Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 41 (1950)

Heft: 3

Artikel: Ein Messverfahren zur Bestimmung der Diffusionskonstanten von Kabelmänteln aus Thermoplasten

Autor: Müller, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1061228

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: 02.10.2025

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

[17] *Langmuir, D. B.:* Theoretical limitations of cathode-ray tubes. Proc". Inst. Radio Engr". Bd. 25(1937), Nr. 8, S. 977.
[18] *Klemperer, O.*, u. *B. J. Mayo:* Electron optics and space charge in simple emission systems with circular symmetry. J. Instn. Electr. Engr"., Part III, Bd. 95(1948), Nr. 35, S. 135.
[19] *Moss, H.:* The electron gun of the cathode-ray tube. J. Brit. Inst. Radio Engr". Bd. 5(1945), Nr. 1, S. 10; Bd. 6 (1946), Nr. 6, S. 99.
[20] *Pierce, J. R.:* Rectilinear electron flow in beams. J. Appl. Phys. Bd. 11(1940), Nr. 8, S. 548.
[21] *Helm, R., K. Spangenberg* u. *L. M. Field:* Cathode-design procedure for electron-beam tubes. Electr. Commun. Bd. 24(1947), Nr. 1, S. 101.
[22] *Samuel, A. L.:* Some notes on the design of electron guns. Proc". Inst. Radio Engr". Bd. 33(1945), Nr. 4, S. 233.
[23] *Guénard, P.:* Sur la possibilité d'une focalisation purement électrostatique dans un tube à modulation de vitesse à conversion par glissement. Ann". Radioélectr. Bd. 1(1945), Nr. 1, S. 74.
[24] *Huber, H.:* Détermination d'un canon électronique en tenant compte de la charge spatiale du faisceau. Ann". Radioélectr. Bd. 4(1949), Nr. 15, S. 26.
[25] *Gabor, D.:* Stationary electron swarms in electromagnetic fields. Proc". Roy. Soc. Lond., Ser. A, Bd. 183(1945), Nr. 995, S. 436.
[26] *Paehr, H. W.:* Zur Theorie der Braunschen Röhre. Fernseh-Hausmitt". Bd. 1(1939), Nr. 5, S. 193.
[27] *Dosse, J.:* Theoretische und experimentelle Untersuchungen über Elektronenstrahler. Z. Phys. Bd. 11(1940), Nr. 9/10, S. 530.
[28] *Gundert, E.:* Das Triodensystem zur Kathodenstrahlerzeugung. Z. techn. Phys. Bd. 24(1943), Nr. 11/12, S. 267.
[29] *Klemperer, O.:* Electron optics and space charge in strip-cathode emission systems. Proc". R. Phys. Soc. Lond. Bd. 59(1947), Nr. 3, S. 302.
[30] *Pierce, J. R.*, u. *W. B. Hebenstreit:* A new type of high-frequency amplifier. Bell Syst. Techn. J. Bd. 28(1949), Nr. 1, S. 33.
[31] *Haeff, A. V.:* The electron-wave tube — A novel method of generation and amplification of microwave energy. Proc". Inst. Radio Engr". Bd. 37(1949), Nr. 1, S. 4.
[32] *Pierce, J. R.:* Double stream amplifiers. Proc". Inst. Radio Engr". Bd. 37(1949), Nr. 10, S. 980.

Adresse des Autors:
Dr. *A. A. Rusterholz*, Gladbachstrasse 114, Zürich 44.

Ein Messverfahren zur Bestimmung der Diffusionskonstanten von Kabelmänteln aus Thermoplasten

Von *E. Müller*, Pfäffikon (ZH)

621.315.229.0014

Aus der Diffusionskonstante lässt sich überschlägig die Lebensdauer von Kabeln mit Thermoplastmänteln und hygroskopischer Isolation bestimmen. In der vorliegenden Arbeit wird eine Messmethode beschrieben, bei der an Stelle der sonst üblichen Bestimmung auf gravimetrischem Wege oder Druckmessverfahren die Diffusionskonstante aus den Änderungen der dielektrischen Eigenschaften eines hygroskopischen Isoliermaterials auf relativ einfache Weise ermittelt werden kann. Aus der Diskussion der heute verwendbaren Materialien folgt, dass man mit Thermoplastmänteln auf Kohlenwasserstoffbasis unter gewissen Vorsichtsmassnahmen bei papierisolierten Kabeln mit einer Lebensdauer bis zu etwa 20 Jahren rechnen kann. Dagegen ist eine Mindestlebensdauer von 30...40 Jahren erreichbar, wenn auch für die Aderisolation Kohlenwasserstoffe Verwendung finden.

