

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 49 (1958)
Heft: 7

Artikel: Über die Prüfdauer und das Verhalten der Wärmebeständigkeit von Kabelisolationen aus synthetischen Kautschuken bei Temperaturen bis 100 ° C
Autor: Weber, H.M. / Baumann, G.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059717>

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: 03.04.2025

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

und auf dem Weitverkehrsgedanken der Fernschreibtechnik aufgebaut ist, d. h. in Anbetracht der Tatsache, dass der Ortsverkehr beim Telex kaum 5% ausmacht, sind für diesen keine besonderen Verbindungswege vorgesehen. Diese hätten nämlich die Unterteilung in verschiedene Wähler, nämlich Anrufsucher, Gruppen-, Umsteuer- und Leitungswähler bedingt. Statt dessen ist eine einzige Wählerart vorhanden, die bei abgehendem Verkehr als Anrufsucher, bei ankommendem Verkehr als Leitungswähler arbeitet, der die beiden letzten Ziffern aufnimmt. Der wie erwähnt sehr geringe Ortsverkehr macht Spitzkehre über das Hauptamt. Man sieht daraus, dass die Fernschreibtechnik als Weitverkehrsmittel ein gewisses Umdenken erfordert.

Fig. 10 zeigt eine für Polizeidienst entwickelte Fernschreib-Teilnehmeranlage, mit manueller, schnurloser Vermittlung. Von hier aus können nach den verschiedenen Polizeistationen einer Stadt Einzel- oder Rundschreibverbindungen hergestellt werden. Natürlich ist auch Verkehr mit dem Telexnetz

möglich, wozu eine oder mehrere Amtsleitungen bereitstehen.

Fig. 11 zeigt eine Apparatur, die das Bindeglied darstellt zwischen einem drahtlosen Verbindungskanal und dem Telexnetz. Diese ermöglicht es, die bisher in beiden Richtungen manuell vermittelten Übersee-Telexverbindungen in der ankommenden Richtung automatisch sich abwickeln zu lassen, d. h. dass beispielsweise der Fernplatz New York die schweizerischen Telexteilnehmer direkt wählen kann.

Damit wurde ein kleiner Einblick in die Vermittlungstechnik der Fernschreibnetze gegeben. Selbstverständlich waren auch auf diesem Gebiete mancherlei Detailaufgaben und Probleme zu lösen, um einen zuverlässigen Betrieb gewährleisten zu können.

Adresse des Autors:

M. Fässler, Oberingenieur, Albiswerk Zürich A.-G., Albisriederstrasse 245, Zürich 9/47.

Über die Prüfdauer und das Verhalten der Wärmebeständigkeit von Kabelisolationen aus synthetischen Kautschuken bei Temperaturen bis 100 °C

Von H. M. Weber und G. Baumann, Pfäffikon

621.315.211.001.4 : 621.315.616.7

Für die Fertigung von Kabelisolationen bieten die synthetischen Kautschuke grosse Vorteile. Es sind besonders Neopren- und Butylkautschuk, welche für die Herstellung von flexiblen Leitern und Spezialkabel vermehrt Verwendung finden. Neopren ist ölbeständig und weitgehend unbrennbar, während Butylkautschuk sich durch grosse Wärme- und ausserordentliche Kältebeständigkeit auszeichnet. Gemeinsam weisen beide Synthese-Kautschuke eine sehr gute Beständigkeit gegen Wetteralterung auf und ergänzen sich in ihren Eigenschaften als Kabelisolationen ausgezeichnet.

Es wird in dem folgenden Artikel besonders die gute Wärmebeständigkeit von Butylkautschuk behandelt und verglichen mit anderen Kautschukqualitäten. Mittels entsprechender Messungen wird gezeigt, dass zur verkürzten Bestimmung der Wärmebeständigkeit von Vulkanisaten wegen deren guten Wärmebeständigkeit die gebräuchliche Lagerung während 10 Tagen im Wärmeschrank nicht mehr ausreicht, wie dies beim Naturkautschuk der Fall ist. Es ist hiezu eine Prüfung von mindestens 30 Tagen notwendig. Im weitem wird dargelegt, dass ein Vergleich zwischen künstlich beschleunigter und natürlicher Alterung im Falle der Kabelisolation möglich ist.

