

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 38 (1947)
Heft: 13

Artikel: Prüfungen an elektrischen Isoliermaterialien der Draht- und Kabelisolation
Autor: Zürcher, M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1056745>

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: 18.01.2025

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

10...15 s avant qu'il ait lieu à sa mi-hauteur. Il s'ensuit que, le long d'une portée, on a sur le conducteur les vitesses de vent les plus différentes, de sorte qu'à ce point de vue déjà il n'est pas possible d'établir la dépendance en question.

Les forces qui agissent sur le conducteur doivent être recherchées dans les dépressions qui se manifestent dans l'air en mouvement aux deux côtés du conducteur. Puisque dans certaines limites (dépendant de la vitesse momentanée du vent et du conducteur) le mouvement du conducteur commande l'amorçage des tourbillons en arrière de celui-ci, on doit s'attendre à ce que les vibrations soient amplifiées lorsque la vitesse du vent se trouve dans ces limites.

Il en résulte que seuls l'enregistreur de durée de vibration et éventuellement le compteur Jacquet ont une importance pratique pour établir quand et avec quelle fréquence moyenne (nombre des vibrations divisé par le temps indiqué par l'enregistreur) le conducteur vibre. Ces constatations sont suffisantes pour pourvoir à temps, par des moyens convenables,

à ce que ces phénomènes ne risquent plus de mettre en danger l'exploitation des lignes électriques.

Ces recherches ont permis de déterminer les moyens appropriés, tels que renforceurs, amortisseurs, câbles antivibratoires et surtout pinces de suspension, indiqués dans la «Note récapitulative sur l'état actuel des vibrations des conducteurs et des moyens pour en éliminer les méfaits» déjà mentionnée.

Bibliographie

- [1] *Nefzger, J.*: Dérangements occasionnés par les oscillations mécaniques des conducteurs aériens et leur remède. CIGRE 1933, rapp. 126.
- [2] *Buchanan, W. B.*: Vibration Analysis, Transmission Line Conductors. Electr. Engng. t. 53 (1934), n° 11, p. 1478...1485.
- [3] *Dassetto, G.*: Metodi di misura delle vibrazioni su linee elettriche. 40^e réunion de l'AEI, 1935.
- [4] *Hydro-Electric Power Commission of Ontario*: Vibration in electrical conductors including allied researches (Bibliography). Toronto, 1946.

Adresses des auteurs:

M. Preiswerk, directeur de la S. A. pour l'Industrie de l'Aluminium, Lausanne-Ouchy.
G. Dassetto, ingénieur à la S. A. pour l'Industrie de l'Aluminium, Lausanne-Ouchy.

Prüfungen an elektrischen Isoliermaterialien der Draht- und Kabelisolation¹⁾

Von *M. Zürcher*, Zürich

621.315.616.96.0014

Es wird ein Ueberblick über die Versuchsmethoden gegeben, die bei der Prüfung der Draht- und Kabelisolationen, namentlich mit Rücksicht auf die seit einigen Jahren benützten Thermoplastisolationen, angewendet werden. Dieser Ueberblick erhebt keinen Anspruch auf Neuheit, besonders nicht gegenüber dem Fachmann; er soll dazu dienen, die einschlägige Prüftechnik in weitere Kreise zu tragen. [Vgl. Bull. SEV Bd. 35 (1944), Nr. 19, S. 536...540.]

Aperçu des méthodes appliquées aux essais de l'isolation des fils et des câbles, notamment en ce qui concerne les matières thermoplastiques utilisées depuis quelques années. Cet aperçu, qui n'apporte guère de nouveautés aux spécialistes, est destiné en première ligne à exposer à des milieux plus étendus la technique particulière de ces essais [cf. Bull. ASE t. 35 (1944), n° 19, p. 536...540].

