

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 55 (1964)  
**Heft:** 18

**Artikel:** Koronafreie Dämpfungswiderstände  
**Autor:** Kärner, H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916770>

### **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:** 18.03.2025

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

jenigen von Silizium und Germanium sehr nahe kommt. Damit kann vermieden werden, dass bei den durch die elektrische Belastung auftretenden Temperaturschwankungen der Halbleiter sich von den Zuführungen löst. Die Vergoldung der Basisplatte und der Zuführungen hat ferner noch die Aufgabe, diese Teile vor dem Angriff durch die Ätzlösungen zu schützen. Würde nämlich ein Transistor mit unvergoldeter Basisplatte und vergoldeten Zuführungen geätzt, so könnten dabei Ionen dieser Metalle in Lösung gehen und den Transistor «vergiften», d. h. der Leitungsmechanismus des Halbleiters würde ungünstig beeinflusst.

Die Schichtdicken der Vergoldungen in der Transistortechnik werden durch die Forderung nach der guten Verschmelzbarkeit (Lötbarkeit) von Halbleiter und Zuführungen und durch die Forderung des einwandfreien Schutzes der Metalle vor dem Angriff der Ätzlösungen bestimmt. Aus diesen Anforderungen ergeben sich Schichtdicken von 5...10 µm.

#### d) Hochfrequenzleiter

Bei Wechselströmen sehr hoher Frequenz, wie sie heute in der Mikrowellentechnik, beim Fernsehen und beim Radar angewendet werden, findet die Stromleitung wegen des Skineffektes nur in einer relativ dünnen Schicht an der Oberfläche des Leiters statt. Die Eindringtiefe des Stromes übersteigt hierbei je nach der Frequenz 15 µm nicht. Aus dieser Tatsache hat sich die Möglichkeit ergeben, durch galvanische Edelmetallniederschläge die Probleme der Leitfähigkeit und des Korrosionsschutzes der in diesem Frequenzgebiet verwendeten Koaxialkabel und Hohlleiter zu lösen. In bezug auf die Leitfähigkeit wären Niederschläge aus Silber am geeignetsten. Versilberte Koaxialkabel und Hohlleiter haben daher auch in grösserem Masse Anwendung gefunden. Es hat sich aber gezeigt, dass durch das Anlaufen der Silberschicht (Silbersulfidbildung), welches meistens nicht gleichmässig, sondern fleckenweise auftritt, Verzerrungen der Hochfrequenzsignale entstehen können. Es ist wohl möglich, durch relativ dünne Gold- oder Rho-

diumsichten das Silber vor dem Anlaufen zu schützen, doch da solch dünne Schichten immer Poren aufweisen, kann unter entsprechenden Bedingungen trotzdem durch die Poren ein Angriff des darunterliegenden Silbers stattfinden [6]. Um dies zu vermeiden, werden deshalb Koaxialkabel und Hohlleiter direkt vergoldet und die Zwischenversilberung weggelassen. Auf diese Weise wird die Stromleitung ausschliesslich von der Goldschicht übernommen, während dem Leiter aus Kupfer oder Messing die Funktion des mechanischen Trägers der leitenden Schicht bleibt. Durch die galvanische Vergoldung werden auch die bei mechanisch hergestellten Hohlleitern unvermeidlichen Lötungen überbrückt. Durch den zusammenhängenden Goldüberzug, der gleichmässig die ganze Oberfläche des Hohlleiters bedeckt, werden Übertragungsverluste auf ein Minimum reduziert.

Eine weitere Anwendung der Galvanik, auch wenn sie nicht Edelmetalle betrifft, muss hier noch erwähnt werden. Bei Hohlleitern gibt es Teilstücke wie Krümmer, Stufentransformatoren usw., die mechanisch schwierig herzustellen sind. Solche Teile können mit Vorteil durch die galvanische Abscheidung von Schichten der Dicke von 2...5 mm aus Kupfer oder Nickel hergestellt werden [7]. Die so hergestellten Teile werden anschliessend auf üblicher Weise vergoldet.

#### Literatur

- [1] *W. Flühmann*: Die galvanische Goldplattierung in der Schweiz, «The Swiss Watch», Nr. 5, 1959.
- [2] *A. Kleinle* und *O. Loebich*: Galvanische Edelmetallplattierungen für die Elektrotechnik, «Galvanotechnik» 2, Band 53, 1962.
- [3] *W. Flühmann*: Technische Anwendungen galvanischer Goldplattierungen, «Galvanotechnik» 2, Band 53, 1962.
- [4] *A. Keil*: Der elektrische Kontakt als Gegenstand der Forschung und eines internationalen Erfahrungsaustausches, «Bulletin SEV» 55. Jahrgang, Nr. 2, 1964.
- [5] *R. M. Burns* und *W. W. Bradley*: Protective Coatings for Metals, Reinhold Publishing Corporation.
- [6] *W. B. Harding*: The tarnish resistance of gold plating on silver, «Plating», Vol. 47, Nr. 10, 1960.
- [7] ASTM Special Technical Publication No. 318, 1962.