Dans la fabrication des isolations de câbles électriques, les caoutchoucs synthétiques offrent de grands avantages. Ce sont surtout le Néoprène et le Butyle qui trouvent une utilisation accrue dans la fabrication de conducteurs flexibles et de câbles spéciaux. Le Néoprène résiste à l'huile et est pratiquement incombustible, cependant que le Butyle se distingue pour sa résistance à une grande chaleur et particulièrement au froid. Ces deux caoutchoucs synthétiques montrent une bonne résistance contre le vieillissement sous conditions atmosphériques et se complètent de par leurs propriétés dans la fabrication d'isolations pour câbles.

Dans l'article suivant il sera surtout parlé de la bonne résistance à la chaleur du Butyle qui sera comparé à d'autres sortes de caoutchoucs. Au moyen de mesures correspondantes il sera démontré que, pour prouver la résistance à la chaleur de produits vulcanisés, une exposition de 10 jours en étuve ne suffit plus, comme c'est le cas pour le caoutchouc naturel. Dans ce cas, un examen d'au moins 30 jours est nécessaire. En outre, il sera décrit qu'une comparaison entre des vieillissements artificiellement accélérés et naturels est bien possible concernant des isolations de câbles.

Das steigende Interesse für Kabel-Isolationen aus synthetischem Kautschuk hatte eine rasche und überaus befriedigende Einführung dieses Materials in der Kabelindustrie zur Folge. Es finden deshalb immer kleinere Mengen Naturkautschuk in der Kabelherstellung Verwendung. Diese Erscheinung und die Tatsache, dass in der Kabelfertigung der prozentuale Anteil an synthetischem Kautschuk grösser ist als in der übrigen Gummi-Industrie, weist darauf hin, dass dieses Material für elektrische Kabel bedeutende Vorteile zu bieten vermag.

Der Käufer eines Kabels erwartet von diesem eine möglichst lange Lebensdauer. Das Kabel soll alterungsbeständig sein und muss seine guten mechanischen und elektrischen Eigenschaften auch bei extremer Beanspruchung möglichst lange erhalten können.

Die Lebensdauer eines Kabels ist vor allem abhängig von den physikalischen Eigenschaften der Gummi-Isolation. Diese werden allgemein mittels der Zerreissfestigkeit und Bruchdehnung charakterisiert, welche Eigenschaften im praktischen Einsatz bzw. während fortschreitender Alterung einer mehr oder weniger schnellen Abnahme unterworfen sind. Neben der Bedingung für gute Isolationseigenschaften der Gummi-Mischung sind die Wärme- und Kältebeständigkeit und beispielsweise sehr gute Flexibilität als zusätzliche Eigenschaften eines beweglichen Gummikabels sehr erwünscht. Als Folge der ständig steigenden Anforderungen werden vom neuzeitlichen Gummikabel gerade diese zusätzlichen Eigenschaften immer dringender verlangt.

Die Wärmebeständigkeit ist besonders für Steuer-, Heiz- und Übertragungskabel interessant, da eine

Fortsetzung des allgemeinen Teils auf Seite 287

Es folgen «Die Seiten des VSE»

Fortsetzung von Seite 278

Über die Prüfdauer und das Verhalten der Wärmebeständigkeit von Kabelisolationen aus synthetischen Kautschuken bei Temperaturen bis 100 °C (Fortsetzung)

zusätzliche Wärmebeständigkeit an solchen Kabeln eine längere Lebensdauer, Einsparungen an Kupfer, grössere Sicherheit bei Überlastungen und den Einsatz in warmer Umgebung ermöglichen.

