Einfluss verschiedener Stabilisationssysteme in PVC-Mischungen auf die Bewitterungsbeständigkeit und die dielektrischen Eigenschaften

Autor(en): **Furter, R. / Held, F. / Müller, E.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins : gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **64 (1973)**

Heft 21

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-915613

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Einfluss verschiedener Stabilisationssysteme in PVC-Mischungen auf die Bewitterungsbeständigkeit und die dielektrischen Eigenschaften

Von *R. Furter, F. Held* und *E. Müller*

621.315.616.9 : 621.3.011.5 : 678.041.2

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Trotz der Vielzahl von Kunststoffen, die in den letzten zwei Jahrzehnten der Elektrotechnik und damit auch der Kabel- und Leitungstechnik zur Verfügung stehen, zu denen in den letzten Jahren auch noch die vernetzbaren Varianten hinzugekommen sind, haben weichgemachte Compounde des PVC besonders im Bereich der Starkstromkabel wegen der bekannten Vorteile nach wie vor ihren Platz behaupten können. Neben den Vorteilen dürfen aber gewisse Nachteile, besonders bei den elektrischen Eigenschaften, nicht verschwiegen werden: Es sind dies die beispielsweise gegenüber dem Polyäthylen relativ hohe Dielektrizitätskonstante (DK), vor allem aber die um etwa zwei Zehnerpotenzen höheren dielektrischen Verluste und die um mehrere Zehnerpotenzen höhere Gleichstromleitfähigkeit, wobei noch eine merkliche Temperaturabhängigkeit dieser Eigenschaften hinzukommt. Trotzdem wurden in den letzten Jahren zunehmend auch PVC-isolierte Kabel für Betriebsspannungen von 6, 10 oder 20 kV eingesetzt [1; 2][1]) und ausserdem ergaben sich aus der Notwendigkeit, vorhandene Kabelstränge entweder bis auf das äusserste auszunutzen oder teilweise noch zu erweitern, ständig steigende Betriebs- und Umgebungstemperaturen.

Da nun bekanntlich die dielektrische Verlustleistung mit dem Quadrat der Spannung wächst, kann diese bei steigender Temperatur neben den Jouleschen Verlusten im Leiter nicht mehr vernachlässigt werden, wie weiter unten noch näher gezeigt werden soll.

Der Einfluss von Weichmachern, Füllstoffen und teilweise auch von Stabilisatoren auf die Frequenz- und Temperaturabhängigkeit der dielektrischen Eigenschaften von PVC ist zwar schon verschiedentlich behandelt worden [3; 4; 5; 6]; es schien jedoch interessant, über einige der wichtigsten Stabilisatoren, insbesondere aber über einige Stabilisatorkombinationen, noch weitere systematische Untersuchungen durchzuführen. Dabei sollte der Einfluss von Zusatzstabilisatoren auf die Licht- und Witterungsbeständigkeit, dann aber auch auf die dielektrischen Eigenschaften vor und nach einer Langzeitalterung unter dem Einfluss von Luftfeuchtigkeit und in Abhängigkeit von der Temperatur untersucht werden.

[1]) Siehe Literatur am Ende des Aufsatzes.

2. Untersuchte Systeme von Stabilisatoren

Für die Stabilisation elektrischer Isoliermassen werden seit Jahren fast ausschliesslich basische Bleisulfate, basische Bleiphthalate oder basische Bleicarbonate verwendet. Der Einsatz erfolgt auf Grund ihrer hervorragenden Wirkung als Wärmestabilisatoren und der Tatsache, dass sie keine leitenden Zersetzungsprodukte verursachen, die sich auf die dielektrischen Eigenschaften negativ auswirken würden.