#### Adresse des Autors:

*W. Flühmann*, Galvanische Anstalt, Heinrichstrasse 216, Zürich 5.

## Koronafreie Dämpfungswiderstände

Von *H. Kärner*, München

621.316.8.018.8 : 621.316.9

### 1. Einleitung

Unter den Prüfverfahren für Hochspannungsdielektrika hat in den letzten Jahren die zerstörungsfreie Koronaprüfung in zunehmendem Mass an Bedeutung gewonnen. Das Verfahren besteht im wesentlichen darin, die von Teildurchschlägen in einem Dielektrikum herrührenden hochfrequenten Impulse zu messen und aus ihrer Intensität und Form Rückschlüsse auf den Ort der Teilentladung und auf die Beanspruchung der Isolation zu ziehen. Voraussetzung für die Durchführung solcher Messungen ist, dass die Prüfanlagen selbst sprühfrei bleiben oder einen so niedrigen Eigenstörpegel aufweisen, dass keine Verfälschung der am Prüfobjekt auftretenden Störwerte zu befürchten ist. In modernen Hochspannungslaboratorien ist man daher bemüht, sowohl die Hochspannungserzeuger als auch die notwendigen Verbindungsleitungen und Dämpfungswiderstände möglichst sprühfrei auszuführen.

### 2. Verwendungszweck von Dämpfungswiderständen

Dämpfungswiderstände werden in Hochspannungslaboratorien unter anderem für folgende Zwecke angewendet:

1. Schutz von Prüftransformatoren und Gleichspannungsanlagen bei Überschlüssen am Prüfobjekt.
2. Kurzschlußstrombegrenzung von Prüftransformatoren und Gleichspannungsanlagen.
3. Kurzschlußstrombegrenzung an Kugelfunkenstrecken, um einen Abbrand des Kugelmateriale durch den Lichtbogen zu vermeiden.
4. Bedämpfung von Abschneidfunkenstrecken und Prüfobjekten bei Stossbeanspruchung.

Im neuen Hochspannungsinstitut der Technischen Hochschule München<sup>1)</sup> stehen als Prüfspannungserzeuger eine 1,2 MV Wechselspannungsprüfanlage, eine Gleichspannungsprüfanlage für etwa 1,5 MV in Einwegschtaltung mit Glättungskondensator und eine 3-MV-Stossanlage zur Verfügung. Da die Kurzschlußstrombegrenzung bei Wechsel-

<sup>1)</sup> Siehe Bull. SEV 54(1963)22, S. 961...962.

und Gleichspannungsbetrieb durch Eingriffnahme in die Erregung des einspeisenden Synchrongenerators geschieht, waren Widerstände zur Strombegrenzung bei Überschlügen am Prüfobjekt bzw. an der Messfunkenstrecke nicht notwendig. Folgende Dämpfungswiderstände mussten aber eingebaut werden:

a) 10-k $\Omega$ -Widerstand zwischen Prüfkaskade und Prüfobjekt, um bei Überschlügen am Prüfobjekt den Spannungszusammenbruch an der Hochspannungselektrode des Transformators so weit abzuflachen, dass die Eingangswindungen der Hochspannungswicklung nicht gefährdet werden.

b) 1,5-k $\Omega$ -Widerstand für einen besonderen Betriebsfall der Wechselspannungsanlage, nämlich den Parallelbetrieb der 3 Einzeltransformatoren der Prüfkaskade.

c) 400- $\Omega$ -Widerstand zwischen Gleichspannungsanlage und Prüfobjekt, um bei Überschlügen am Prüfobjekt die Steilheit des Spannungszusammenbruchs am Glättungskondensator zu vermindern und den ersten Stromstoss zu begrenzen. Dieser Widerstand wird bei Stossprüfungen zwischen Stossgenerator und Prüfobjekt eingeschaltet und soll dann Ausgleichsschwingungen zwischen der Grundbelastung und der Prüflingskapazität bedämpfen.

d) 400- $\Omega$ -Widerstand zwischen Stossgenerator und 1,5 m Kugelfunkenstrecke zur Vermeidung von Ausgleichsschwingungen mit der Grundbelastungskapazität und zur Verringerung der Steilheit des Spannungszusammenbruchs am Prüfobjekt bei Abschneidebetrieb.