Eine Kältebeständigkeit im Temperaturbereich bis -40°C ist nicht nur für Industriekabel erwünscht, sondern auch für alle flexiblen Kabel, die oft bei Schnee und Eis auf Schlag und ständig auf Biegung beansprucht werden. Aber auch im täglichen Gebrauch, in Werkstatt, Garage oder auf dem Bauplatz und nicht zuletzt im Haushalt schätzt man immer mehr leicht bewegliche und flexible Kabel, die ihre Eigenschaften weder in der Wärme noch in der Kälte verlieren.

Diese Spezialanforderungen erfüllen am besten Kabel aus synthetischem Kautschuk. Wärme- und Kältebeständigkeit einerseits, mechanische Zähigkeit sowie hervorragende Flexibilität andererseits dürfen als typische Eigenschaften des modernen Gummikabels bezeichnet werden. Auf Grund dieser besonderen Eigenschaften unterscheidet sich das z. Z. hergestellte Gummikabel vorteilhaft vom klassischen Naturkautschuk-Kabel und zum Teil auch von neuzeitlichen Kabeln aus verschiedenen thermoplastischen Materialien.

Es ist bekannt, dass der Alterungsprozess von Vulkanisaten aus Naturkautschuk massgeblich auf die Einwirkung von Sauerstoff zurückzuführen ist. Dabei wird das Vulkanisat mehr oder weniger schnell oxydiert. Je mehr Sauerstoff vorhanden ist und je leichter der Sauerstoff in die Gummimasse eindringen kann, umso schneller geht die Alterung vor sich, welche bestimmend ist für die Lebensdauer des ganzen Kabels. Es ist aus diesem Grunde von ausserordentlicher Wichtigkeit, dass dieser Alterungsverlauf genau bekannt ist und im Aufbau des Kabels und in der Auswahl des Materials berücksichtigt wird. Eine allgemeine Methode, den Alterungsprozess für messtechnische Zwecke zu beschleunigen, besteht darin, dass man den Prüfling bei erhöhten Temperaturen lagert, wodurch die Oxydation bzw. die Reaktionsfähigkeit des vulkanisierten Kautschuks mit dem Sauerstoff automatisch erhöht wird.

Die heute meist gebrauchte Methode zur Bestimmung der beschleunigten Alterung ist diejenige von *W. C. Geer* und *N. W. Evans* und ist im Jahre 1916 bekannt gegeben worden. Diese Prüfung sieht eine zehntägige Lagerung des Prüflings in einem zweckmässigen Wärmeschrank bei einer Temperatur von 70°C vor. Man nennt diesen Alterungsschrank Geer-Ofen. Die ermittelten Messwerte vor und nach der Wärmelagerung des Prüflings werden miteinander in Relation gebracht, und es lässt sich aus der ermittelten Differenz zwischen ungealterten und gealterten Proben die voraussichtliche Lebensdauer des entsprechenden Vulkanisates abschätzen. Im Bestreben, das Alterungsverhalten einer Kautschukmischung in noch kürzerer Zeit er-

mitteln zu können, entwickelten *I. M. Bierer* und *C. C. Davis* im Jahre 1924 eine Druckbombe, in welcher die Prüflinge statt der erwärmten Luft, reinem komprimiertem Sauerstoff ausgesetzt werden. Durch diese Lagerung in der Sauerstoff-Atmosphäre wird die Oxydation der Gummiprobe beschleunigt und damit die Verkürzung der Alterungsprüfung ermöglicht.

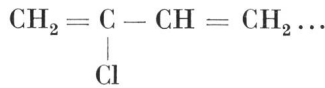
Es ist sehr schwer, die beschleunigte Alterung mit der natürlichen in Beziehung zu bringen, da das Alterungsverhalten sowohl von der Vielfalt der Mischungsbestandteile und dem Vulkanisationsgrad als auch von den Prüfbedingungen, besonders aber von den atmosphärischen Konditionen der natürlichen Alterung abhängt. Nach einer Faustregel entsprechen einer Lagerung, und damit einer künstlichen Alterung von 10 Tagen im Geer-Ofen bei 70°C etwa 3...5 Jahre natürlicher Alterung; einer Lagerung von 1 Tag in der Bierer-Davis-Bombe bei 21 kg/cm^2 Sauerstoffdruck und einer Temperatur von 70°C etwa 1 Jahr natürliche Alterung.

