beim Ansprechen des Apparates über diesen fliesst. Als Widerstandsmaterial kommen in Betracht: Silit, Karborundum etc. Empfehlenswert ist aber nur Material, das sich durch Dauerversuche als in der Hitze und auch im Widerstandswert beständig erwiesen hat.

Die Ausdehnung und Isolierung des Freileitungsnetzes ist bei Anlagen von den hier in Betracht kommenden Spannungen bis etwa 5000 Volt meist nicht derart, dass die Ausbildung gefährlicher Wanderwellen zu befürchten ist, der Einbau von Drosselspulen kann daher in Wegfall kommen.

b) Die Hörnerapparate mit *Dämpfungswiderstand und mit Vorschalt-drosselspule* vor der Maschinenanlage sind für Gleichstrom und Wechselstrom im allgemeinen für Spannungen bis 15 000 Volt, und nach Theorie auch für mehr verwendbar. Sie sind bis zu jener Spannung, nach praktischer Erfahrung als billige Apparate zu empfehlen. Für höhere Spannungen erfordert die Rücksicht auf Beschränkung des nachfolgenden Betriebsstromes Dämpfungswiderstände, die namentlich für sehr grosse Freileitungsnetze keine genügende Wirksamkeit der Hörnerableiter mehr ergeben. (Ziffer 30.)

Bei den *Hornapparaten* soll das Einstellen der Horndistanzen versuchsmässig an der gegebenen Anlage geschehen, da die Einstellung u. a. auch von der Kurvenform der Spannung abhängt.

Voraussetzung für das richtige Funktionieren der Hörner ist deren geschützte und staubfreie Aufstellung unter Dach. Innerhalb obiger Betriebsspannungsgrenzen ist erfahrungsgemäss die Schutzwirkung von Hornapparaten die im Freien aufgestellt sind, der erforderlichen grösseren Funkendistanz wegen wertlos.

Bei der Bemessung des *Dämpfungswiderstands* ist zu beachten, dass die an den Widerstand herantretende Ueberspannungsenergie in diesem nahezu vollständig vernichtet (in Wärme umgewandelt) werden kann, wenn dessen Wert ungefähr gleich dem Wellenwider-

stand der Fernleitung ist, d. h. 500 bis 700Ω für jeden Leiter bei Freileitungen. Dieser Wert ist daher anzustreben, soweit die Rücksicht auf die Beschränkung des nachfolgenden Betriebsstroms dies zulässt.

Höhere Werte des Dämpfungswiderstandes sind aber bei Freileitungsanlagen ohne Schaden für die Anlageteile zulässig, wenn diesen eine *Drosselspule mit Ueberbrückungswiderstand* vorgeschaltet ist, Ziffern 30 c, 32 (siehe Fig. 2 im IV. Abschnitt).

Der *Dämpfungswiderstand* soll, entgegen der heutigen Praxis, zwischen Hauptleitung und Hornapparat gesetzt werden, damit auch beim Abirren des Lichtbogens auf benachbarte Metallteile der Widerstand seine Funktion beibehält. (Fig. 2).

Diese Anordnung verlangt gut durchkonstruierte Dämpfungswiderstände mit homogenem wärmebeständigem Widerstandsmaterial. In dieser Beziehung verhalten sich Metallwiderstände am günstigsten. Die bekannten, billigeren Flüssigkeitswiderstände (Trogwiderstände u. dgl.) sollen jedenfalls nicht als reine Flüssigkeitswiderstände, die bei Stromdurchgang rasch verdampfen, ausgeführt sein. Es sind z. B. Füllungen aus Kies mit einer Lösung von Wasser und Glyzerin zu empfehlen, die gleicherweise auch kältebeständig sind¹⁾. Die Berührungsfläche zwischen Einführungselektroden und Füllmasse soll möglichst gross sein.

c) Für alle Spannungen bildet die Kombination *Schutzkondensator mit Vorschalttressel* spule rechnungsmässig den wirksamsten Schutz der inneren Anlageteile, und ist namentlich wertvoll für Anlagen mit grossen Freileitungsnetzen, in denen die Ausbildung besonders gefährlicher Wanderwellen zu erwarten ist, und für höhere Spannungen (z. B. über etwa 10000 Volt). Die praktische Erfahrung hat den rechnungsmässigen Wert bestätigt, soweit nicht für sehr hohe Spannungen einzelne Konstruktionen von Kondensatoren selbst diesen Spannungen nicht stand hielten. Diese Kombination in geeigneter Form ist daher überall zu empfehlen, wo die relativ hohen Kosten es erlauben. (Ziffer 31.)

Für die *Kombination von Drosselspule und Schutzkondensator* ist die in Fig. 3, IV. Abschnitt angegebene Schaltweise zu empfehlen; diese Kombination genügt nach Theorie und Erfahrung den vorausgesetzten Schutzprinzipien bei entsprechend dimensionierten Apparaten für alle Betriebsspannungen in hinreichendem Mass (Ziffern 24 und 25).

Hiebei ist die Ueberbrückung der Drosselspule mit einem richtig dimensionierten Widerstand zu empfehlen (Ziffer 32).

Die oft gebräuchliche Abzweigung des Kondensatorenanschlusses vor der Drosselspule ist praktisch ohne Einfluss auf den Schutzwert der Kombination bezüglich der hinter ihr liegenden Anlageteile.