In der Materialprüfung, besonders auf dem Gebiet der Draht- und Kabelisolation, sind folgende zwei Gesichtspunkte auseinanderzuhalten: 1. Die Materialprüfung im Herstellungsbetrieb, welche die Eigenschaften und Einflüsse der Rohstoffe untersucht, und 2. die Materialprüfung, welche vom Standpunkt des Abnehmers aus die Eigenschaften des fertigen Produktes, seine Eignung für bestimmte Zwecke und seine Dauerhaftigkeit erfasst. Während vom ersten Standpunkt aus die Natur und die Art der verwendeten Stoffe im Vordergrund stehen, interessiert sich der Verbraucher weniger für die Zusammensetzung, als hauptsächlich für die Gebrauchseigenschaften des fertigen Produktes, und er wird daher nicht Analysen, sondern Resultate von Gebrauchsprüfungen fordern.

Der Mangel an Gummi führte, sowohl in der Schweiz, als auch in andern Ländern, zur Verwendung von Polyvinylchloridderivaten als Isoliermaterial im Leiterbau, die unter verschiedenen Markennamen im Handel sind. Die Berücksichtigung der Eigenschaften dieses neuen Materials bedingte, besonders in bezug auf seine elektrischen Eigenschaften, eine Ergänzung der bestehenden Prüfvorschriften, über die im folgenden berichtet werden soll.

Durchschlagsspannung

Die Durchschlagsspannung ist eine grobes Mass für die elektrische Widerstandsfähigkeit eines Iso-

lierstoffes, als einzige Angabe aber vollkommen ungenügend, um seine elektrischen Eigenschaften zu charakterisieren. Unter der Durchschlagsspannung versteht man allgemein diejenige Spannung, bei welcher unter vorgeschriebenen Bedingungen ein Durchschlag erfolgt. Bei thermoplastischen Materialien erfolgt ein sogenannter Wärmedurchschlag, der folgendermassen auf die Wärmeerzeugung, hervorgerufen durch elektrische Ströme verschiedener Natur, zurückzuführen ist: Die auch bei Isolierstoffen immer noch bestehende minimale Leitfähigkeit bewirkt beim Anlegen einer Spannung einen Stromfluss, der besonders an Stellen grosser Feldstärke eine lokale Erwärmung des Isolators bewirkt. Diese Temperatursteigerung hat nun eine Erhöhung der Leitfähigkeit zur Folge, welche ihrerseits wieder eine vermehrte Erwärmung verursacht, so dass eine Art Aufschaukelung eintritt, die an einzelnen Stellen Schmelzen oder Zersetzen des Materials verursacht, was dann zum Durchschlag führt. Neben der Erwärmung, welche durch den Strom in der Isolation bedingt ist, erfolgt gleichzeitig noch eine weitere Erwärmung, die auf die dielektrischen Verluste zurückzuführen und folgendermassen zu erklären ist: Viele Moleküle weisen einen Dipolcharakter auf, d. h. sie sind in bezug auf das elektrische Feld nicht homogen und können mit einer Magnethülse

¹⁾ Vortrag, gehalten am 1. Fachkurs des Verbandes Schweizerischer Gummi- und Thermoplast-Industrieller.

verglichen werden, die ein positives und ein negatives Ende besitzt. Im Wechselstromfeld beginnen diese elektrisch asymmetrischen Moleküle, die Dipole, zu schwingen, wodurch Energie verbraucht wird, die sich in einer zusätzlichen Erwärmung des Isolierstoffes äussert. Diese dielektrischen Verluste sind bei Polyvinylchloridderivaten ziemlich hoch und besonders auf den Gehalt an Weichmachern