### 3. Ausführungsmöglichkeiten für koronafreie Dämpfungswiderstände

Im Hinblick auf die geforderte Sprühfreiheit der Dämpfungswiderstände bis zur jeweiligen Nennspannung wurden nun Untersuchungen über die zweckmässigste Ausführungsform angestellt. Dabei musste beachtet werden, dass die Widerstände gleichzeitig zur Herstellung der Hochspannungsverbindung zwischen dem jeweiligen Hochspannungserzeuger und dem Prüfobjekt dienen sollen. Um eine rasche Umschaltung von einer Spannungsart auf eine andere zu ermöglichen, sollten die Widerstände ausserdem an Perlonseilen isoliert aufgehängt werden und mittels Elektrowinden in die gewünschte Lage einfahrbar sein. Auf diese Weise besteht die Möglichkeit, einen nicht benötigten Widerstand zum Boden abzulassen oder an die Decke des Laboratoriums hochzuziehen und die Hochspannungsverbindung zu lösen.

Unter Berücksichtigung obiger Gesichtspunkte wurden 3 Ausführungsmöglichkeiten von koronafreien Dämpfungswiderständen näher untersucht.

3.1 Aufwickeln des Drahtwiderstandes auf ein Hartpapiertragrohr von 35 cm Durchmesser und Imprägnierung des Widerstandsmaterials mit einem Isolierlack zur Erhöhung der Überschlagsfestigkeit. Hochspannungsversuche mit dieser Ausführungsform haben zu keinem befriedigenden Ergebnis geführt. Es zeigte sich, dass die Inhomogenität der Oberfläche so gross ist, dass trotz des theoretisch für 1,2 MV effektiver Wechselspannung ausreichend bemessenen Isolierrohr-Durchmessers von 35 cm bereits weit unterhalb der Nennspannung Teilentladungen auftraten. Auch die Überschlagsfestigkeit entsprach nicht den Erwartungen.

3.2 Verlegung des Dämpfungswiderstandes innerhalb eines Isoliertragerüstes und Abschirmung des Widerstandes durch toroidförmige, in regelmässigen Abständen angeordnete Abschirmkörper. Diese Ausführungsform wurde im Rahmen einer Diplomarbeit [1]<sup>2)</sup> an Modellarrangements eingehend untersucht und zeigte befriedigende Ergebnisse für Widerstände geringer Längenausdehnung. Unter der Annahme, dass der Dämpfungswiderstand in Form eines Widerstandsbandes auf ein Isolierrohr von 15 cm Durchmesser gewickelt wird, ergeben sich toroidförmige Abschirmkörper von 1,2 m Durchmesser bei einem Ringdurchmesser von 50 cm (Fig. 1). Der Abstand zweier benachbarter Abschirmungen darf den Toroiddurchmesser, also 1,2 m, nicht überschreiten. Während die Korona-Einsatzspan-

<sup>2)</sup> Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

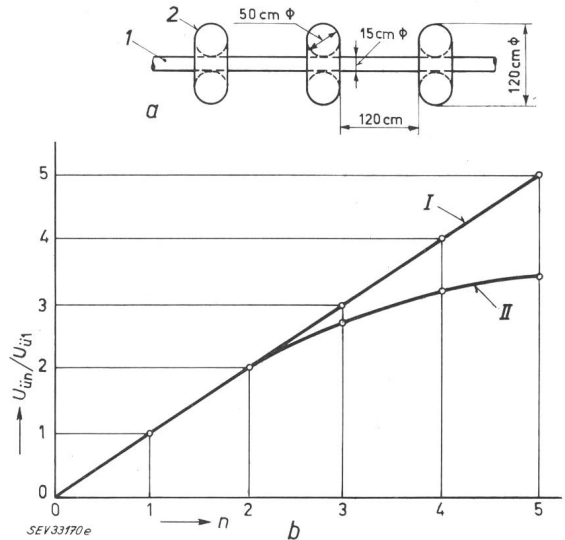


Fig. 1  
Überschlagsspannung eines abschnittsweise geschirmten Dämpfungswiderstandes abhängig von der Zahl der Abschnitte

- a) Aufbau des Widerstandes  
1 Widerstand; 2 Abschirmkörper
- b) Überschlagsspannung bei Serienschaltung mehrerer Elemente  
I isodynamische Spannungsverteilung; II Messwerte; ( $U_{Ü1}$  Überschlagsspannung bei 1 Element;  $n$  Zahl der in Serie geschalteten Elemente)

nung eines Widerstandes auf diese Weise genügend gross gemacht werden kann, ergeben sich jedoch bei der Serienschaltung mehrerer Abschnitte Schwierigkeiten mit der Überschlagsfestigkeit.

In Fig. 1 ist die Überschlagsspannung einer Modellarrangements abhängig von der Zahl  $n$  der in Serie geschalteten Elemente dargestellt. Man erkennt, dass die Überschlagsspannung nicht proportional mit der Zahl der Elemente zunimmt, sondern dass mit steigender Elementenzahl nur noch ein geringer Spannungsgewinn vorhanden ist. Diese Abhängigkeit beruht auf der Tatsache, dass bei einer Längsbeanspruchung des Widerstandes, wie sie bei Überschlügen am Prüfobjekt kurzzeitig auftritt, die Spannungsverteilung über die Teilelemente nicht mehr gleichmässig ist, sondern dass die auf der Einspeiseseite liegenden Elemente stärker beansprucht werden. Diese ungleichmässige Spannungsverteilung wird durch die Erdkapazitäten der Abschirmkörper verursacht. Eine Steuerung durch den Widerstand selbst ist nicht vorhanden, da der induktive Widerstand auch bei mäanderförmiger Wicklung des Widerstandsbandes für steile Vorgänge gross gegenüber der kapazitiven Verkettung ist.