Voraussetzung für den Schutzwert ist die sinngemäss Dimensionierung und betriebssichere Konstruktion der fraglichen Apparate.

Die erforderliche *Induktivität der Drosselspule* bestimmt sich bei gegebener Anlage nach dem zu erzielenden *Schutzwert*. Wir erkennen diesen in der Erreichung einer bestimmten Abflachung der mit ursprünglich steiler Wellenstirne gedachten Ueberspannungswelle, die über die Drosselspule in die zu schützenden Anlageteile tritt. Von diesem Gesichtspunkte aus lässt sich unter Zugrundelegung bestimmter Voraussetzungen²⁾ für die

¹⁾ Bulletin 1912, Seite 174. Protokoll der Diskussionsversammlung des S. E. V. 1912.

²⁾ Wir definieren den Schutzwert der Drosselspule durch das maximale Spannungsgefälle auf der Wellenstirne einer, die Drosselspule übretenden unendlich langen Wanderwelle, die vor dem Auftreffen auf den Apparat als Rechteckwelle mit senkrechter Wellenfront gedacht ist. Nachstehenden Zahlenwerten liegt die Voraussetzung zu Grunde, dass dieses maximale Spannungsgefälle $500 \div 750$ Volt per Meter längs der Leitung nicht überschreiten soll. Weiter ist angenommen, dass die Ueberschlagsspannung an den Freileitungsisolatoren, die den höchstmöglichen Amplitudinalwert der auf der Freileitung sich ausbildenden Ueberspannung begrenzen, den $3 \div 4$ fachen Wert der betriebsmässigen Spannung gegen Erde nicht überschreite. Wir verweisen bezüglich näheren Erläuterungen auf eine demnächst erscheinende weitere *Publikation*, welche die Prinzipien bekannt gibt, auf denen die hier angewandten rechnungsmässigen Untersuchungen aufgebaut sind. Die folgenden Angaben bedeuten anzustrebende Mittelwerte der Schutz-Induktivität. Sie schliessen eine gewisse Sicherheit ein, indem sie in Anordnung nach Fig. 3 auch bei abgeschaltetem Schutzkondensator noch eine zur Not genügende Schirmwirkung ausüben, was bei den heute meist gebräuchlichen, viel kleineren Drosselspulen mit Sicherheit nicht der Fall ist.

hierzulande gebräuchlichen Freileitungsanlagen jeder Betriebsspannung ein bestimmter Wert der erforderlichen Induktivität der Drosselspule zuordnen.

Die zylindrischen Drosselspulen werden zweckmässig aus Eisendraht hergestellt, wenn die betriebsmässige Strombelastung nicht zu grosse Querschnitte erfordert.

Der *Ueberbrückungswiderstand*, der in Freileitungsanlagen wesentlich den Zweck der Dämpfung von Schwingungskreisen hat, soll 600 bis 1000 Ω betragen. Kommen bei zylindrischen Drosselspulen mehrere Spulen hintereinander zur Anwendung, so genügt die Ueberbrückung der den zu schützenden Anlageteilen zunächst liegenden Spule. Als Material für diese Widerstände ist Karborundum zu empfehlen.

Der *Kondensator* soll pro Phase eine Kapazität von mindestens 0,025 Microfarad aufweisen. Es ist darauf zu achten, dass namentlich bei hohen Betriebsspannungen, die eventuell eine Serieschaltung mehrerer Kondensatorbatterien benötigen, diese untere Grenze nicht wesentlich unterschritten wird. Mit der Kapazität des Kondensators steigen sowohl sein Schutzwert als seine räumliche Grösse und Anschaffungskosten; diese setzen eine wirtschaftliche Grenze fest. Bei den heute im Markt vorkommenden Modellen und Preisen wird vielfach auf etwa 0,05 Microfarad gegangen.

Der *konstruktive Aufbau* der Kondensatorbatterien soll vor allem die erforderliche Sicherheit gegen Durchschlag bieten. Diese Forderung ist selbstverständliche Voraussetzung zur Erreichung eines wirklichen Schutzwertes des Kondensators. Nach bis heute gewonnenen Erfahrungen vermögen nicht alle im Betrieb stehenden Ausführungen dieser Forderung gerecht zu werden. Besondere Aufmerksamkeit ist der Konstruktion der Endklemmen der Elemente und der Isolierung an den Enden zu schenken. Zur Sicherheit soll jeder Kondensator aus parallel geschalteten und einzeln gesicherten Elementen bestehen. Die Kontrolle

Betriebsspannung	Wünschbare Induktivität der Drosselspule	Betriebsspannung	Wünschbare Induktivität der Drosselspule
bis 10 000 Volt	ca. 0,15 Millihenry	bis 60 000 Volt	ca. 0,50 Millihenry
" 20 000 "	0,20 "	" 80 000 "	0,65 "
" 35 000 "	0,30 "	" 100 000 "	0,80 "
" 45 000 "	0,40 "		

Die höheren der vorstehend vorkommenden Werte der Induktanz sind mit zylindrischen Spiralen nur mit grossen Baulängen herzustellen. Man kann dazu einen Teil der Spiralen ausserhalb des Gebäudes bei der Freileitungseinführung anbringen, oder man kann Flachspiralen verwenden, die wesentlich geringeren Raumbedarf aufweisen. Ueber die erforderliche Anzahl und Grösse der heute meist noch gebräuchlichen einfachen zylindrischen Drosselspulen gibt die folgende Tabelle Auskunft. Die Angaben verstehen sich für Spulen aus Eisen- oder Kupferdraht mit Windungsdurchmessern von 20 cm und 30 cm. Der Abstand zweier Windungen ist zu 15 mm angenommen. Mit Rücksicht auf die sehr schnell veränderlichen Vorgänge beim Auftreffen einer Ueberspannungswelle auf die Drosselspule kann hiebei der Einfluss des Eisens auf den Wert der Induktivität unberücksichtigt bleiben. Andere Spulenformen, die z. T. schon verwendet worden sind, sollen im oben erwähnten weiteren Bericht behandelt werden.