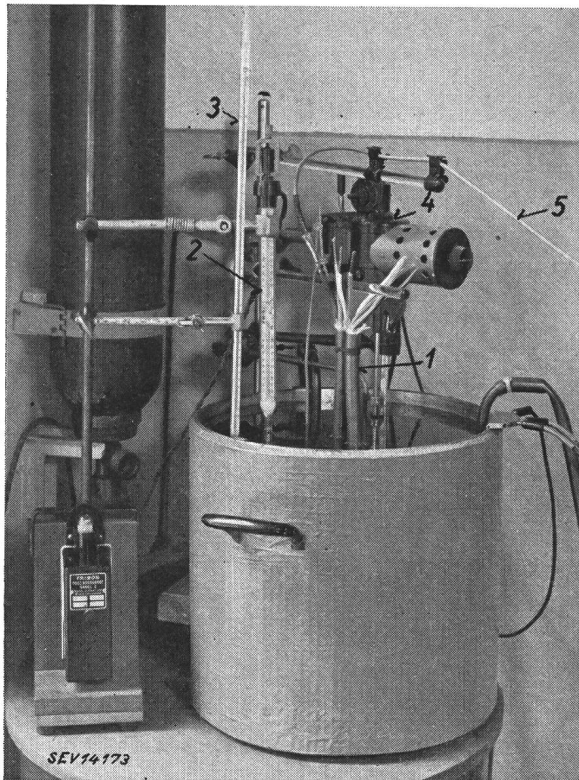


Fig. 1

Apparatur zur Messung des spezifischen Widerstandes
 1 zu prüfender Leiter. 2 Kontaktthermometer. 3 Normalthermometer. 4 Rührmotor. 5 Ableitung zum Messwiderstand.

zurückzuführen, was eine weitere Fehlerquelle bei der Bestimmung der Durchschlagspannung bedeutet, die allerdings erst bei höheren Frequenzen, für welche dieses Material ohnehin nicht geeignet ist, merklich in Erscheinung tritt.

Aus diesen Ueberlegungen geht hervor, dass bei der Ausführung eines Durchschlags der Zeitfaktor eine grundlegende Rolle spielt, und dass die Angabe einer Durchschlagspannung nur einen Sinn hat, wenn das Tempo der Spannungssteigerung genau definiert ist. Um den Fehler, der durch den zeitlichen Verlauf der Spannungssteigerung bedingt ist, möglichst auszuschalten, wird oft an Stelle der Durchschlagspannung bei vorgeschriebener Spannungssteigerung der sog. Ein- oder Fünf-Minuten-Wert bestimmt. Zu diesem Zweck wird eine konstante Spannung angelegt, welche in der Nähe der Durchschlagspannung liegt, und die Zeit gemessen, die verstreicht, bis der Wärmedurchschlag erfolgt. Durch Wiederholung des Versuches bei verschiedenen ähnlichen Spannungen wird diejenige Spannung ermittelt, welche innerhalb 1 und 5 Minuten zum Durchschlag führt.

Da für jede Spannungsstufe mehrere Durchschläge ausgeführt werden müssen, ist diese Bestimmung ziemlich zeitraubend, und sie wird daher verhältnismässig selten ausgeführt. Die Werte sind auch hier mit den Fehlern behaftet, welche durch den zeitlichen Verlauf der Durchschlagreaktion bedingt und jedem Wärmedurchschlag eigen sind. Eine weitere Fehlerquelle, die bei allen Durchschlagversuchen zu beachten ist, ist die nichthomogene Feldverteilung zwischen den Elektroden; besonders bei Leitern, bei denen das Isoliermaterial die Form eines Hohlzylinders hat, ist die Feldverteilung stark durch die Dimensionen beeinflusst. Dies erschwert die Reproduzierbarkeit und den Vergleich verschiedener Materialien. Endlich ist noch zu beachten, dass die Spannungsquelle genügend Leistung aufweisen und imstande sein soll, die vorgeschriebene Spannung auch dann zu halten, wenn der Isolierstoff infolge der Erwärmung zum Halbleiter wird. Daraus geht hervor, dass die Durchschlagspannung nur eine sehr ungenügende Beurteilung der thermoplastischen Materialien erlaubt, und dass für eine Charakterisierung exakte physikalische Daten herangezogen werden müssen.