Aus Fig. 1 ist zu entnehmen, dass die Spannungsverteilung bis zu 3 Teilelementen etwa gleichmässig ist. Für eine grössere Zahl von Teilelementen muss eine isodynamische Spannungsaufteilung durch Längsbeschaltung mit Steuerkondensatoren erzwungen werden. Diese Lösung hätte auch für den 10-k $\Omega$ -Widerstand zur Bedämpfung der 1,2-MV-Prüfkaskade im neuen Hochspannungsinstitut der TH München angewendet werden müssen, da mit Rücksicht auf die mögliche Überschlagesbeanspruchung des Widerstandes mit 1,2 MV effektiver Wechselspannung mindestens 6 der beschriebenen Teilelemente notwendig gewesen wären (im Überschlagnoment des Prüfobjektes liegt bekanntlich die gesamte Spannung kurzzeitig am Dämpfungswiderstand). Bei einer Gesamtlänge des Widerstandes von ca. 12 m, die durch die räumliche Anordnung der Prüfanlage bedingt ist, und bei der notwendigen Zahl von 7 grossen Abschirmkörpern und 6 Steuerkondensatoren, wäre jedoch die Gesamtkonstruktion so aufwendig geworden, dass auf diese Lösung verzichtet werden musste.

3.3 Verlegung des Widerstandes in einem Abschirmrohr. Nach einem Vorschlag von W. Zaengl wurde versucht, das Drahtwiderstandsband in einem geschlossenen Isolierrohr unterzubringen und dadurch zu schirmen, dass die Oberfläche des Rohres mit einem hochohmigen Leitlackbelag versehen wird. Sowohl Modellversuche als auch ein durchgeführter Grossversuch zeigten zufriedenstellende Ergebnisse, so dass diese Lösung bei den im neuen Hochspannungsinstitut der TH München benötigten Dämpfungswiderständen zur Anwendung kam. Die durchgeführten Untersuchungen und die Ausführung der Dämpfungswiderstände sollen im folgenden näher erläutert werden.

#### 4. Auswahl und konstruktiver Aufbau der Widerstände

Bei der Dimensionierung des Widerstandsbandes musste von der elektrischen Beanspruchung ausgegangen werden. Es zeigte sich, dass der für den Parallelbetrieb der Prüfkaskade vorgesehene  $1,5\text{-k}\Omega$ -Widerstand sowohl thermisch als auch hinsichtlich Überschlag am stärksten belastet wird. Unter Berücksichtigung des Kaskadennennstromes bei Parallelschaltung von  $1,5\text{ A}$  (Kurzzeitbetrieb  $15\text{ min}$ ) wurde ein notwendiger Drahtdurchmesser von  $0,7\text{ mm}$  ermittelt. Dabei war besonders zu beachten, dass das Widerstandsband innerhalb eines geschlossenen Rohres untergebracht und damit die Abführung der Verlustwärme erschwert wird. Die hierzu durchgeführten Untersuchungen werden später beschrieben. Aus baulichen Gründen musste die Widerstandslänge auf  $2\text{ m}$  begrenzt werden. Aus dieser Forderung ergab sich im Hinblick auf den notwendigen Drahtdurchmesser von  $0,7\text{ mm}$  und den gewünschten Ohmwert ein mäanderförmig gewickeltes Band von etwa  $1\text{ m}$  Breite. Um dieses Band in einem Abschirmrohr unterzubringen, musste es zylindrisch mit einem Durchmesser von  $35\text{ cm}$  gebogen werden.

Besondere Untersuchungen waren weiterhin über die Längsbeanspruchung des Widerstandsbandes anzustellen, die mit  $2\text{ kV/cm}$  im Überschlagmoment für einen Drahtwiderstand sehr hoch ist. Da die schwächsten Stellen derartiger Widerstandsbander erfahrungsgemäss an den Rändern liegen, wurden diese auf eine Breite von etwa  $5\text{ cm}$  in Giessharz eingebettet. Ausserdem erwies es sich auf Grund der durchgeführten Versuche als vorteilhaft, den Widerstandsdraht mit einer Glasseidenisolation zu versehen und mit einer Kette aus alkalifreier Glasseide zu verweben.

Die so behandelten Widerstandsbander zeigten eine für den Verwendungszweck ausreichende Stossüberschlagsfestigkeit.