Um die künstliche Alterungsprüfung in dem in den meisten Laboratorien vorhandenen Geer-Ofen weiter beschleunigen zu können wird die Prüfung vielfach auch bei höheren Temperaturen als 70°C durchgeführt. Durch diese Temperatursteigerung versucht man nebst der Alterungsprüfung gleichzeitig auch Angaben über die Wärmebeständigkeit des Prüflings zu erhalten.

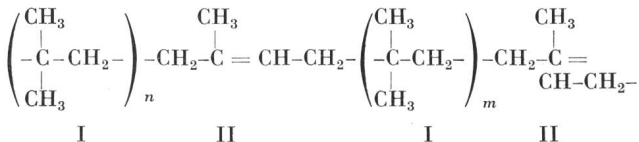
I. M. Buist Morgan und *Naunton* weisen aber darauf hin, dass zu hohe Temperaturen im Wärmeschrank die Oxydation des Prüflings, besonders solche aus Naturkautschuk, so stark zu beschleunigen vermögen, dass sich an der Oberfläche der Gummiprobe eine harte, brüchige Schicht (Schale) bilden kann, welche die darunter eingeschlossene Gummimasse vor weiterer Oxydation zu schützen vermag. Die Ergebnisse solcher Prüfungen können leicht zu Fehlschlüssen Anlass geben. *Morgan* und *Naunton* empfehlen deshalb bei Alterungsprüfungen eine Temperatur von 80°C nicht zu überschreiten. Diese Ansicht bezieht sich auf Vulkanisate aus Naturkautschuk. Anders als bei Naturkautschuk liegen die Verhältnisse bei einigen synthetischen Kautschukarten, da diese eine weit geringere Reaktionsfähigkeit gegenüber Sauerstoff besitzen und infolgedessen eine viel bessere Alterungs- bzw. Wärmebeständigkeit aufweisen. Es warnen aber auch hier namhafte Autoren davor, solche synthetische Kautschuke bei übertrieben hohen Temperaturen altern zu wollen, da auch bei synthetischen Kautschuken Fehlschlüsse entstehen können. Näher auf die verschiedenen Methoden und Ansichten der Alterungsprüfung und Temperatur einzutreten, erlaubt der Umfang dieser Arbeit nicht, und es sei lediglich auf die Zusammenstellung über zweckmässige Alterungskonditionen in «The Services Rubber Investigations Users Memorandum No. U 16» und das Buch «Aging and Weathering of Rubber» von *J. M. Buist* verwiesen.

Für die Kabelindustrie sind nebst einigen beschränkt wärmebeständigen Butadien-Styrol-Typen (Buna oder GR-S) die Synthese-Kautschuke Neopren und Butyl von besonderem Interesse.

Neopren-Kautschuk, auch unter der Bezeichnung Polychloropren bekannt, wird aus Acetylen hergestellt und besitzt folgende Struktur:



Butylkautschuk entsteht durch gleichzeitige Polymerisation — Copolymerisation genannt — von dem aus Petroleum hergestellten, gesättigten *Isobutylen* (I) mit 0,6...2,5% an ungesättigtem *Isopren* (II) und besitzt folgende Struktur:



Dank ihrer überlegenen Eigenschaften werden heute diese zwei synthetischen Kautschukarten vorwiegend für Gummi-, besonders aber für Kabelfabrikate verwendet.

Neopren ist ölbeständig und weitgehend unbrennbar, während Butylkautschuk sich durch grosse Wärme- und Kältebeständigkeit auszeichnet. Gemeinsam sind Neopren- und Butylkautschuk sehr beständig gegen Sauerstoff und Ozon und weisen auch eine sehr gute Wetterbeständigkeit auf. Beide Synthesekautschuke ergänzen sich als Kabelisolationen ausgezeichnet. Einzeln oder in Verbindung miteinander lassen sie sich mittels neuzeitlicher Arbeitsmethoden zu Kabeln verarbeiten, die dem klassischen Naturkautschuk weit überlegen sind.