Spezifischer Widerstand

Zur Bestimmung des spezifischen Widerstandes der Isolierhülle eines Leiters wird ein Abschnitt von 2 m Länge in ein Wasserbad gebracht und der Widerstand R zwischen Leiterseele und Wasserbad gemessen. Für die Berechnung des spezifischen Widerstandes ρ aus dem Widerstand R ist zu beachten,

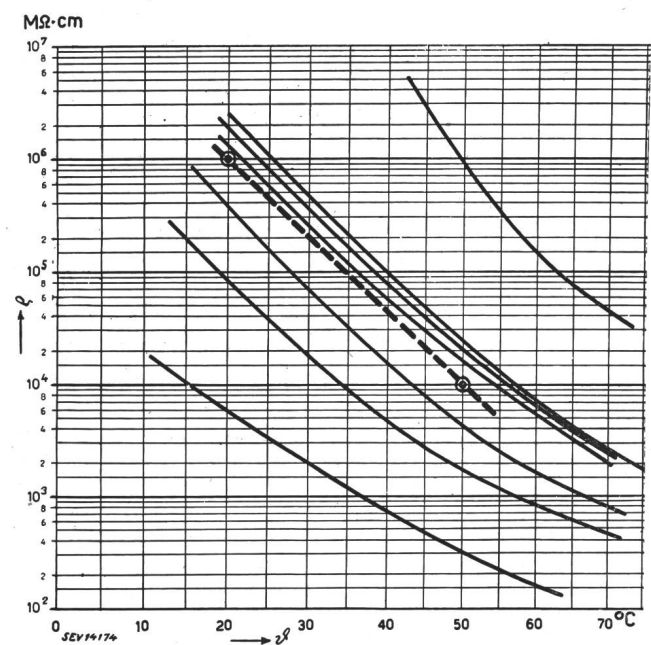


Fig. 2

Thermoplastisolierte Leiter
 Spezifischer Widerstand (ρ) des Thermoplastschlauches in Funktion der Temperatur (ϑ).

dass der Leiter in diesem Falle die Form eines Hohlzylinders mit den Radien r_i und r_a hat. Bei Betrachtung eines unendlich dünnwandigen Zylinders von der Wandstärke $r_a - r_i = dr$, der in radialer Richtung vom Strom durchflossen wird, ist für den

vom Strom durchflossenen Querschnitt A die Oberfläche des Zylinders, also $A = 2 \pi r l$ zu setzen, wo l die Länge des Zylinders, d. h. die Länge des eingetauchten Leiters bedeutet, während die Länge des stromdurchflossenen Isoliermaterials durch dr dargestellt wird. Daraus folgt:

$$\rho = \frac{R \cdot 2 \pi r l}{d r} \quad \text{oder} \quad \rho = \frac{R \cdot 2 \pi l}{\frac{d r}{r}}$$

Wird über die ganze Dicke des Hohlzylinders integriert, so folgt

$$\rho = \frac{R \cdot 2 \pi l}{\int_{r_i}^{r_a} \frac{d r}{r}} = \frac{R \cdot 2 \pi l}{\ln r_a - \ln r_i} = \frac{R \cdot 2 \pi l}{\ln \left(\frac{r_a}{r_i} \right)}$$

Der spezifische Widerstand ist also eine physikalisch genau definierte Materialkonstante, die sich bei gegebener geometrischer Form des Isolators aus einer Widerstandsmessung berechnen lässt.

Die meisten Eigenschaften der Thermoplaste verändern sich sehr stark mit der Temperatur. Zur Charakterisierung einer Isoliermasse wird daher zweckmässig die Abhängigkeit des spezifischen Widerstandes von der Temperatur angegeben, die folgendermassen bestimmt wird: Leiterabschnitte werden so in das Wasserbad eines Thermostaten ein-