Par la constante de diffusion on peut déterminer approximativement la durée des câbles avec enveloppes thermoplastiques et isolation hygroscopique. Pour la détermination de cette sonstante on a employé jusqu'à présent la méthode gravimétrique ou par mesurage de la tension sous pression. L'article suivant décrit une méthode assez simple, permettant de mesurer la constante de diffusion par la variation des pertes diélectriques d'une matière hygroscopique. De la discussion sur les matériaux, aujourd'hui applicables à ce but, il s'ensuit qu'on peut compter avec une durée de 20 ans environ pour les enveloppes en thermoplastes sur la base de carbures d'hydrogène et, en observant certaines précautions, pour les câbles isolés au papier. En outre on peut atteindre une durée d'au moins 30 à 40 ans si l'isolation du fil conducteur se compose aussi de produits ayant pour base des carbures d'hydrogène.

1. Einleitung

In den letzten Jahren haben die Thermoplaste in zunehmendem Masse Eingang in die Kabeltechnik gefunden. Seit es gelungen ist, Thermoplaste mit geringer Wasseraufnahme herzustellen, ist auch immer wieder das Problem diskutiert worden, den Bleimantel von Kabeln durch einen Thermoplastmantel zu ersetzen. Neben einer bedeutenden Gewichtsersparnis würden damit auch die Schwierigkeiten, die ein wirksamer Korrosionsschutz für den Kabelbleimantel bereitet hat, mühelos beseitigt werden. Gleichzeitig tritt aber eine grosse prinzipielle Schwierigkeit mit der Frage auf, für welche Zeitdauer Thermoplastmäntel einen hinreichenden Schutz gegen das Eindringen von Feuchtigkeit bieten. Das bedeutet für die Praxis die Klärung der Frage, ob es technisch in grossem Umfang herstellbare Thermoplaste gibt, die eine so niedrige «Diffusionskonstante» aufweisen, dass auch Kabel mit hygroskopischer Isolation, z. B. Kabelpapier, im Erdboden eine ausreichende Lebensdauer haben. Es hat den Anschein, als ob man durch die Herstellung von Thermoplasten auf Polyisobutylen- oder Polyaethylenbasis einer Lösung dieses Problemes bedeutend näher gekommen ist. Jedenfalls ist die Kenntnis und Messung der Diffusionskonstanten von Thermoplastmänteln eine unumgängliche Voraussetzung für die Diskussion dieser Frage. Ihre messtechnische Bestimmung ist kein einfaches Problem und auch bereits in einigen Arbeiten behandelt worden [1]). Meistens erfolgt die Bestimmung auf gravimetrischem Wege oder aus einer Druckmessung. In dieser Arbeit soll ein Verfahren beschrieben werden, das ermöglicht, durch Messung der dielektrischen Eigenschaften von Faserstoffen in Abhängigkeit von der Feuchtigkeitsaufnahme ohne grossen apparativen Aufwand eine Bestimmung der Diffusionskonstanten vorzunehmen. Bevor auf das Messverfahren näher eingegangen wird, soll noch kurz ein Überblick über die Definition und Bedeutung der Diffusionskonstanten gegeben werden.

[1]) siehe Literatur am Schluss.

2. Definition der Diffusionskonstanten und ihre Bedeutung für die Lebensdauer von Kabeln

Für Kabelmäntel ist die Diffusionskonstante definiert durch die aus dem Fickschen Diffusionsgesetz abgeleitete Beziehung

$$D = \frac{G}{2\,l\,\Delta p\,t} \cdot \ln \frac{d_a}{d_i}$$

Darin bedeuten:

G diffundierte Wassermenge in g,
d_a, d_i Aussen- bzw. Innendurchmesser des Kabelmantels,
l Länge des Kabelmantels in cm,
Δp Dampfdruckdifferenz in mm Hg zwischen Innen- und Aussenraum,
t Zeit in Stunden.

Die Diffusionskonstante ist also ein Mass für die Wassermenge in Gramm, die in einer gegebenen Zeit bei gegebener Dampfdruckdifferenz durch einen Schlauch von gegebener Wanddicke hindurchdiffundiert. Gleichzeitig folgt aus dieser Beziehung, dass man für eine bekannte Diffusionskonstante die Zeit t ausrechnen kann, bis zu der beispielsweise der Isolationswiderstand eines papierisolierten Kabels auf die Hälfte (Halbwertzeit) absinkt, wenn man die Grösse des Isolationswiderstandes für eine bestimmte Wasseraufnahme ermittelt.