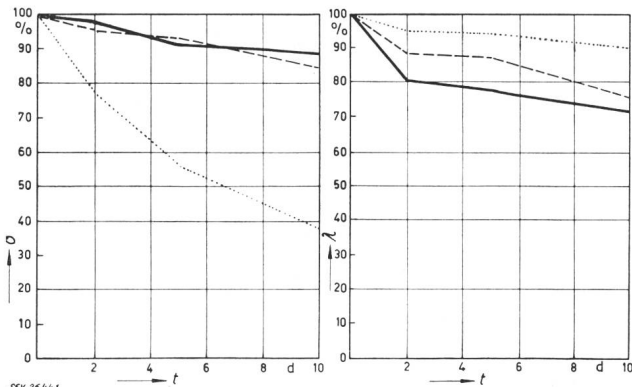


Fig. 1

Das Verhalten verschiedener Kautschukqualitäten als Kabelisolation bei einer Wärmelagerung von 100 °C während 10 Tagen

Werte im Anlieferungszustand = 100 %
 σ Zerreiβfestigkeit; λ Bruchdehnung; t Zeit; d Tage
 Prüfling: ASTM = Hantel C; Prüfmaschine:
 Scott Tester L-6, 20 °C

— Butyl Naturkautschuk - - - - - Neopren

Die Begriffe der Ölbeständigkeit und der Unbrennbarkeit nebst deren Prüfmethode sind wohl geläufig und bedürfen hier keiner weiteren Erläuterungen. Weniger trifft dies für die Wärmebeständigkeit zu, weshalb in der Folge auf das Verhalten bei Wärme von Natur-, Neopren- und Butylkautschuk etwas näher eingegangen werden soll.

Die meisten Kabelvorschriften enthalten als vorgeschriebene Alterungsprüfung die konventionelle Alterung im Geer-Ofen. Für die Beurteilung der Alterungsprüfung von Isolations- und Mantelmischungen gilt als Richtlinie, dass die physikalischen Eigenschaften der Gummimischungen nach erfolgter Alterung eine Verminderung von höchstens 25% gegenüber jenen im Anlieferungszustand aufweisen dürfen.

Die Geersche Alterungsprüfung wird neuerdings auch zur Bestimmung der Wärmebeständigkeit von Kautschuken herangezogen, mit dem Unterschied, dass die Lagerungstemperatur von 70 °C auf 100 °C, ja sogar bis 125 °C erhöht wird.

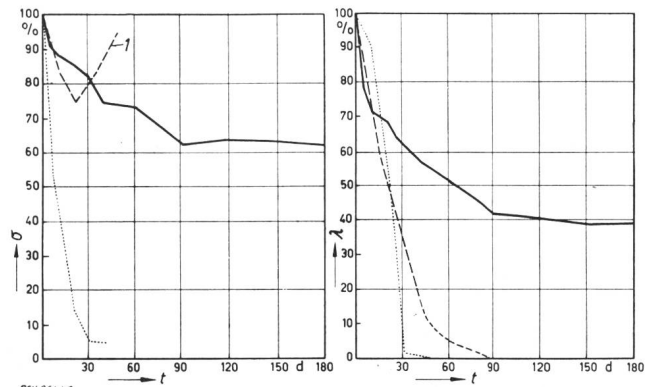


Fig. 2

Das Verhalten verschiedener Kautschukqualitäten als Kabelisolation bei einer Wärmelagerung von 100 °C während 6 Monaten

σ Zerreiβfestigkeit; λ Bruchdehnung; t Verhärtung; d Tage
 Bezeichnungen siehe Fig. 1