Anzahl der Drosselspulen pro Phase und ihre Windungszahl für 30 cm und 20 cm Spulen Ø

Drahtdurchmesser mm		8		10		12		15	
Zulässige Strombelastung in A.	Kupfer	200		300		400		550	
	Eisen	70		100		150		200	
Betriebsspannung V.	Totale Induktivität pro Phase in Millihenry	30 Ø	20 Ø	30 Ø	20 Ø	30 Ø	20 Ø	30 Ø	20 Ø
10 000	0,15	2 × 24	4 × 25	2 × 26	4 × 26	3 × 20	5 × 24	3 × 21	6 × 21
20 000	0,20	3 × 22	5 × 26	3 × 24	6 × 26	3 × 24	7 × 24	4 × 24	8 × 21
35 000	0,30	4 × 24	8 × 26	4 × 26	9 × 26	6 × 20	10 × 24	6 × 21	
45 000	0,40	5 × 25	10 × 26	6 × 24		6 × 24			
60 000	0,50	6 × 26		7 × 25					
80 000	0,65	8 × 26							
100 000	0,80	10 × 25							

über den Zustand der Sicherungen der einzelnen Elemente ist durch Konstruktionen für selbsttätige Markierung der schadhaften Sicherungen zu erleichtern.

Die Gesamtheit der Kondensatorelemente einer Phase ist zu einem Ganzen in ein gemeinsames, vorschriftsgemäss geerdetes Gestell einzubauen. Es ist zweckmässig, die Gestelle fahrbar anzuordnen, um Reparaturen ausserhalb der Hochspannungszellen vornehmen zu können.

Die *Kondensatorbatterien* sind über *Schalter mit Widerstandsstufe* an die Hochspannungsleitung anzuschliessen. Als Widerstand soll ein festes Material (Silit, Karborundum) verwendet werden. Der Widerstand soll in der Grössenordnung 500 bis 1000^Ω liegen.

Die Aufstellung der Kondensatoren hat, wenn immer möglich, zur ebenen Erde zu erfolgen. Die Erdleitung ist auf dem kürzesten Weg unter möglichster Vermeidung von Ecken nach Erde zu führen. Ihr Querschnitt soll nicht unter 50 mm² Kupfer gewählt werden. Eisendraht darf nicht verwendet werden.

Ist die Aufstellung in grösserer Entfernung von der Erdungsstelle, z. B. in einem oberen Stockwerk vorgesehen, so ist der Querschnitt der Erdleitung entsprechend zu vergrössern.

43) a) Die relative *örtliche Lage und Reihenfolge der Anlageteile* (Fernleitung, Schutzapparate, zu schützende innere Anlage) soll nach allgemeiner Erfahrung so sein, dass die eigentlichen Ueberspannungsschutzapparate möglichst im geraden Zuge der ankommenden Leitung liegen und die Ableitung zu den zu schützenden Anlageteilen mittels Richtungsänderung als Abzweigung ausgeführt ist.

b) Bei Richtungsänderungen ist bei den *Leitungen* für die Betriebsströme in Anlagen höherer Spannung (etwa von 20 000 V an) auf allmähliche Uebergänge (Bögen, Vermeidung scharfer Ecken) zu achten.

c) In Anlagen sehr hoher Spannung (etwa von 40 000 Volt an) sind an allen unter Spannung stehenden Teilen, Leitungen, Apparaten, Klemmen etc. alle Kanten, Ecken und Spitzen möglichst zu vermeiden.

44. *Transformatorstationen, die an das Freileitungsnetz angeschlossen sind*, erhalten grundsätzlich die gleiche Schutzanordnung wie unter Ziffer 42 und 43 angegeben.

In Netzteilen, die häufigen atmosphärischen Störungen ausgesetzt sind, ist in den angeschlossenen Transformatorstationen auf die sorgfältige Durchbildung der Schutzanordnung besonders Gewicht zu legen. Hierbei sind mit dem Kondensatorschutz in Verbindung mit Drosselpulnen besonders günstige Resultate erzielt worden.

In Transformatorstationen, die Raumverhältnissen wegen oder wirtschaftlichen Ueberlegungen gemäss, keine Kondensatoren aufnehmen können, ist die erforderliche Schutzanordnung durch Serieschaltung mehrerer Drosselpulnen zu erzielen. Die totale Induktanz sollte in solchem Fall mindestens 0,5 Millihenry betragen. Hierbei kann ein Teil der Drosselpulnen ausserhalb der Station auf dem zunächst liegenden Mast in die Leitung eingebaut werden. Die dem Transformator zunächst liegende Spule ist mit einem Dämpfungswiderstand zu überbrücken. (Ziffer 33.)

Die gleichzeitige Anordnung des Hornschutzes gemäss Fig. 2 ist zu empfehlen, wenn die Hornapparate unter Dach aufgestellt werden können.