Dabei ist allerdings vorausgesetzt, dass die Dampfdruckdifferenz zwischen Aussen- und Innenluft konstant ist, d. h. die Änderung des Dampfdrucks im Innern durch den zunehmenden Feuchtigkeitsgehalt wird vernachlässigt. Das kann unbedenklich geschehen, weil schon relativ geringe Feuchtigkeitszunahmen bei hygroskopischen Stoffen eine erhebliche Änderung des Isolationswiderstandes bewirken und man somit von einer Änderung der Dampfdruckdifferenz hinreichend weit entfernt ist. Selbstverständlich ist nicht zu erwarten, dass eine strenge Vorausberechnung des Verhaltens von Kabeln mit feuchtigkeitsempfindlichem Dielektrikum möglich ist. Aber immerhin sind sehr wertvolle Rückschlüsse auf die erforderliche Grössenordnung der Diffusionskonstanten möglich. Für

Halbwertzeit eines papierisolierten Kabels bei verschiedenen Diffusionskonstanten

Tabelle I

Diffusionskonstante D	Halbwertzeit der Isolation bei 9 °C und 100 % rel. Feuchtigkeit		bei 20 °C und 100 % rel. Feuchtigkeit	
	Stunden	Jahre	Stunden	Jahre
10^{-7}	$1{,}5 \cdot 10^{2}$	—	$7{,}3 \cdot 10^{1}$	—
10^{-8}	$1{,}5 \cdot 10^{3}$	—	$7{,}3 \cdot 10^{2}$	—
10^{-9}	$1{,}5 \cdot 10^{4}$	1,7	$7{,}3 \cdot 10^{3}$	0,84
10^{-10}	$1{,}5 \cdot 10^{5}$	17,0	$7{,}3 \cdot 10^{4}$	8,4

Diffusionskonstante eines Thermoplastmantels von 3 mm Wandstärke in Abhängigkeit vom Seelendurchmesser

Tabelle II

Seelendurchmesser in mm	28	23	18	13	9,5
D	$4 \cdot 10^{-10}$	$3{,}3 \cdot 10^{-10}$	$2{,}4 \cdot 10^{-10}$	$1{,}6 \cdot 10^{-10}$	$1{,}3 \cdot 10^{-10}$

ein papierluftraumisoliertes Fernmeldekabel ist aus einer experimentellen Bestimmung der Abhängigkeit des Isolationswiderstandes von der Feuchtigkeitsaufnahme die ungefähre Halbwertzeit für eine gegebene Diffusionskonstante berechnet worden [1] [1]), und auf eine ähnliche Grössenordnung kommt man, wenn man für eine Lebensdauer von 20 Jahren für eine gegebene Wandstärke des Thermoplastmantels (z. B. 3 mm) die erforderliche Diffusionskonstante in Abhängigkeit vom Seelendurchmesser bei 1 Gewichtsprozent Wasseraufnahme berechnet [6] (vgl. Tab. I und II).

Stellt man diesen Werten die Diffusionskonstanten einiger bekannter organischer Materialien gegenüber [1...6], so zeigt sich, dass die Auswahl an geeigneten Materialien sehr gering ist (vgl. Tabelle III).

Diffusionskonstante einiger organischer Materialien

Tabelle III

Material	Diffusionskonstante D	Beobachter [1])
Vergussmasse spezial	$4 \cdot 10^{-10}$	Sch
Polyisobutylenmischung spezial	$5 \cdot 10^{-10}$	Sch
Erdwachs	$6 \cdot 10^{-10}$	HKT
Polyisobutylen B 200	$2 \cdot 10^{-9}$	Sch
Thiokol	$2{,}2 \cdot 10^{-9}$	HKT
PVC ungefüllt	$8 \cdot 10^{-9}$	BL
Asphalthaltige Vergussmasse	$1{,}1 \cdot 10^{-8}$	HKT
Styroflex	$1{,}3 \cdot 10^{-8}$	BL
Guttapercha	$1{,}5 \cdot 10^{-8}$	HKT
Hartgummi (68 R–32 S)	$1{,}5 \cdot 10^{-8}$	HKT
Polystyrol (Trolitul)	$2{,}0 \cdot 10^{-8}$	BL
Cellophan, wasserfest	$2{,}0 \cdot 10^{-8}$	BL
PVC mit Weichmacher	$3{,}8 \cdot 10^{-8}$	HKT
Vulk. Weichgummi	$5...7 \cdot 10^{-8}$	BL
Vulk. Weichgummi	$6{,}6...7{,}9 \cdot 10^{-8}$	HKT
Thiokol-Mischung	$1{,}8 \cdot 10^{-7}$	BL
Buna S	$1{,}1 \cdot 10^{-7}$	BL
PVC mit Weichmacher und Füllstoff	$2{,}0 \cdot 10^{-7}$	BL
Cellulosetriacetat	$8{,}4 \cdot 10^{-7}$	BL
Celluloseacetat	$1{,}6 \cdot 10^{-7}$	HKT
Cellophan	$2{,}0 \cdot 10^{-6}$	BL

[1]) HKT: Hermann, Kemp, Taylor [3].
BL: Badum und Leilich [4)].
Sch: Schupp [6].