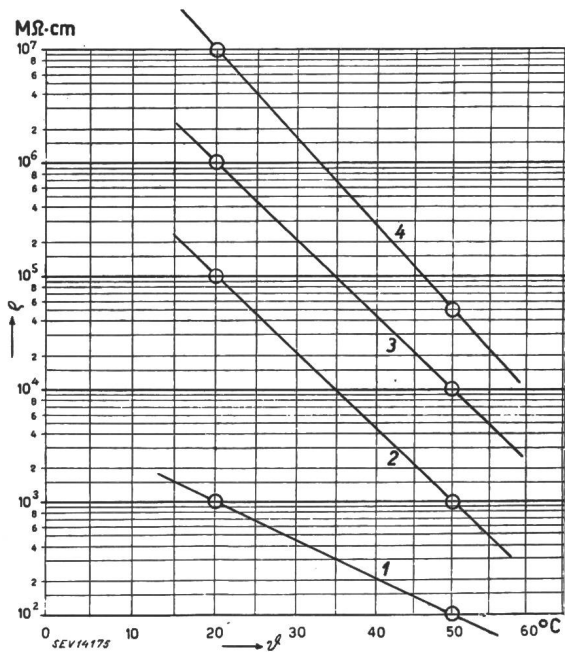


Fig. 3

Thermoplastleiter; verlangte Minimalwerte Spezifischer Widerstand (ρ) in Funktion der Temperatur (ϑ)

- 1 Thermoplastschutzschläuche
- 2 Kriegsbedingte Werte für normale T-Leiter
- 3 Normale Thermoplastleiter (T)
- 4 Verstärkte Thermoplastleiter (TV)

gehängt, dass genau 2 m vom Wasser benetzt werden. Das Wasser wird durch einen Temperaturregler auf $\pm 0,1$ °C konstant gehalten und durch einen Rührer umgewälzt. Vor jeder Messung wird der Leiter min-

destens während 1/2 h auf der Messtemperatur gehalten. Die Messung des Isolationswiderstandes erfolgt mit einem Megohmmeter bei 1000 V Gleichspannung. Fig. 1 zeigt die Anordnung der Apparatur. Aus dem Isolationswiderstand berechnet sich nach der genannten Formel der spezifische Widerstand. Wird der spezifische Widerstand logarithmisch gegen den Logarithmus der absoluten Temperatur aufgetragen, so ergeben sich angenähert gerade Linien, die für die verschiedenen Massen parallel gegeneinander verschoben sind. Die Änderung des spezifischen Widerstandes in Abhängigkeit von der Temperatur ist vollkommen reversibel. Die Messungen können beliebig oft wiederholt werden und ergeben immer dieselben Kurven; es findet also bei der Wasserlagerung innerhalb einiger Tage keine merkliche Wasseraufnahme oder sonstige Veränderung statt. Nur bei elektrisch schlechten Massen mit viel Weichmacher kann nach einiger Zeit ein Herauswaschen des Weichmachers beobachtet werden. In Fig. 2 sind einige typische Kurven dargestellt, die an verschiedenen Leiterisolationen beobachtet wurden. Durch Variation der Komponenten kann der spezifische Widerstand beinahe beliebig verändert werden. Um eine Uebersicht über diese Mannigfaltigkeit zu erhalten, wurde vom SEV eine Einteilung in verschiedene Klassen vorgeschlagen, die durch die in Fig. 3 dargestellten Linien gegeneinander abgegrenzt sind. Die entsprechenden Zahlenwerte finden sich im Bull. SEV Bd. 35 (1944), Nr. 19, S. 536.

Berührungsstrom

Der spezifische Widerstand kann nur berechnet werden, wenn das Isoliermaterial eine einfache, geometrisch definierte Form aufweist, z. B. im Falle eines zylindrischen Isolierschlauches eines Leiters. Für die Bewertung von mehraderigen Kabeln ist nicht nur der spezifische Widerstand des Isoliermaterials der Einzeladern allein massgebend, sondern es muss eine Grösse gemessen werden, welche die Beurteilung des gesamten Aufbaues in bezug auf seine Isolationseigenschaften gestattet. Dazu hat sich die Messung des Berührungsstromes als zweckmässig erwiesen. Als Berührungsstrom (Isolationsstrom) wird der Strom bezeichnet, der von den parallel geschalteten Kabelseelen durch die gesamte Isolation nach aussen fliesst. Die Messung des Berührungsstromes erfolgt, indem ein Kabelabschnitt von 2 m Länge in ein Wasserbad von bestimmter Temperatur eingetaucht wird. Zwischen den miteinander verbundenen Leiterseelen und dem Wasser wird eine Spannung von 500 V, 50 Hz, angelegt. Die Messung des Berührungsstromes erfolgt mit einem Milliampereometer mit Thermokreuzumformer. Ein Strom von 5 mA gilt allgemein als gefährlich, da er im menschlichen Körper einen Krampfzustand erzeugt, der unter Umständen das Loslassen von spannungsführenden Teilen verunmöglicht. Aus sicherheitstechnischen Gründen wird daher gefordert, dass der Berührungsstrom von 2 m Kabel bei einer