Die Untersuchung der übrigen Widerstände ergab, wie schon erwähnt, eine geringere elektrische Beanspruchung. Daher konnten die beiden  $400\text{-}\Omega$ -Widerstände als normale Bänder mit  $10\text{ cm}$  Breite ausgeführt werden. Für den  $10\text{-k}\Omega$ -Widerstand dagegen musste, da die volle für den Widerstand zur Verfügung stehende Länge von etwa  $11\text{ m}$  aus Sicher-

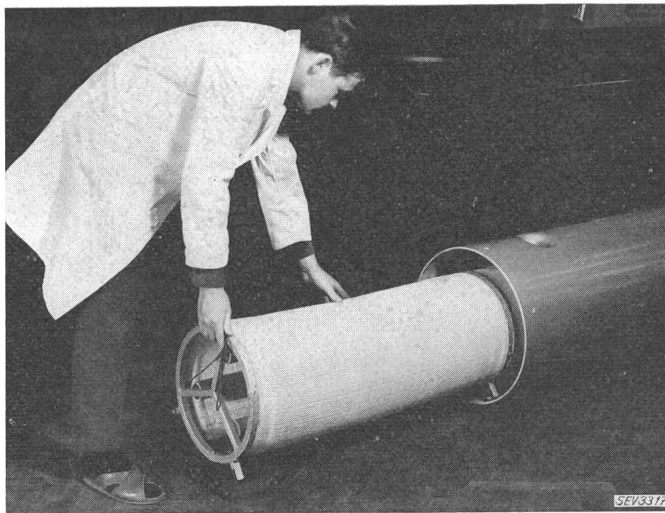


Fig. 3

Einfahren des Dämpfungswiderstandes in das Abschirmrohr

heitsgründen ausgenützt werden sollte, ebenfalls ein Band von  $1\text{ m}$  Breite in der beschriebenen Ausführung verwendet werden.

Der konstruktive Aufbau der zylindrischen Widerstände ist aus Fig. 2 zu ersehen. Im Hinblick auf die Reservehaltung und zur besseren Handhabung bei der Montage im Abschirmrohr wurden die Widerstände in Bauelemente von je  $1\text{ m}$  Länge, Widerstandwert etwa  $950\text{ }\Omega$ , unterteilt. Jedes Element besteht aus 2 stirnseitigen Aluminiumringen von  $35\text{ cm}$  Durchmesser, die durch 3 Polyester-Isolierstangen starr miteinander verbunden sind. Das Widerstandsband ist im gleichen Durchmesser gebogen und an den Aluminiumringen befestigt; Anfang und Ende des Chrom-Nickeldrahtes haben eine leitfähige Verbindung zum zugehörigen Ring. An den Aluminiumringen sind jeweils 2 metallische Laufrollen angebracht, so dass der gesamte Widerstand nach Verbinden benachbarter Elemente in das Abschirmrohr eingefahren werden kann (Fig. 3). Die Kantenisolation des Widerstandes ist auf Fig. 2 ebenfalls zu erkennen.

#### 5. Ausführung des Abschirmrohres

Für eine effektive Wechselspannung von  $1,2\text{ MV}$  bzw. für eine Gleichspannung von etwa  $1,5\text{ MV}$  zeigt die Berechnung, dass ein glattes leitfähiges Rohr von  $35\text{ cm}$  Durchmesser mit Sicherheit entladungsfrei ist. Unter Berücksichtigung des Durchmessers des innenliegenden Dämpfungswiderstandes sowie der Abmessungen der noch zu beschreibenden trichterförmigen Rohreinsätze wurde der Aussendurchmesser der Abschirmrohre zu  $50\text{ cm}$  gewählt. Die Rohre müssen eine derartige mechanische Festigkeit haben, dass eine besondere Tragkonstruktion nicht mehr nötig ist. Ausserdem soll die Oberfläche, auf welcher ein schwach leitender Belag aufzubringen ist, glatt sein. Aus diesen Gründen wurden geschleuderte Polyesterrohre, Wandstärke ca.  $4\text{ mm}$ , mit vorgespanntem alkalifreiem Glasseidengewebe verstärkt, angewendet. Die Verbindung der aus mehreren Teilstücken bestehenden Rohre erfolgte durch flache, eingeklebte Innenmuffen, deren Kanten abgeflacht sind, so dass das Einschieben des Dämpfungswiderstandes nicht behindert wird. Die Rohrenden sind zur Erhöhung der mechanischen Festigkeit durch einen  $10\text{ cm}$  breiten eingeklebten Polyesterterring von  $4\text{ mm}$  Dicke verstärkt.