Diese Auswahl ist nun um ein weiteres Hochpolymer erweitert worden, das unter dem Namen Polyaethylen bekannt geworden ist. Bei einer Polyaethylen-Isobutylmischung wurde mit der im folgenden beschriebenen Messmethode ein Wert gefunden, der ebenfalls zeigt, dass man bei einer systematischen Weiterentwicklung auf Polyaethylen, bzw. Polyisobutylenbasis Diffusionskonstanten in der Grössenordnung 10^{-9} oder 10^{-10} wird erreichen können.

3. Die Messmethode

Die Messmethode nützt die bekannte Eigenschaft der Baumwolle aus, stark hygroskopisch zu sein und damit die dielektrischen Eigenschaften mit der Wasseraufnahme G zu verändern. Wie viele derartige Vorgänge, verlaufen die tgδ-Werte einer baumwollisolierten Doppelader in Abhängigkeit von der Feuchtigkeitsaufnahme nach einer e-Funktion (Fig. 1). Man erkennt, dass es mit guter Re-

produzierbarkeit möglich ist, die Wasseraufnahme einer derartigen Doppelleitung durch Messung des Verlustwinkels tgδ direkt in mg zu bestimmen. Wird nun eine solche «Testleitung» in einen an beiden Enden luftdicht verschlossenen Thermoplastschlauch eingezogen, so ist es damit möglich, durch Messung der tgδ-Werte in Abhängigkeit von der Zeit der Feuchtraumlagerung, die Wasseraufnahme der Testleitung und damit die Diffusionskonstante des Thermoplastmaterials direkt zu bestimmen. Es ist dabei bemerkenswert, dass das Material bereits in Schlauchform, d. h. in dem Verar-

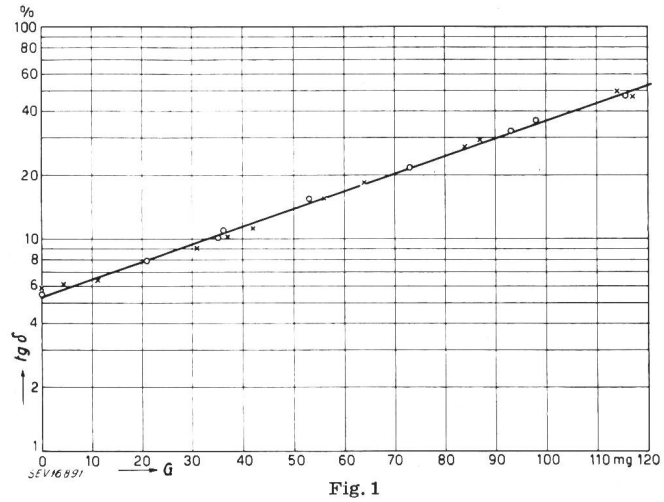

Fig. 1
Verlustwinkel tg δ einer baumwollisolierten Doppelader in Abhängigkeit von der Wasseraufnahme G

beitungszustand untersucht wird, der für die Kabeltechnik besonders wichtig ist.

Nun sind noch gewisse Vorsichtsmassnahmen bei der Abdichtung der Schlauchenden zu treffen. Fig. 2 zeigt schematisch das angewendete Verfahren: In dem Thermoplastschlauch *1* ist das Testobjekt, in diesem Falle eine baumwollisolierte Doppel-