Es ist zweckmässig, die *Zweigleitungen zur Station in Eisendraht* auszuführen, insofern dies aus betriebstechnischen Rücksichten zulässig ist. (Ziffer 28.)

45. Der *Ueberspannungsschutz in Anlagen mit Kabeln* ist grundsätzlich durch die oben genannten Schutzanordnungen gewährleistet. (Ziffern 25, 28.)

a) Für kleinere Spannungen als etwa 5000 \div 10 000 Volt sind *Vielfachfunkentrecken* (Rollenblitzableiter) mit richtig dimensioniertem *Dämpfungswiderstand* als hinreichende Schutzanordnung empfehlenswert. Siehe hierüber Ziffer 42a.

b) Für grössere Spannungen als etwa 5000 \div 10 000 Volt wird zweckmässig die Verwendung von Apparaten mit Funkentrecken vermieden. An ihre Stelle soll der *Kondensator in Verbindung mit der überbrückten Drosselpule* treten.

Der *Widerstand* der letzteren ist auf grösstmögliche Absorption der Uebergangsergie zu dimensionieren, die Widerstandswerte bewegen sich in den Grenzen 50 bis 100 Ω für moderne Kabelnetze. (Ziffer 28.)

Die Schaltweise des *Kondensators* und der übrigen Apparate soll nach Fig. 3, IV. Abschnitt, geschehen. Die erforderliche Kapazität zur Erzielung eines bestimmten Schutzwertes kann kleiner sein als in der Schutzanordnung bei Freileitungsnetzen. Bei Verwendung gebräuchlicher Modelle moderner Schutzkondensatoren in den Grenzen 0,025 bis 0,05 Microfarad genügt es i. allg., den Kondensator an die Sammelschiene aller abgehenden Kabelleitungen anzuschliessen, wenn deren mehrere sind. (Siehe im übrigen Ziffer 43.)

Zur *Dämpfung von Schwingungskreisen zwischen den Kabelleitern und Erde* sollen die *Phasen* des Kabels über einen *hohen Widerstand an Erde* gelegt werden. Dieser kann an die Sammelschienen angeschlossen sein. Die Bestimmung des Widerstandes richtet sich nach dem zulässigen Ableitungsverlust. Für kleinere Betriebsspannungen können feste Widerstände verwendet werden (z. B. Silit), für hohe Spannungen kommen event. Wasser-Widerstände (ruhende Wassersäule) in Frage.

c) Beim direkten Anschluss eines Fernleitungskabels an eine Freileitung sollen die Enden des Kabels und der Freileitung je mit überbrückten Drosselpulnen im Sinne von Ziffern 42 c und 45 b versehen werden. Bei höheren Betriebsspannungen (etwa über 10 000 V) wird zweckmässig die Schutzwirkung durch Heranziehung eines Schutzkondensators erhöht, der zwischen den Drosselpulnen anzuschliessen ist.

46. Die Dimensionierung der herangezogenen Schutzapparate kann praktisch nicht so weit getrieben werden, dass die Schutzanordnung für alle möglichen auftretenden Ueberspannungserscheinungen absolute Gewähr für Schirmung der hinter ihr liegenden Anlageteile vor Ueberspannungswellen zu bieten vermag. Es ist daher zu empfehlen, *durch weitere Schutzmassregeln einer möglichen Gefährdung der eigentlichen Apparaten- und Maschinenanlage vorzubeugen*. Es kommen nachfolgende Massnahmen in Betracht.

47. Die Isolation derjenigen Anlageteile, an denen durch Ueberspannungen besonders grosser Schaden entstehen kann (Maschinen- und Transformatorwicklungen, Kabel) soll derart sein, dass deren Durchschlagsspannung wesentlich höher liegt als die Ueberschlagsspannung der Innenraumisolatoren und wenn immer möglich so hoch, als es die wirtschaftlichkeit der betreffenden Objekte zulässt.

48. *Alle im Zuge der Leitung liegenden Betriebsinduktivitäten*, wie Stromwandler und Auslösespulen an Schaltapparaten, sollen zur Verhütung weiterer Ueberspannungserscheinungen indirekter Natur und zum Eigenschutz zweckmässig überbrückt werden: (Ziffern 32, 35.)

Die funkenlose Ueberbrückung durch ohmsche Widerstände ist zur Vermeidung möglicher lokaler Schwingungserscheinungen der Ueberbrückung durch eine Funkenstrecke vorzuziehen. Als Widerstandsmaterial kommt Karborundum oder Silit in Anwendung. Bei der Bemessung des Parallelwiderstandes für Präzisions-Stromwandler ist die mögliche Beeinträchtigung der Messgenauigkeit des Apparates im Auge zu behalten.¹⁾

49. Das mögliche Eindringen von Sprungwellen sekundären Ursprungs in die *Wicklung von Transformatoren* kann durch eine vor die Klemmen *geschaltete* richtig dimensionierte *Vorschaltdrosselpule mit Ueberbrückungswiderstand* auf ein praktisch gefahrloses Mass gebracht werden. (Ziffern 31, 32, 35.)

Die Induktivität der Drosselpule soll nicht unter dem halben Wert der unter Punkt 42 c empfohlenen bezüglichen Mittelwerte der Induktivitäten liegen. Für Material und Dimensionierung des *Ueberbrückungswiderstandes* gelten dieselben Bemerkungen wie unter Ziffer 42 c.