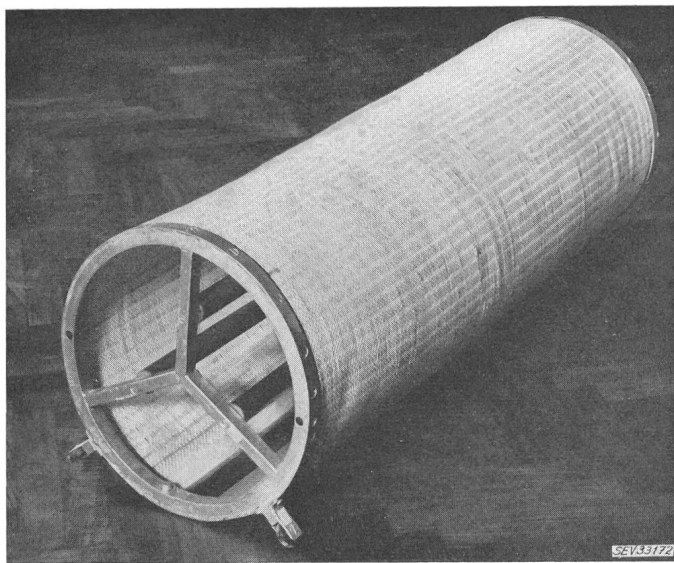


Fig. 2

Zylindrisches Widerstandselement

Durchmesser  $35\text{ cm}$ , Länge  $1\text{ m}$ , Widerstand ca.  $950\text{ }\Omega$

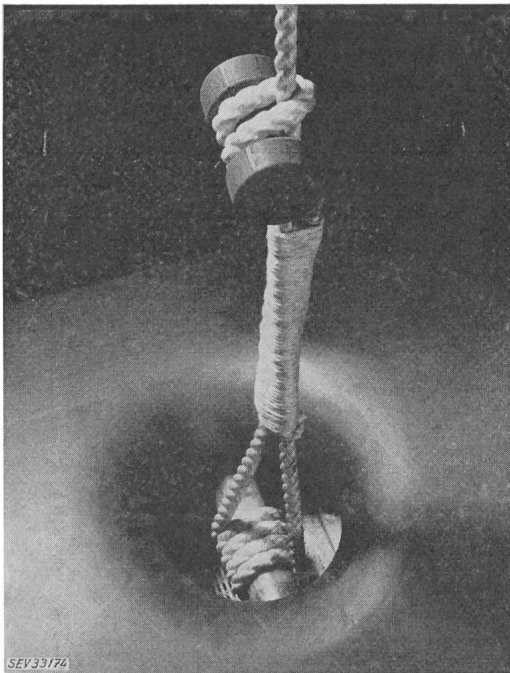


Fig. 4

Entladungsfreie Perlonseilaufhängung mit Trichtereinsatz

Wie bereits eingangs erläutert wurde, dienen die Dämpfungswiderstände gleichzeitig als Verbindungsrohre zum Anschluss der Prüfobjekte an die Hochspannungserzeuger. Die zur isolierten Aufhängung verwendeten Perlonseile von 8 mm Durchmesser müssen so am Rohr befestigt werden, dass keine Gleitentladungen auftreten. Zur Verminderung der Feldstärke an der Austrittsstelle des Seiles wurden daher die Aufhängepunkte in das Rohr gelegt und die Seileinführung über trichterförmige Rohreinsätze vorgenommen. Bedingt durch die kleinen Trichterabmessungen, die mit Rücksicht auf den innen liegenden Dämpfungswiderstand zulässig waren (Öffnungsdurchmesser 8 cm, Krümmungsradius 4 cm), durften zur Vermeidung von Entladungen an der Aufhängestelle keine metallischen Teile verwendet werden. Wie aus Fig. 4 hervorgeht, ist unter der Trichteröffnung quer zur Rohrachse ein Isolierstab eingeklebt und das Seil mehrmals herumgeführt. Das Seilende ist mit einer Schlaufe versehen, durch welche das Seil gezogen und mit einem Hartgewebeteil gesichert wird. Zusätzlich werden die parallel laufenden Seilteile fest umbandelt, so dass die auftretenden Kräfte von der Reibung aufgenommen werden. Die Aufhängung hat sich im bisherigen Betrieb sowohl mechanisch als auch elektrisch sehr gut bewährt.

Eingehende Untersuchungen mussten über die Ausführung des Leitlackbelages auf dem Isolierrohr angestellt werden. Der Belag soll einerseits hochohmig gegenüber dem im Rohr liegenden Dämpfungswiderstand sein, damit im Kurzschlussfall praktisch der gesamte Kurzschlussstrom durch den Widerstand fließt, darf aber einen bestimmten Leitfähigkeitswert nicht unterschreiten, da sonst die abschirmende Wirkung des äusseren Rohres nicht mehr gegeben ist. Es zeigte sich, dass der Widerstandswert des Abschirmbelages zwei bis drei Zehnerpotenzen grösser sein muss als der eigentliche Dämpfungswiderstand, damit diese Voraussetzungen erfüllt sind.