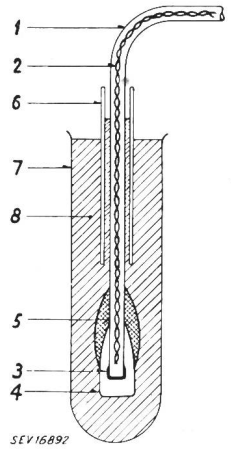

Fig. 2
Abdichtung des Thermoplastschlauches

1 Thermoplastschlauch
2 Test-Ader
3 1. Schutzbandage
4 Polyaethylenkappe als Verschluss
5 2. Schutzbandage
6 Knickschutz
7 Äusseres Glasrohr
8 Vergussmasse

ader *2* eingezogen. Die Enden sind durch eine Bandage *3* und durch dickwandige Kappen aus Polyaethylen *4* verschlossen, diese durch eine paraffinierte Bandage *5* dick bewickelt und das Ganze mit einem Schutzrohr *6* in einem grossen Reagenzglas *7* mit Paraffin *8* vergossen. Da die Diffusionskonstante von Paraffin sehr hoch liegt und ausserdem diese Schutzschicht sehr dick ist, kann ein Eindringen von Feuchtigkeit über die Enden praktisch als ausgeschlossen gelten. Zur Sicherheit wurden jeweils 3 Proben eingesetzt und die relativ geringe Streuung der Messergebnisse zeigt, dass die getroffenen Vorsichtsmassnahmen völlig ausreichend sind. Eine mögliche Fehlerquelle besteht noch darin, dass der Thermoplastmantel sich im statischen Streufeld der Doppelader befindet und dessen tgδ-Änderungen infolge Feuchtigkeitsaufnahme das Messresultat fälschen. Dass dieser Einfluss aber innerhalb der Fehlergrenze liegt, zeigt die Überlegung, dass z. B. die tgδ-Werte der hier untersuchten PVC-Mischungen nach 4tägiger Lagerung im Feuchtraum Änderungen zeigten, die etwa um eine Zehnerpotenz niedriger lagen als die gemessene tgδ-Erhöhung der Baumwollader. Durch Kontrollmessungen an der Baumwollader mit und ohne Thermoplastmantel wurde zudem festgestellt, dass der umgebende Mantel die tgδ-Werte der Testader um maximal 8 % des Messwertes verändert.

Es kann ferner noch eingewendet werden, warum nicht einfacher die Änderung des Isolationswiderstandes beider Baumwolladern direkt zur Bestimmung der Wasseraufnahme herangezogen wurden. Hierzu ist zu bemerken, dass baumwollisolierte Adern in Thermoplastmänteln teilweise Kriechstromeffekte zeigen, die das Resultat erheblich fälschen können. Zur Vermeidung dieser Fehlerquelle wurde der tgδ-Messung der Vorzug gegeben.

4. Messergebnisse

Nach dem Verlauf der tgδ-Werte der baumwollisolierten Doppelader nach Fig. 1 muss die Änderung der tgδ-Werte der Testader in Abhängigkeit von der Dauer der Feuchtraumlagerung des umgebenden Thermoplastschlauches ebenfalls nach einer e-Funktion verlaufen. Die mit verschiedenen

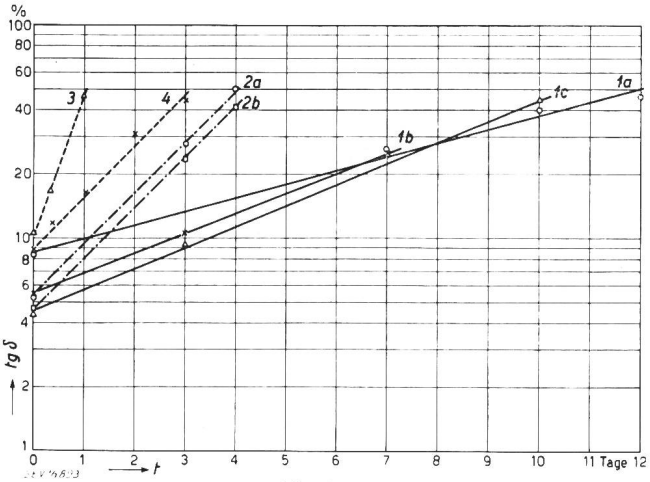

Fig. 3
Bestimmung der Feuchtigkeitsdurchlässigkeit von Thermoplast-Schläuchen

tgδ	Verlustwinkel
t	Aufenthaltsdauer des Kabels im Prüfraum mit 95 % rel. Feuchtigkeit
1a, b, c	Fabrikationsmischung PVC mit 32 % Weichmacher (Ester)
2a, b	mit 37 % Weichmacher (Ester)
3	mit 40 % Weichmacher (Ester + Nitril)
4	mit zusätzlicher Al-Folie 0,05 mm gebändert

Materialien vorgenommenen Messungen bestätigen dies auch (Fig. 3 und 4). Dieser Kurvenverlauf bringt einen gewissen Vorteil bei einer etwaigen Schnellbestimmung von *D*, namentlich bei Stoffen sehr niedriger Diffusionskonstante. Man braucht die Beobachtung nicht auf einen so langen Zeitraum auszudehnen, wie es hier geschehen ist, sondern kann sich auf weniger Punkte beschränken und die Werte für einen längeren Zeitraum extrapolieren.