Bei Vulkanisaten aus Natur- und Butadienkautschuk ist die Erhöhung der Prüftemperatur zulässig, da die Wärmebeständigkeit solcher Vulkanisate relativ gering ist und die physikalischen Eigenschaften während 10 Tagen in der Wärme so stark vermindert werden, dass leicht eindeutige Schlüsse auf die Wärmebeständigkeit gezogen werden können (Fig. 1). Bei Vulkanisaten aus Neopren- oder Butylkautschuk hingegen ist diese Prüfungsweise nur bedingt zulässig, denn diese Vulkanisate sind gegen Wärme so widerstandsfähig, dass in einer Prüfung von 10 Tagen auf deren Wärmebeständigkeit nicht eindeutig geschlossen werden kann. Erst eine verlängerte Wärmelagerung von 30 Tagen bis zu mehreren Monaten vermag die physikalischen Eigenschaften dieser Vulkanisate so stark zu verändern, dass eindeutig auf deren Wärmebeständigkeit geschlossen werden kann (Fig. 2).

Die Messwerte der Fig. 1 und 2 wurden durch Alterungsprüfungen im Geer-Ofen ermittelt. Der Aufbau der zu den Prüfungen herangezogenen Kautschukmischungen entspricht im Allgemeinen den in der Literatur aufgeführten Formeln. Wenn es auch möglich erscheint, durch Zusätze das Verhalten dieser Mischungen in der Wärme zu verbessern, so konnte dies bis anhin kaum in dem Ausmasse erfolgen, dass dadurch beispielsweise die für Butylkautschuk typische und hervorragende Wärmebeständigkeit auch mit Neoprenkautschuk hätte erreicht werden können.

Die Messungen in Fig. 1 und 2 wurden an Prüfstäben und nicht an gebrauchsfertigen Kabeln durchgeführt. Es wurden aus diesem Grunde immer wieder Stimmen laut, nach welchen diese experimentellen Erhebungen nicht mit dem praktischen Alterungsverlauf des Kabels verglichen werden können.

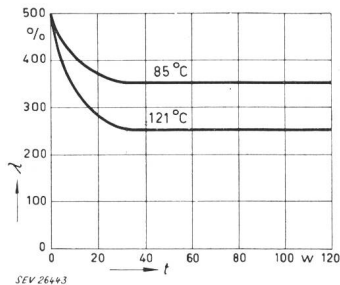


Fig. 3

Wirkung elektrischer Dauerbelastung auf die Bruchdehnung der Butyl-Isolation eines Kabels bei Leitertemperaturen von 85 °C bzw. 121 °C

Leiterquerschnitt ≈ 66 mm²; Gumm wandstärke ≈ 7,5 mm
λ Bruchdehnung; t Zeit; W Wochen

In den Transactions des American Institute of Electrical Engineers, Paper 55—668 vom Oktober 1955, berichten nun J. C. Carroll, A. R. Lee und R. B. McKinley über Alterungsversuche an butylisolierten Kabeln. Im Gegensatz zu den Alterungen an

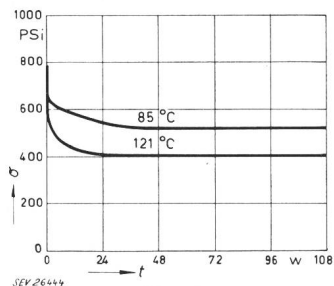


Fig. 4

Wirkung elektrischer Dauerbelastung auf die ZerreiBfestigkeit der Butyl-Isolation eines Leiters bei Leitertemperaturen von 85 °C bzw. 121 °C

Leiterquerschnitt ≈ 66 mm²; Gumm wandstärke ≈ 7,5 mm
σ ZerreiBfestigkeit; t Zeit; W Wochen
PSi = pounds per square inch; 14,22 pounds per square inch = 1 kg/cm²; 1 pound per square inch = 0,0703 kg/cm²

Prüfstäben haben die Autoren entsprechende Alterungsprüfungen an gebrauchsfertigen Kabeln durchgeführt. Diese Kabel wurden während Jahren elektrischen und thermischen Belastungen ausgesetzt,

bei Leitertemperaturen von 85 °C bzw. 121 °C (Fig. 3, 4 und 5).