Für die Auswahl des Leitlackes waren neben dem erforderlichen Widerstandswert die Haftung auf der Rohrober-

fläche und die Temperaturfestigkeit des Belages zu beachten. Die Untersuchung einer Anzahl von handelsüblichen Leitlacken ergab, dass ein 3-Komponentenlack mit kolloidalem Graphit in Epoxydharzlösung am besten geeignet ist. Dieser Lack kann durch Variieren der Gewichtsanteile der 3 Komponenten in seinem Widerstandswert in weiten Grenzen verändert werden und gibt nach der Aushärtung einen gut haftenden, abriebfesten und bis etwa 100 °C auch temperaturfesten Belag.

Weitere Untersuchungen befassten sich mit der betriebsmässigen Erwärmung der Widerstände. Den strengsten Beanspruchungen wird im Betrieb der beschriebene 1,5-k $\Omega$ -Widerstand unterworfen. Bei einem Nennstrom von 1,5 A (Kurzzeitbetrieb 15 min) ergibt sich eine Verlustleistung von etwa 3,5 kW, die im Widerstand in Wärme umgesetzt wird. Zur Ermittlung der Endtemperatur konnte die geringe Wärmekapazität der Gesamtanordnung vernachlässigt und eine Modellanordnung gebaut werden, bei welcher ein geschlossenes Rohr von einem innenliegenden Widerstand aufheizbar war. Die Leistung des Widerstandes wurde so gewählt, dass sich in der Modellanordnung die gleiche spezifische Oberflächenbelastung wie bei dem 1,5-k $\Omega$ -Widerstand ergab, nämlich etwa 12 W/dm<sup>2</sup>. Während einer Belastungsdauer von 15 min wurde die Lufttemperatur im Abschirmrohr und die Temperatur der Rohroberfläche gemessen. Die Endtemperatur betrug im Rohrrinnern etwa 100 °C, an der Oberfläche 60...70 °C. Eine Nachprüfung im Grossversuch ergab eine gute Übereinstimmung mit den Modellmessungen.

Obwohl die maximal auftretenden Temperaturen weder die elektrischen noch die mechanischen Eigenschaften der Dämpfungswiderstände nachteilig beeinflussen, wurden alle Rohre zusätzlich mit Lüftungsöffnungen versehen. Diese Öffnungen befinden sich — gegeneinander versetzt — an der Ober- und Unterseite der Rohre und sind als Trichter mit den gleichen Abmessungen wie die Seiltrichter ausgeführt. Bei Erwärmung des innenliegenden Widerstandes kommt es zu einer Luftströmung durch das Rohrrinnere und die Endtemperatur wird, verglichen mit dem vollständig geschlossenen Rohr, um 10...15 % erniedrigt. In Fig. 3 ist ein derartiger Lüftungstrichter erkennbar.

In Fig. 5 sind 3 Dämpfungswiderstände bzw. Verbindungsrohre dargestellt. Im Vordergrund befindet sich der



Fig. 5

Gesamtansicht des 10-k $\Omega$ -Widerstandes in Betriebsstellung

10-k $\Omega$ -Widerstand in Betriebsstellung und verbindet die rechts stehende Prüfkaskade mit einer zentralen, isoliert an der Decke aufgehängten Elektrode. Von dieser Elektrode wird die Spannung dem am Boden stehenden oder an einem Elektrozug hängenden Prüfobjekt mit Hilfe eines Verbindungsrohres zugeführt, das einen 400- $\Omega$ -Widerstand enthält. Dieses Rohr ist aus Gründen der Sprühfreiheit am Ende mit einer metallisierten Polyesterkugel von 1,4 m Durchmesser abgeschlossen; es ist in Fig. 5 ausser Betrieb und an die Decke hochgezogen. Weiter ist auf Fig. 5 ein ebenfalls an die Decke hochgezogenes Verbindungsrohr zu erkennen, das den Anschluss des Stossgenerators (links im Hintergrund teilweise sichtbar) an die Zentralelektrode und damit an das Prüfobjekt gestattet. Dieses Rohr enthält keinen Dämpfungswiderstand, ist aber trotzdem mit einem Leitlackbelag versehen, der gegenwärtig im Rohrrinnern durch eine leitende Verbindung kurzgeschlossen ist. Falls erforderlich, kann also jederzeit auch in dieses Rohr ein Dämpfungswiderstand eingebracht werden.

Das Einfahren der Hochspannungsverbindungen in die Betriebsstellung wird durch besondere Pufferkonstruktionen an den Rohrenden ermöglicht. Wie aus Fig. 5 zu entnehmen ist, sind die Rohrenden mit halbkugelförmigen Aluminiumkörpern von 50 cm Durchmesser abgeschlossen, die einen weich gefederten Puffer enthalten. Der Hub der Pufferkonstruktion ist so eingestellt, dass nach dem Einfahren zwischen die feststehenden Elektroden ein geringer Anpressdruck vorhanden und damit eine sichere Kontaktgabe gewährleistet ist. Lediglich das linke Ende des 10-k $\Omega$ -Widerstandes hat eine anders ausgeführte Kontaktkonstruktion. An dieser Stelle ist in dem halbkugelförmigen Rohrabschluss ein kräftiger Permanentmagnet eingebaut, der das Rohr an die Zentralelektrode hinzieht; in der Elektrode ist für den magnetischen Rückschluss eine Stahlplatte eingepasst.