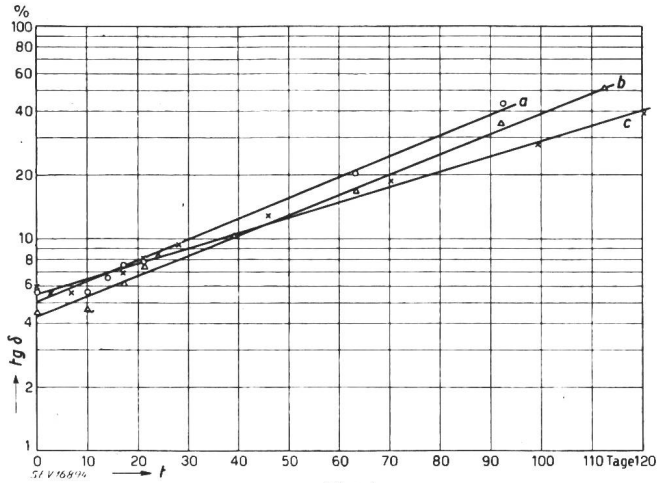

Fig. 4
Fabrikationsmischung Polyaethylen
(mit Isobutylzusatz)
Probe *a*, *b*, *c* (siehe Legende zu Fig. 3)

Man erkennt auch, ein wie unverhältnismässig längerer Zeitraum nötig ist, um bei der Polyaethylenmischung den tgδ-Wert auf die gleiche Höhe zu treiben wie etwa bei PVC-Mischungen. Legt man für die Auswertung der Messungen beispielsweise einen Wert für tgδ von 40 % zu Grunde, so lassen sich den Kurven der Fig. 1, 3 und 4 die erforderlichen Daten für die Ermittlung der Diffusionskonstanten *D* nach dem Fickschen Gesetz entnehmen. Die Resultate für die hier untersuchten Stoffe sind in Tab. IV zusammengestellt.

Messwerte der Diffusionskonstanten D

Tabelle IV

Material	Diffusionskonstante *D*
Polyaethylen (mit Isobutylenanteilen)	$1{,}2 \cdot 10^{-9}$
Polyvinylchlorid mit 32% Weichmacher (Ester)	$1{,}5 \cdot 10^{-8}$
Polyvinylchlorid mit 37% Weichmacher (Ester)	$3{,}8 \cdot 10^{-8}$
Polyvinylchlorid mit 40% Weichmacher (Ester + Nitril)	$1{,}5 \cdot 10^{-7}$
Polyvinylchlorid mit 40% Weichmacher (Ester + Nitril) mit Metallfolie gebändert	$5{,}8 \cdot 10^{-8}$

Wie man sieht, fügen sich die gemessenen Werte für PVC gut in die in Tab. III nach Messungen anderer Autoren angegebenen Werte ein. Bemerkenswert erscheint der niedrige Wert für *D* bei Polyaethylen, der über eine Zehnerpotenz tiefer liegt als bei der besten PVC-Mischung. Trotzdem würde dieser Wert für ein papierisoliertes Fernkabel noch nicht ausreichen, denn rechnet man für einen Überschlag mit einer mittleren Bodentemperatur von ca. 9 °C und sicherheitshalber mit einer relativen Feuchtigkeit von 100 % (Kabelverlegung in Grundwasser), so ergäbe sich aus Tab. I und Tab. IV für ein papierisoliertes Kabel mit Polyaethylen-Isobutyl-Mantel eine Lebensdauer von rund 2 Jahren. Man müsste für eine Lebensdauer von 20 Jahren nach Tab. I *D*-Werte von $0{,}2...0{,}4 \cdot 10^{-9}$ erreichen. Es verdienen jedoch noch drei Punkte Beachtung:

1. Wie die Kurven *3* und *4* in Fig. 3 zeigen, bringt eine zusätzliche Bänderung durch eine dünne Metallfolie (Al) eine erhebliche Erhöhung der Diffusionskonstanten, und mit einer noch weiteren Erhöhung ist zu rechnen, wenn man die Metallfolie nicht wie meistens üblich als spiralförmiges Band mit Überlappung, sondern als Längsdeckung anbringt und die Längsnaht durch eine Klebefolie aus Thermoplast verschliesst. Eine solche Metallfolie ist, falls man auf die übliche Eisenarmierung verzichtet, sowieso als Schutz vor dem Angriff tierischer Schädlinge erforderlich. Folgt darüber noch eine extrem dünne Schicht aus einer mechanisch sehr widerstandsfähigen Thermoplastmischung, so lässt sich die Diffusionskonstante mit Sicherheit noch erheblich vergrössern. Ausserdem ist es möglich, dass andere Polyaethylenmischungen als die hier untersuchte eine noch niedrigere Diffusionskonstante ähnlich der Polyisobutylen-Spezialmischung [6] aufweisen. Dies wäre gegebenenfalls noch abzuklären.