Spannung von 300 V und einer Temperatur von 50 °C den Wert von 0,5 mA nicht übersteigt. Misst man den Berührungsstrom in Abhängigkeit von der Temperatur, so erhält man Kurven, die ähnlich wie die entsprechenden Kurven für den spezifischen

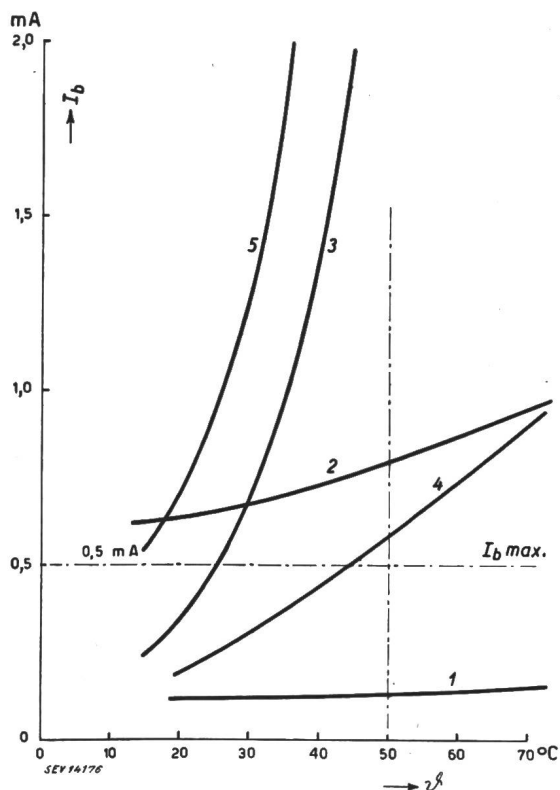


Fig. 4

Berührungsstrom I_b bei 500 V, 50 Hz, und 2 m Prüflänge in Funktion der Temperatur (ϑ)

I_b max. Maximal zulässiger Berührungsstrom

- 1 Cu-GDWn 4×10 mm² Vorkriegskabel mit Gummiisolation
 - 2 Cu-GDWU 4×2,5 mm² mit Regeneratgummi
 - 3 Cu-TDWN 4×2,5 mm² mit thermoplastischer Isolation
 - 4 Cu-TDWN 4×2,5 mm² mit thermoplastischer Isolation *)
 - 5 Cu-T-Seil 35 mm² mit thermoplastischer Isolation
- *) mit Cotopa-Umspinnung

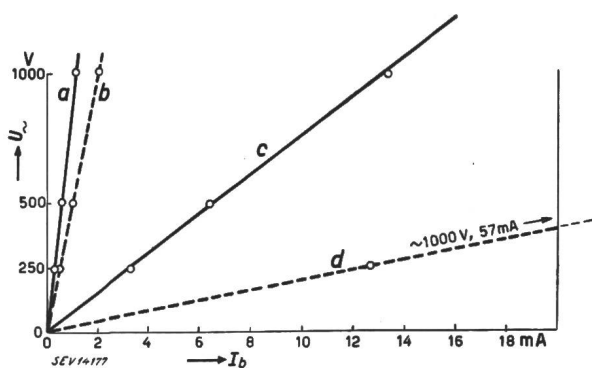


Fig. 5

Berührungsstrom (I_b) in Funktion der Spannung (U)

- Schweisskabel:
- a Al-T 50 mm² 50 °C
 - b Al-T 50 mm² 70 °C
 - c Cu-T 35 mm² 50 °C
 - d Cu-T 35 mm² 70 °C

Widerstand verlaufen, und die eine Qualifizierung des Kabelmaterials und der Kabelkonstruktion ermöglichen.