50. Die erforderliche *Sonderisolierung der Eingangswindungen auf der Oberspannungsseite der Transformatoren*, Windung gegen Windung, soll mindestens 5% der gesamten Windungszahl umfassen. Transformatoren, bei denen die Windungsisolation an und für sich schon einen dieser Sondersisolierung ungefähr entsprechenden Sicherheitsgrad aufweist, wie dies i. a. bei modernen Ausführungen bis ca. 10 000 Volt der Fall ist, können hievon ausgenommen werden.

¹⁾ Bulletin 1915, Seite 121. E. Wirz, Ueberspannungserscheinungen bei Stromwählern.

Gegen Resonanzerscheinungen, die durch die Wicklungsanordnung bedingt, z. B. durch Stosserregung ausgelöst werden können, bildet die besondere Isolierung der Eingangswindungen noch keinen Schutz. (Ziffer 6.)

51. Eine dauernd sichere Abstützung der Transformatorspulen ist auch für kleinere Typen Erfordernis. Die bekannten Kräftewirkungen von Kurzschlüssen an den ungenügend abgestützten Spulen ziehen erfahrungsgemäss die Isolation im hohen Mass in Mitleidenschaft.

52. Zur Vermeidung des möglichen Eindringens von Sprungwellen sekundären Ursprungs in die Generatorwicklung ist darnach zu trachten, die *Anschlussleitungen der Generatoren an die Sammelschienen mit kleinem Wellenwiderstand wenn immer möglich als Kabel auszuführen.* (Ziffern 27, 28.)

53. Die *Einführung isolatoren von Transformatoren*, (Transformatorkabinen), Apparaten (Oelschalter, Kabelendverschlüsse) sollen unter Berücksichtigung der möglichen Ueberanstrengungen (durch Reflexionserscheinungen, Sprungwellen) in ihrem Aufbau den Prinzipien der modernen elektrischen Festigkeitslehre¹⁾ genügen, damit nicht infolge mangelhafter Konstruktion (in elektrischer Hinsicht) durch sie eine neue Störungsquelle geschaffen wird.

Insbesondere ist zu fordern, dass die Durchschlagsspannung wesentlich höher sei als der Wert der Ueberschlagsspannung.

Die Konstruktionen sollen die Ausbildung von Glimmentladungen im Innern der Durchführung nach Möglichkeit vermeiden.

An die Ausführung der besonders gefährdeten Transformatoren im Verteilnetz (Transformatorenstationen) sind in dieser Beziehung besonders hohe Anforderungen zu stellen.

54. In Hochspannungsnetzen ist die *Erdung des neutralen Punktes* über einen Widerstand vom Standpunkt der Ueberspannungsverhütung aus prinzipiell zu empfehlen. (Ziffern 4, 10, 16).

Die Grösse des Nullpunktwiderstandes kann nicht mit Sicherheit vorausbestimmt werden, sondern ist am besten durch Probieren den besonderen Verhältnissen der gegebenen Anlage anzupassen. Für schweizerische Verhältnisse hat sich der regulierbare fliessende Wasserwiderstand als besonders geeignet erwiesen. Für die Konstruktion solcher Widerstände gilt dasselbe was unter Ziffer 41 a gesagt wurde.

55. Die an das Netz angeschlossenen *Maschinen und Transformatoren* sollen zur Vermeidung höherer Harmonischen der Betriebsspannung möglichst reine Sinusform der Spannungskurve aufweisen.

Wenn sich deren Ausbildung nicht auf konstruktivem Wege verhüten lässt, kann durch Vorschaltung von Reaktanzspulen mit Ueberbrückungswiderstand die nötige Dämpfung erreicht werden. (Ziffern 3, 16.)

Da die zu Resonanz führenden Verhältnisse der Konstanten der Anlageteile rechnungsmässig im allgemeinen nur mit geringer Sicherheit zu ermitteln sind, ist die Grösse solcher Reaktanzspulen am besten durch Probieren zu bestimmen.

56. *Die zweckmässige Anordnung und Konstruktion der Schaltapparate und Sicherungen* verhüten erfahrungsgemäss die Ausbildung eines grossen Teiles der mit den Schaltoperationen verknüpften Ueberspannungserscheinungen. Es sind hierüber folgende Punkte zu beachten:

a) *Die Verwendung von Hochspannungssicherungen ist nur bedingt zulässig.* Es können nur für solche abgehende Leitungen Sicherungen als Ueberstromschutz ohne Bedenken empfohlen werden, die auch bei einpoligem Anschluss keine nennenswerte Kapazität unter sich oder bezüglich der Erde aufweisen (Anschlussleitungen für die Hilfs- und Nebenbetriebe). (Ziffern 3, 15.)

¹⁾ Siehe z. B. Bulletin 1914, Seite 221: *Giles & Capart*, Betriebstörungen an Freileitungen durch elektrische Ueberspannungen.

Bulletin 1914, Seite 179: *A. Waeber*, Quelques cas de surtensions d'origine atmosphérique dans un grand réseau aérien.

Ueberlandleitungen mit am Ende aufgestelltem Transformator sollen stets durch automatische Schalter geschützt sein.

b) Die Vorgänge bei Ein- und Ausschalten grosser Hochspannungstransformatoren und Asynchronmotoren sowie ausgedehnter Kabelnetze erfordern zum Schutz dieser Anlagenteile die *Verwendung von Schaltern mit induktionslosen Schutzwiderständen*. (Ziffern 5, 16, 17.)