2. Es müsste noch näher untersucht werden, ob man nicht bei einer Messung der Feuchtigkeitsabhängigkeit der andern Betriebsdaten des papierisolierten Kabels, wie z. B. Betriebskapazität, Ableitung, kapazitive Kopplungen usw. zu einem günstigeren Resultat hinsichtlich der Lebensdauer kommen würde.

3. Es besteht kein zwingender Grund, für ein derartiges «Thermoplastkabel» die Isolationsart mit hygroskopischem Papier usw. beizubehalten. Es stehen heute mit dem Polyaethylen, bzw. gerecktem Polystyrol (Styroflex) Stoffe zur Verfügung, die als Isolierstoffe für mit Trägerfrequenz betriebene Kabel [8, 9] infolge ihrer niedrigen dielektrischen Verluste sehr geeignet sind. Man geht wohl nicht fehl, wenn man die Lebensdauer derartiger Kabel mit mindestens 30...40 Jahren veranschlagt, da, ungünstig gerechnet, die Wasseraufnahme um mehrere Zehnerpotenzen geringer ist als bei Papier. Eine derartige Kabelanlage erscheint auch in wirtschaftlicher Hinsicht interessant, doch würde eine nähere Diskussion hierüber in diesem Rahmen zu weit führen. Es sollte hier nur gezeigt werden, wie man mit einer relativ einfachen und in der Kabeltechnik sehr bekannten Messmethode auch die Diffusionskonstante von Kabelmänteln aus Thermoplasten direkt bestimmen kann [2]).

[2]) Die erwähnten Untersuchungen wurden im Laboratorium der A.-G. R. & E. Huber, Schweizerische Kabel-, Draht- und Gummiwerke, Pfäffikon (ZH), durchgeführt.

Literatur

[1] *Schulze, W. M. H.:* Das Problem der Feuchtigkeitsdurchlässigkeit von Kabelmänteln aus organischen Kunststoffen. Kunststoff-Techn. u. -Anwend. Bd. 1940, Nr. 10, S. 243.

[2] *Jenckel, E.* u. *F. Waltmann:* Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kunststoff-Folien. Kunststoffe Bd. 28(1938), Nr. 9, S. 235.

[3] *Taylor, R. L., D. B. Hermann* u. *A. R. Kemp:* Diffusion von Wasser durch Isoliermaterial. Industr. Engng. Chem. Bd. 28(1936), Nr. 11, S. 1255.

[4] *Badum, E.* u. *K. Leilich:* Über die Wasserdurchlässigkeit von Kunststoffen. Felten & Guilleaume Rdsch. 1938, Nr. 22, S. 13.

[5] *Herrmann, D. B.:* Feuchtigkeitsdiffusion durch organische Isolierstoffe. Bell Lab. Rec. Bd. 3(1934), Nr. 2, S. 45.

[6] *Schupp, P. O.:* Über die Wasserdurchlässigkeit von Kunststoffmänteln für Fernmeldekabel. Europ. Fernsprechdienst 1940, Nr. 55, S. 110.

[7] *Caflisch, Ch.:* Bedeutung einiger Neustoffe für die Starkstrom- und Hochspannungstechnik. Bull. SEV Bd. 39(1948), Nr. 9, S. 299.

[8] *Wuckel, G.:* Hochfrequente Ausnutzung von Fernsprechkabelleitungen. Europ. Fernsprechdienst 1936, Nr. 44, S. 157.

[9] *Müller, E.:* Über einige praktische wichtige Eigenschaften von konz. Leitungen für Breitbandübertragungen. Fernmeldetechn. Bd. 1938, Nr. 2, S. 17.

Adresse des Autors:

Dr. *Erich Müller*, Steinacker 491, Pfäffikon (ZH).

Neue Schnellheizplatte mit stufenloser Feinregulierung

Von *A. Böniger*, Aarau

621.364 : 643.3

Es wird die Wirkungsweise einer neuen Hochleistungsplatte mit Temperaturschalter ausserhalb der Kochplatte, welcher zugleich für die stufenlose Wärmeregulierung verwendet wird, beschrieben.