Als Beispiel ist in Fig. 4 der Berührungsstrom in Funktion der Temperatur für einige Kabeltypen dargestellt. Daraus ist zu ersehen, wie die Leitfähigkeit der Polyvinylchloridderivate in der Gegend von 30...50 °C sehr rasch ansteigt (Kurven 3 und 5), was bei Gummi (Kurven 1 und 2), selbst bei Regeneratgummi, nicht der Fall ist. Der Unterschied zwischen den Kurven 3 und 4 zeigt, wie durch eine zweckmässige Konstruktion, z. B. Umspinnung der Adern mit Cotopa, auch mit verhältnismässig schlechtem Material ein Kabel hergestellt werden kann, das den gestellten Anforderungen genügt. Bei den in der Installationspraxis vorkommenden Spannungen zwischen 100 und 1000 V ist der Berührungsstrom praktisch proportional der Spannung, was die Geraden in Fig. 5 zeigen, welche den Berührungsstrom in Abhängigkeit der Spannung bei verschiedenen Temperaturen darstellen. Es liegt also in diesem Gebiet zur Hauptsache eine Ohmsche Leitfähigkeit vor.

Beständigkeit der Polyvinylchloridderivate

Da die Polyvinylchloridderivate erst in jüngster Zeit in die Praxis eingeführt wurden, können noch keine praktischen Erfahrungen über ihr Verhalten während längerer Zeiträume vorliegen. Aus den im Laboratorium ausgeführten kurzzeitigen Alterungen lassen sich weitgehende Schlüsse auf ihre Eigenschaften ziehen; doch ist es schwierig, daraus das Verhalten in der Praxis zu beurteilen. Um die Beständigkeit gegenüber praktisch vorkommenden Einflüssen zu studieren, wurden Leiterringe von 2 m, wie die, welche für die Messung des spezifischen Widerstandes verwendet werden, und die von fünf verschiedenen Herstellern stammten, der natürlichen Bewitterung im Freien ausgesetzt. Die Messung nach einjähriger Bewitterung ergab keine merkliche Abnahme des spezifischen Widerstandes.

Gleichzeitig wurden dieselben Muster von je 2 m Länge auf einen Messingdorn von 2,5 cm Durchmesser gewickelt und in verschlossenen Glasgefässen über Wasser aufbewahrt. Während des ganzen Versuches wurde zwischen Leiterseele und Dorn eine Spannung von 500 V, 50 Hz, gelegt. Nach einem Jahr Feuchtlagerung unter Spannung hatte sich der Isolationswiderstand zwischen den Leiterseelen, der mit einem Megohmmeter bis 100 V Gleichspannung gemessen wurde, nicht merklich verändert. Nach 1 1/2-jähriger Lagerung hatten sich auf einigen Mustern Schimmelpilze angesetzt, die vereinzelte Durchschläge verursachten.

Die bis heute gemachten Erfahrungen mit Polyvinylchloridderivaten als Ersatz für Gummi in der Leiterisolation lassen erkennen, dass dieses Material den praktisch vorkommenden Ansprüchen in den meisten Fällen vollauf genügt. Immerhin ist zu beachten, dass den speziellen Eigenschaften dieses Materials, namentlich seiner Wärme- und Kälteempfindlichkeit, die nötige Aufmerksamkeit geschenkt, und dass dieses Material seinen Qualitäten entsprechend verwendet wird.

Adresse des Autors:

Dr. sc. techn. M. Zürcher, Ingenieur der Materialprüfanstalt des SEV, Seefeldstrasse 301, Zürich 8.