Die Grösse des für Ueberspannungsschutz zweckmässigen Widerstands ist für die gegebenen Verhältnisse annähernd bestimbar¹⁾ und die Werte dafür bewegen sich in der Grössenordnung 500 bis 1000²⁾; mit Rücksicht auf Schutz des Schalters bei starker Schaltbeanspruchung ist aber meist ein viel kleinerer Widerstand notwendig.²⁾ Die Bemessung des Widerstands richtet sich nach der zu erwartenden Beanspruchung beim Abschalten unter grösster Last.

c) Die Anordnung von *Massnahmen gegen die Ausbildung gefährlicher Kurzschluss-Energien* (Vorschalt-Reaktanzspulen, Sammelschienenaufteilung) ist gleicherweise in hohem Mass dem Ueberspannungsschutz dienend. Im gleichen Sinne wirken die besonderen Vorkehrungen zum Schutz des Schalters. (Blockierungsrelais; Abschalten von Ueberlastungen bei verringelter Erregung). (Ziffer 17.)

IV. Praktische Beispiele für die Anordnung von Ueberspannungsschutzapparaten in Hochspannungsanlagen.

A. Die Schaltweise verschiedener Schutzapparate am Fernleitungsende.

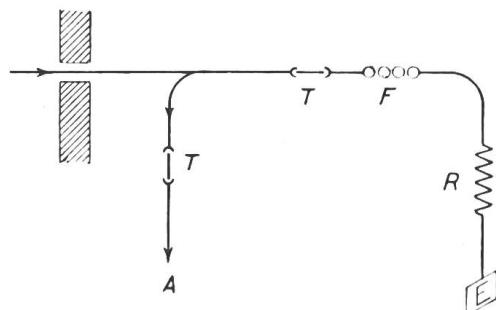


Fig. 1.

Die Verwendung der Funkenstrecke mit Dämpfungswiderstand für Spannungen bis etwa $5000 \div 10\,000$ Volt (Ziffer 42a).

Legende :

- A : Nach der zu schützenden inneren Anlage.
- C : Schutzkondensator.
- E : Erdung (Erdplatte, etc.).
- F : Funkenstrecke (Rollenblitzschutzapparat u. dgl.).
- H : Hörnerfunkenstrecke.
- LR : Drosselspule mit Ueberbrückungswiderstand.
- R : Trockenwiderstand.
- RW : Wasserwiderstand.
- SS : Stufenschalter (z. B. Trenner mit Vorstufe).
- T : Trenner.

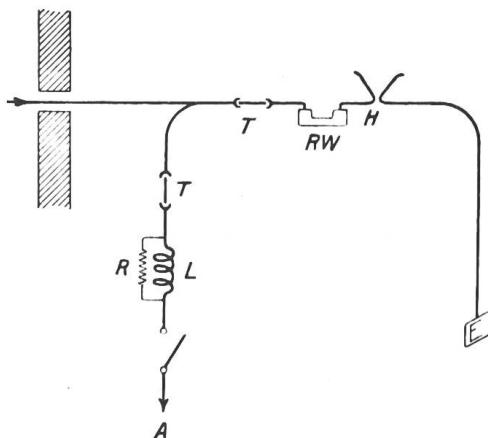


Fig. 2.

Die Verwendung des Hornapparates mit Dämpfungswiderstand und Drosselspule für Spannungen bis etwa 15 000 Volt (Ziffer 42b).

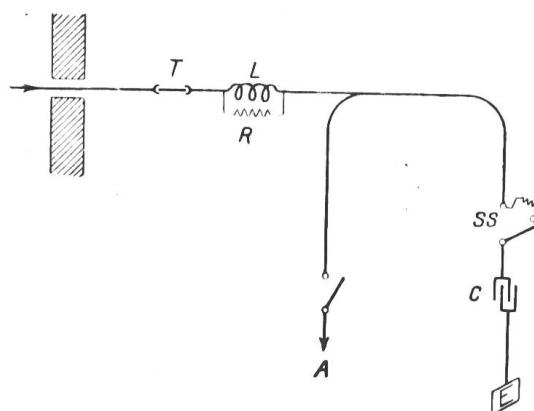


Fig. 3.

Die Verwendung des Schutzkondensators mit der Drosselspule (Ziffer 42c).

¹⁾ Siehe Bulletin 1914, Seite 15. *B. Bauer*: Ueber die Notwendigkeit von Schutzwiderständen in Hochspannungsölschaltern.

²⁾ Siehe Bulletin 1916, April, Seite 85: *Dritter Bericht der Kommission für Hochspannungsapparate und Brandschutz*. Vorschaltwiderstände und Reaktanzen als Schutz für Oelschalter.

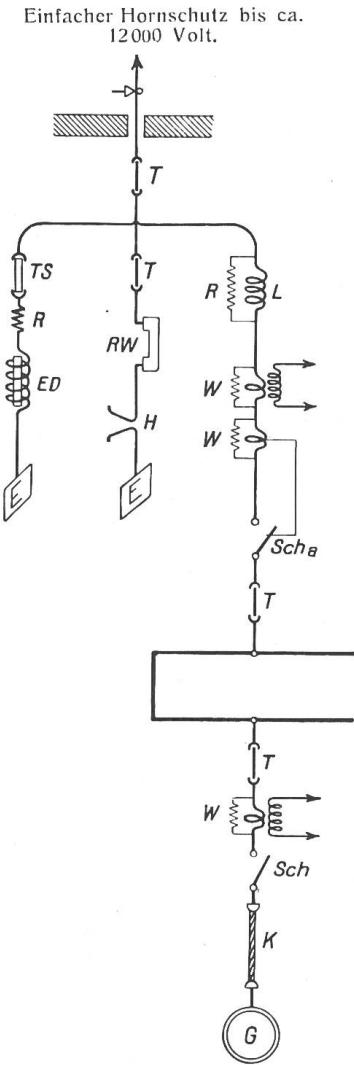


Fig. 4.