Cet article décrit le fonctionnement d'une nouvelle plaque chauffante à grande puissance avec interrupteur thermique séparé de la plaque permettant en même temps le réglage continu du chauffage.

Bei den Kochplatten wurde immer ein möglichst schnelles Anheizen des Kochgutes sowohl bei kalter, als auch bei heisser Platte angestrebt. Die Schwierigkeit liegt jedoch darin, dass man dabei zu einer Kompromisslösung gezwungen ist, was folgende prinzipielle Energiegleichung zeigt:

$$P\,t = G_p\,c_p\,(\vartheta + \Delta\vartheta) + G_k c_k\,\vartheta$$

wo P die zugeführte elektrische Leistung, t die Zeit der zugeführten Leistung, G_p das Kochplattengewicht, G_k das Kochgutgewicht, c_p die spezifische Wärme der Kochplatte, c_k die spezifische Wärme des Kochgutes, ϑ die Temperatur des Kochgutes, $\Delta\vartheta$ die Übertemperatur der Kochplatte bedeuten.

Daraus ergibt sich die Anheizzeit zu

$$t = \frac{G_p\,c_p\,(\vartheta + \Delta\vartheta) + G_k c_k\,\vartheta}{P}$$

Da c_p durch das Material der Kochplatte bestimmt wird, also sehr wenig geändert, und $\Delta\vartheta$ infolge der Abhängigkeit vom Zustand des Kochtopfes nur wenig reduziert werden kann, ist eine wirksame Verbesserung der Anheizzeit t nur durch Verkleinerung des Kochplattengewichtes G_p oder Erhöhung der Leistung P möglich.

Die Reduktion des Kochplattengewichtes führte zu den Schnellheizplatten. In der leichten Bauart besteht jedoch die Gefahr, dass bei Leergang Unebenheiten an der Plattenfläche auftreten, wodurch nach längerem Gebrauch der Temperaturübergang zwischen Kochplatte und Kochgut verschlechtert und dadurch die Anheizzeit vergrössert wird. Aus der Gleichung sowie aus Fig. 1 ist ersichtlich, dass sich mit zunehmender Kochgutmenge der Vorteil der Zeitverkürzung weniger stark auswirkt. Die kleinere Speicherenergie der Schnellkochplatte hat zur Folge, dass die Aufheizzeit auf warmer Kochplatte, hauptsächlich bei kleiner Kochgutmenge, ungünstiger ausfällt als bei der schwereren Normalplatte, da die relativ kurze Ankochzeit nicht genügt, um den stationären Wärmezustand der Kochplatte wieder zu erreichen, wie dies die Kurven zeigen.

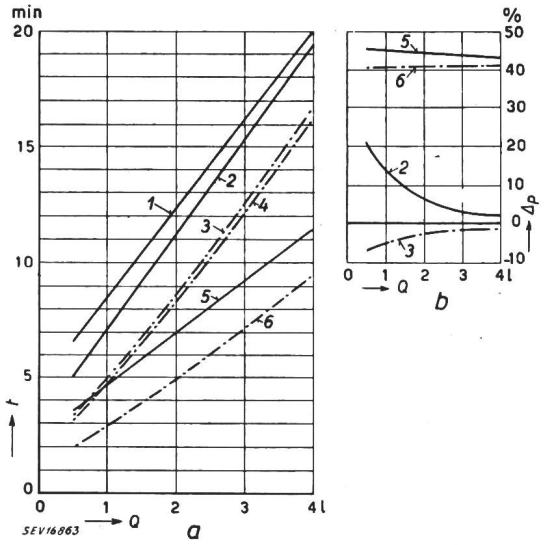

Fig. 1

Kochzeiten verschiedener Kochplatten von 180 mm Durchmesser

1	Normalplatte	1500 W	Ankochzeit vom kalten Zustand der Platte
2	Schnellheizplatte	1500 W	
3	Schnellheizplatte	1500 W	Ankochzeit vom warmen Zustand der Platte
4	Normalplatte	1500 W	
5	Reglaplatte	2500 W;	Ankochzeit vom kalten Zustand
6	Reglaplatte	2500 W;	Ankochzeit vom warmen Zustand

Δ_p Prozentuale Verbesserung der Normalplatte
Q Wassermenge
t Kochzeit

Die Erhöhung der Kochplattenleistung verkürzt die Ankochzeit am wirksamsten, wie ein Vergleich der Platten von 1500 und 2500 W zeigt. Sie kann jedoch infolge der sich ergebenden hohen Temperaturen bei voller Leistung ohne Kochgut, welche die Lebensdauer der Platten stark herabsetzen, bei der