Die halbkugelförmigen Abschlüsse ragen mit einem zylindrischen Teil etwa 10 cm in das Rohr hinein; sie sind mit diesem verschraubt und mit dem innenliegenden Widerstand verbunden. Die Rohrenden selbst wurden innen und aussen auf eine Länge von 10 cm mit einer um die Rohrkante herumgeführten Spritzmetallisierung versehen. Der Leitlackbelag erstreckt sich bis über die äussere Spritzmetallaufgabe, wodurch eine einwandfreie Potentialverbindung zwischen metallischem Rohrabschluss und Abschirmbelag erzielt wird.

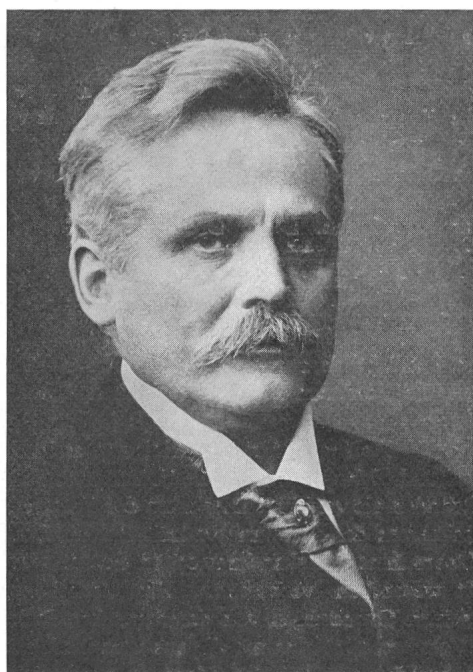
Die Abschirmung des Dämpfungswiderstandes durch das schwach leitende Rohr bewirkt bei Stossbeanspruchung eine unterschiedliche Spannungsverteilung längs des Rohres und des Widerstandes. Zur Vermeidung von Überschlügen zwischen Abschirmung und Widerstand war es daher notwendig, in regelmässigen Abständen Potentialverbindungen herzustellen. In der Nähe der Lüftungstrichter wurden, wie aus Fig. 5 ersichtlich ist, Aluminiumbandagen um das Rohr gewickelt und durch die Trichter hindurch mit dem Dämpfungswiderstand verbunden.

## 6. Zusammenfassung

Im neuen Hochspannungsinstitut der Technischen Hochschule München wurden koronafreie Dämpfungswiderstände in Zusammenarbeit mit mehreren Firmen entwickelt. Das Prinzip dieser Widerstände besteht darin, normale Drahtwiderstandsbänder zu verwenden und durch Verlegung in einem schwach leitenden Rohr ausreichenden Durchmessers zu schirmen. Die Widerstände haben sich im bisherigen Betrieb gut bewährt und sind bis zur Nennwechselspannung von 1,2 MV entladungsfrei.

### Adresse des Autors:

Dipl.-Ing. *Hermann Kämer*, Institut für Hochspannungs- und Anlagentechnik der Technischen Hochschule München, 8000 München 2, Arcisstrasse 21 (Deutschland).



Deutsches Museum, München

## WILHELM WIEN

1864—1928

Der 31. Januar 1964 ist der 100. Geburtstag des in Ostpreussen geborenen deutschen Physikers Wilhelm Wien. 1892 liess er sich als Privatdozent in Berlin nieder, kam alsdann nach Aachen und Giessen und wurde Nachfolger *Röntgens* sowohl in Würzburg, als auch 1919 in München, wo er am 30. August 1928 starb.

Er beschäftigte sich eingehend mit den Strahlungen und bewies 1897 die negative Ladung der Kathodenstrahlen. Im folgenden Jahr gelang ihm in Aachen der Nachweis, dass Kanalstrahlen ( $\alpha$ -Strahlen) aus massebehafteten, positiv geladenen Ladungsträgern bestehen. Seine wichtigste Arbeit betraf die Forschung auf dem Gebiet der Temperaturstrahler, im besonderen des schwarzen Körpers. Er fand zusammen mit *Lehmann* den Zusammenhang zwischen der Wellenlänge des Intensitätsmaximums eines Emissionsspektrums und der absoluten Temperatur des Strahlers. Diese Relation, bekannt als das *Wiensche Verschiebungsgesetz*, ist von *Planck* zum allgemeinen Strahlungsgesetz erweitert worden.

Wilhelm Wien hat für seine Leistung im Jahre 1911 den Nobelpreis zugesprochen erhalten. Sein «Gesetz» ist auf allen Gebieten der Wärme und der auf Wärmestrahlung beruhenden Lichterzeugung von grosser Bedeutung.

*H. W.*