H: Hornapparat zur Ableitung von Ueberspannungen hoher Amplitude.
 RW: Wasserwiderstand als Dämpfungswiderstand für den Hornapparat.
 RL: Drossel mit Parallelwiderstand.
 ED: Erdungsdrossel zur Ableitung statischer Ladungen des Freileitungsnets event. auch Wasserstrahlerder.
 R: Trockenwiderstand zur Dämpfung von Schwingungerscheinungen an der Erdungsspule.
 TS: Trenn-Sicherung für die Erdungsspule.
 W: Ueberbrückungswiderstand an Stromwandlern und Hochspannungs-Auslösespulen zur Vermeidung von Reflexionserscheinungen an eventuell durchgehenden Ueberspannungswellen.
 E: Erdung (Erdplatte etc.).
 K: Kabelanschlussleitung zum Generator (Schutzkapazität für die Generatorwicklung.)
 T: Trenner.
 Sch: Oelschalter.
 Scha: Automatischer Oelschalter mit Hochspannungs-Relais.
 G: Generator.

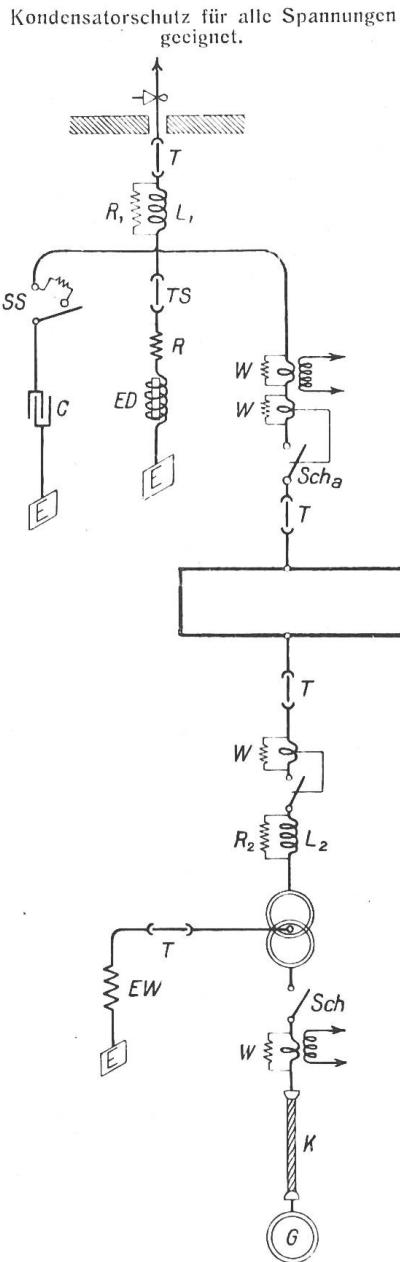


Fig. 5.

Legende :

R₁ L₁: Drossel mit Parallelwiderstand.
 C: Schutz-Kondensator zur Abwehrung primärer Ueberspannungen (Wanderwellen, Sprungwellen)
 SS: Stufenschalter für den Schutzkondensator (z. B. Trenner mit Vorschaltstufe).
 ED: Erdungsdrossel zur Ableitung statischer Ladungen des Freileitungsnets eventuell auch Wasserstrahlerder.
 TS: Trenn-Sicherung.
 W: Ueberbrückungswiderstand an Stromwandlern und Hochspannungs-Auslösespulen zur Vermeidung von Reflexionserscheinungen an ev. durchgehenden Ueberspannungswellen.
 R₂ L₂: Vorschalt-drossel mit Ueberbrückungswiderstand z. Abwendung event. Sprungwellen vom Transfomator.
 EW: Erdungswiderstand für den neutralen Punkt.
 E: Erdung (Erdplatte etc.).
 K: Kabelanschlussleitung zum Generator (Schutzkapazität für die Generatorwicklung).
 T: Trenner.
 Sch: Oelschalter.
 Scha: Automatischer Oelschalter mit Hochspannungs-Relais.

R₁ L₁*): Drossel mit Parallelwiderstand zur Abwehrung von Ueberspannungswellen durch Schaltvorgänge od. Erdungen.
 C: Schutz-Kondensator, der hier gemeinsam für alle abgehenden Leitungen an die Sammelschienen angeschlossen ist.
 SS: Stufenschalter für den Schutzkondensator.
 W: Ueberbrückungswiderstand an Stromwandlern u. Hochspannungs-Auslösespulen zur Vermeidung v. Reflexionserscheinungen an event. durchgehenden Ueberspannungswellen.
 EW: Erdungswiderstande zur Verhütung von Schwingungerscheinungen bei einpoligem Erdschluss.
 E: Erdung (Erdungsplatte, etc.).
 K: Kabelleitung.
 T: Trenner.
 Sch: Oelschalter.
 Scha: Automatischer Oelschalter mit Hochspannungs-Relais.