Die Messungen der amerikanischen Forscher bestätigen, dass ein Vergleich zwischen der Ofenlagerung im Laboratorium und der natürlichen Alterung von Kabeln durchaus möglich ist. Es stellte sich auch heraus, dass Prüfungen auf Wärmebestän-

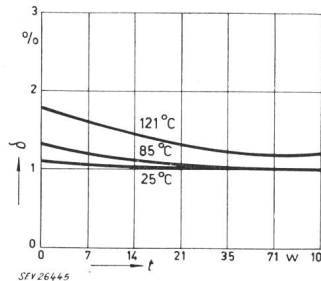


Fig. 5

Wirkung elektrischer Dauerbelastung auf den Verlustwinkel δ der Butyl-Isolation eines Kabels bei Leitertemperaturen von 85 °C bzw. 121 °C

Leiterquerschnitt ≈ 66 mm²; Gumm wandstärke ≈ 7,5 mm
δ Verlustwinkel bei 10 kV; t Zeit; W Wochen

digkeit an Butylmischungen nur dann einwandfreie Resultate liefern, wenn sich diese über mindestens 30 Tage erstrecken. Die meist übliche Kurzprüfung während 10 Tagen sollte bei der Bestimmung der Wärmebeständigkeit von Neopren-, besonders aber von Butylmischungen durch eine entsprechende Prüfung von mindestens 30 Tagen ersetzt werden.

Zusammenfassung

1. Zur Bestimmung der Wärmebeständigkeit bis 100 °C an Kautschukisolationen aus Neopren- und Butylkautschuk ist es empfehlenswert die übliche Wärmelagerung während 10 Tagen durch eine Dauerlagerung von mindestens 30 Tagen zu ersetzen.

2. Dauerversuche an Kabeln die während 2 Jahren durch Überlastung auf 80 °C bzw. 121 °C Kupfertemperatur erhitzt worden sind, zeigen im Falle der Butylkautschukisolation, dass ein Vergleich zwischen der künstlichen und der natürlichen Alterung am Kabel möglich ist.

3. Die angestellten Dauerversuche bestätigen, dass Isolationen aus Butylkautschuk ausserordentliche Wärmebeständigkeit aufweisen.

Adresse der Autoren:

Dr. H. M. Weber und G. Baumann, Aktiengesellschaft R. & E. Huber, Schweiz. Kabel-, Draht- und Gummiwerke, Pfäffikon (ZH).

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Strombegrenzung mit Hilfe von Transduktoren

621.375.3 : 621.316.721

[Nach P. Kratz und A. Lang: Strombegrenzung mit Hilfe von Transduktoren. AEG-Mitt. Bd.47(1957), Nr. 5/6, S. 140...144]

Stromsteuernde magnetische Verstärker (Transduktoren), im Gegensatz zu der häufigeren, spannungssteuernden Variante, weisen eine etwa 100fach kleinere Leistungsverstärkung auf. Fig. 1 zeigt zwei Schaltungsbeispiele für lphasige stromsteuernde magnetische Verstärker. Die Kennlinien stellen das typische Verhalten dieser Verstärkerart dar. Wesentlich für ideale Konstantstrom- und Strombegrenzungskennlinien ist ein Kernmaterial mit sehr schmaler und sehr rechteckiger

Hystereseschleife. Für Verstärkerleistungen bis zu einigen 100 VA wird meist Nickeleisenmaterial mit nahezu rechteckförmiger Magnetisierungsschleife verwendet, wobei Ringkerne die besten Eigenschaften aufweisen. Kerne für grössere Leistungen werden aus kaltgewalztem Transformatorenblech mit magnetischer Vorzugsrichtung hergestellt. Neuerdings entwickelte Schichtkerne aus gestanzten und verschachtelten Blechen sind so ausgelegt, dass die Magnetisierungsrichtung weitestgehend mit der Vorzugsrichtung zusammenfällt, wodurch die dem Material eigene kleine Ummagnetisierungsfeldstärke und die ausgeprägte Sättigung fast unverfälscht zur Geltung kommen.