*): Der Parallelwiderstand wird hier zweckmässig auf Grund grösster Energieabsorption d. Ueberspannungswelle dimensioniert.

C. Die Anordnung des Ueberspannungsschutzes in Transformatorstationen.

Stangenstationen.

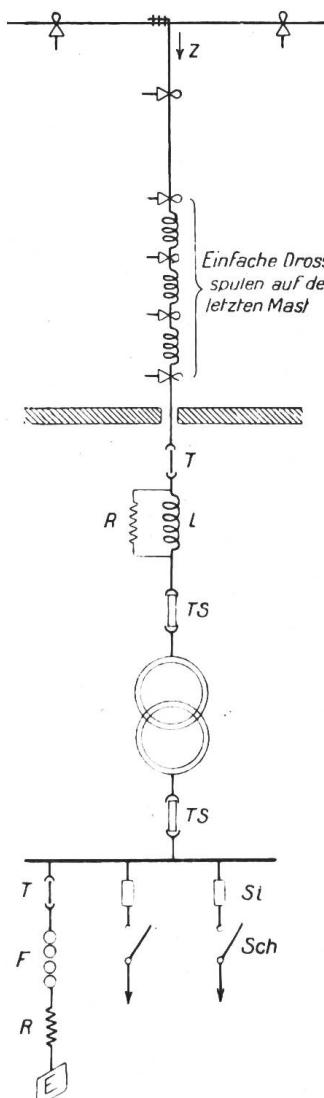


Fig. 7.

Kleinere gemauerte Stationen.

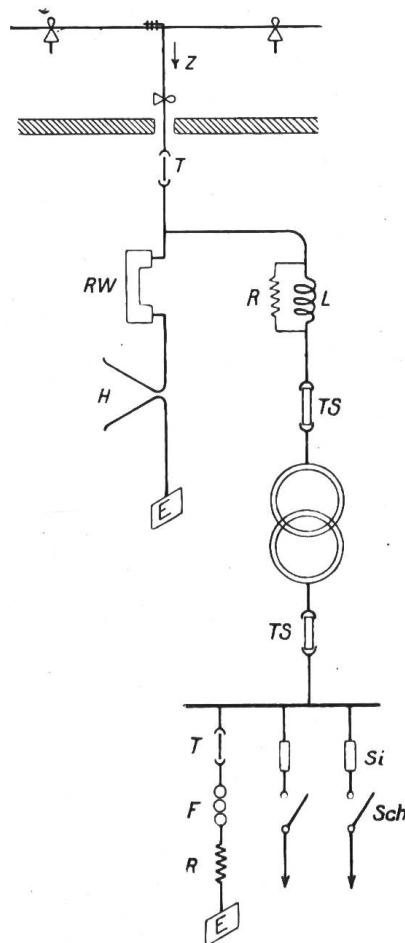


Fig. 8.

Grössere Transformatorstationen.

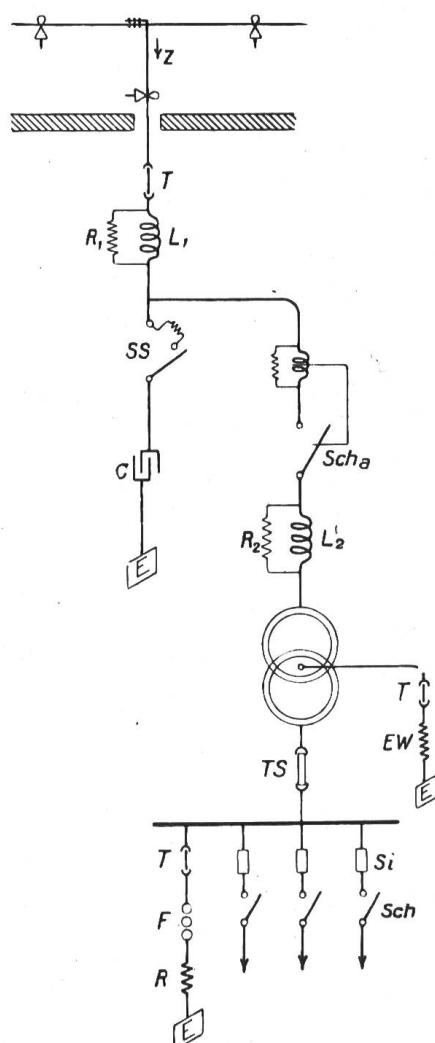


Fig. 9.

Legende.

Z: Zweigleitung zur Station (event. aus Eisendraht).

H: Hornapparat zur Ableitung von Ueberspannungen hoher Amplitude.

RW: Wasserwiderstand als Dämpfungswiderstand für den Hornapparat.

R₁L₁: Drosselspule mit Parallelwiderstand zur Abwehrung von Ueberspannungswellen durch Schaltvorgänge oder Erdungen.

C: Schutz-Kondensator.

SS: Stufenschalter für den Schutzkondensator.

EW: Erdungswiderstände zur Verhütung von Schwingungsscheinungen bei einpoligem Erdschluss.

E: Erdung (Erdungsplatte, etc.).

T: Trenner.

Sch: Oelschalter.

Scha: Automat. Oelschalter mit Hochspannungsrelais.

F: Funkenstrecke.

R: Trockenwiderstand als Dämpfungswiderstand für die Funkenstrecke.

Si: Sekundärsicherung.