Es ist bekannt, dass diese basischen Bleiverbindungen keinen wirksamen Schutz gegen Licht und Wettereinflüsse bieten. Obwohl PVC-isolierte Drähte und Leitungen in der Mehrzahl vor Licht- und Witterungseinflüssen geschützt sind, spielen Licht- und Wetterbeständigkeit in vielen Fällen eine wichtige Rolle und es ist ausserdem dem Kabelhersteller selten bekannt, in welcher Art die gelieferten Kabel verlegt werden. Als Bei-

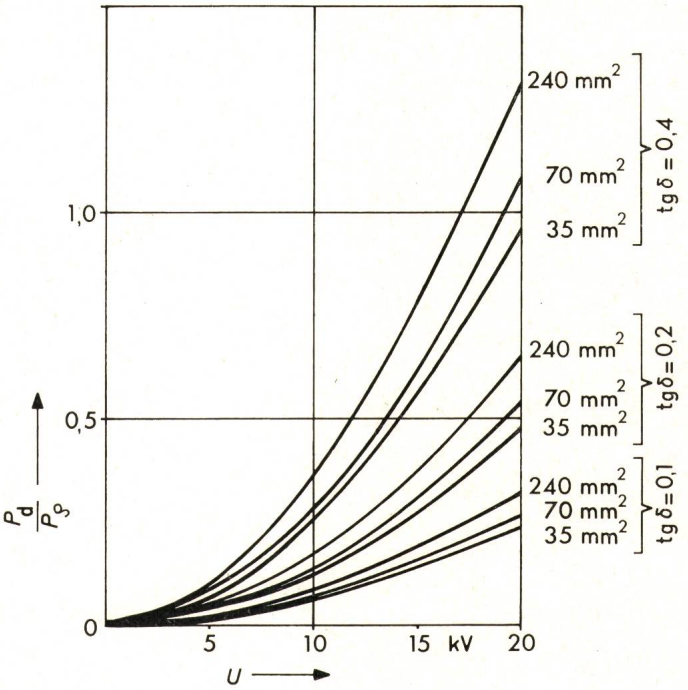

Fig. 1
Verhältnis der dielektrischen (P_d) zur Jouleschen P_ϱ Verlustleistung in einem Drehstromkabel in Abhängigkeit von der Betriebsspannung U
(tg δ bei 50 Hz und Leiterquerschnitt als Parameter)

spiele für besonders wetterbeanspruchte Leitungen seien die Dachständerleiter oder andere Hauseinführungen erwähnt.

Um auf die sehr bewährten Bleisalze nicht verzichten zu müssen und anderseits die Licht- und Wetterbeständigkeit zu erhöhen, sind Kombinationen aus einer thermischen Grund- und einer Zusatzstabilisation zunächst in ihrem Verhalten gegen Bewitterungseinflüsse untersucht worden. Die ausgewählten Systeme sind in Tabelle I zusammengestellt.

3. Dielektrische Verluste und Verlustleistung

Die durch die dielektrischen Verluste verursachte Verlustleistung ist bekanntlich gegeben durch die Beziehung:

$$P_d = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta \quad [\mathrm{VA}]$$

worin U die Betriebsspannung in V
ω die Kreisfrequenz in 1/s
C die Betriebskapazität in F
$\operatorname{tg} \delta$ den Tangens des dielektrischen Verlustwinkels
bedeuten.

Unter Berücksichtigung der gegenüber imprägnierten Papierkabeln wesentlich höheren DK des PVC ergibt sich für Drei- und Vierleiter-Kabel überschläglich bei einer Kabeltemperatur von 80 °C in Abhängigkeit von der Betriebsspannung das in Fig. 1 dargestellte Verhältnis der dielektrischen Verlustleistung P_d zu der Jouleschen Verlustleistung P_ϱ. Der erhöhte Leiterwiderstand sowie die bei höheren Betriebsspannungen verminderte Stromstärke wurden hierbei entsprechend berücksichtigt, ebenso die Wanddicken der Leiterisolation und der Skin-Effekt bei Querschnitten oberhalb 185 mm². Man erkennt, dass beispielsweise für einen tg δ-Wert $> 0{,}1$ bereits bei 10 kV Betriebsspannung die dielektrische Verlustleistung mehr als 10% und bei 20 kV bereits etwa 30% der Ohmschen Verlustleistung beträgt, somit also nicht vernachlässigbar ist. Dazu kommt noch ein weiterer Gesichtspunkt:

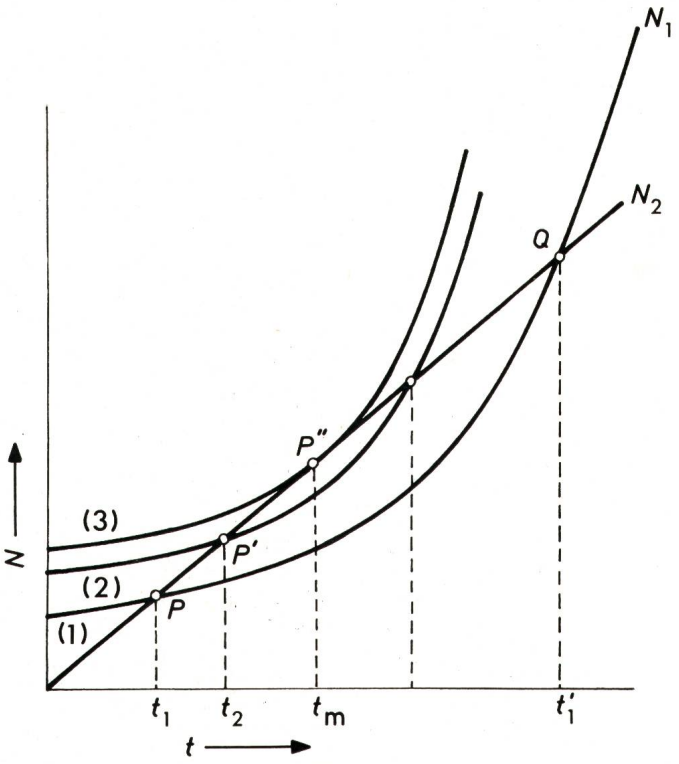

Fig. 2
Zur Erklärung des elektrischen Wärmedurchschlags nach K. W. Wagner
Bezeichnungen siehe im Text

Übersicht über die untersuchten PVC-Stabilisatoren und -Stabilisatorkombinationen

Tabelle I

Basis:					
Suspensions PVC-Harz (K-Wert 70)	100	100	100	100	100
Didecylphthalat	50	50	50	50	50
Titandioxid Rutil	1	1	1	1	1
Varianten:					
Laufende Nr.	/1	/2	/3	/4	/5
Dibasisches Bleicarbonat	8	8	8	8	8
Dibasisches Bleiphosphit	–	1	–	–	–
Bleiamylphosphat	–	–	1	–	–
Barium/Cadmium-Laurat	–	–	–	1	–
Dibutylzinnmaleat	–	–	–	–	1
Laufende Nr.	/6	/7	/8	9/	/10
Tribasisches Bleisulfat	8	8	8	8	8
Dibasisches Bleiphosphit	–	1	–	–	–
Bleiamylphosphat	–	–	1	–	–
Barium/Cadmium-Laurat	–	–	–	1	–
Dibutylzinnmaleat	–	–	–	–	1
Laufende Nr.	/11	/12	/13	/14	/15
Dibasisches Bleiphthalat	8	8	8	8	8
Dibasisches Bleiphosphit	–	1	–	–	–
Bleiamylphosphat	–	–	1	–	–
Barium/Cadmium-Laurat	–	–	–	1	–
Dibutylzinnmaleat	–	–	–	–	1

Bekanntlich führt ein starker Anstieg des tg δ mit der Temperatur zu einer Labilität zwischen zu- und abgeführter Wärme im Dielektrikum, so dass durch «Aufschaukelung» eine Instabilitätsgrenze erreicht wird. Dies führt zu den bekannten Wärmedurchschlägen, für deren Zustandekommen im festen Dielektrikum verschiedene Theorien vorliegen. Die Interpretation von *K. W. Wagner* [6] ist graphisch in Fig. 2 dargestellt:

Hier stellt die Linie N_2 die abgeführte Wärmeleistung eines angenommenen Wärmekanals im Dielektrikum und die Kurvenscharen N_1 die durch dielektrische Verluste erzeugte Wärmeleistung dar. Im Schnittpunkt P und P' herrscht bei den Temperaturen t_1 und t_2 noch Gleichgewicht zwischen der erzeugten und abgeführten Wärmeleistung. Wird jedoch die zugeführte Wärmeleistung weiter erhöht, so verschiebt sich die N_1-Kurve immer weiter, bis sie bei einer kritischen Temperatur t_m im Punkt P'' die N_2-Linie nur noch berührt. Dies ist der Beginn des labilen Zustandes, denn darüber hinaus wird die zugeführte Wärmeleistung grösser als die abgeleitete und führt zum «Wärmedurchschlag».

Die Erreichung dieses labilen Punktes ist auf Grund der in den letzten Jahren verbesserten Kabelmischungen kaum noch wahrscheinlich und ein Versagen von PVC-isolierten Starkstromkabeln ist eher durch thermische Überlastung vom Leiter her (Kurzschlußströme) bedingt.

Die nachstehenden Untersuchungen haben den Zweck, die Auswirkungen verschiedener Stabilisationssysteme auf die Witterungsbeständigkeit und die dielektrischen Eigenschaften, vor allem auf den Verlustwinkel und die Gleichstrom-Leitfähigkeit, zu untersuchen im Hinblick auf die Verwendung von PVC-Kabeln bei wetterbeanspruchten Leitungen.

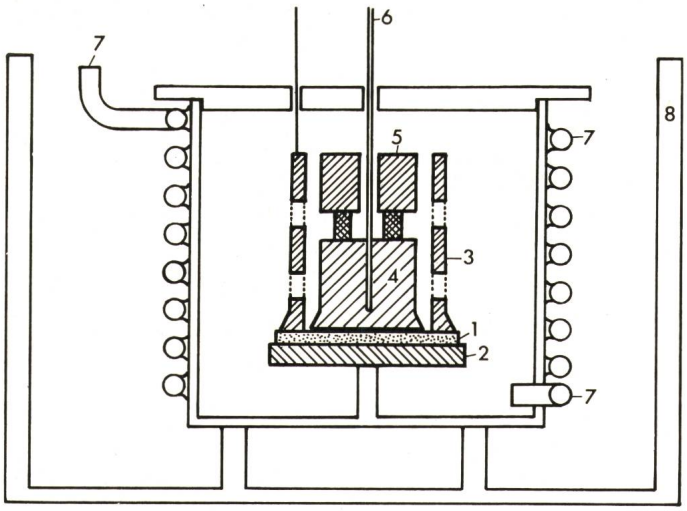

Fig. 3
Messeinrichtung für temperaturabhängige Messungen im Schnitt

1	Messprobe	*5*	Auflagegewicht
2	untere Elektrode	*6*	Temperaturfühler und Messzuleitung
3	Schutzringelektrode	*7*	Warmluftzuführung
4	obere Elektrode	*8*	Thermostatgefäss

4. Die Versuchsanordnung

Für die Messungen des Verlustwinkels und des Durchgangs- (Volumen-) Widerstandes wurden Auflageelektroden mit Schutzring nach VDE 0303 verwendet [8], welche zur Gewährleistung einer gleichmässigen Temperaturverteilung in einem separaten Messzylinder angeordnet waren, der seinerseits in einem ölbeheizten Thermostaten untergebracht wurde. Um jeden Einfluss von Luftfeuchtigkeit zu eliminieren, wurde die Beheizung des Messzylinders mit auf 5% vorgetrockneter Warmluft durchgeführt und zur Erzielung einer besseren Luftzirkulation die Schutzringelektrode und das Auflagegewicht der oberen Elektrode mit Durchbrechungen versehen. Die Fig. 3 und 4 zeigen die Messanordnung im Schnittbild und die mit den Durchbrechungen versehene Schutzringelektrode. Das für einen definierten Flächendruck der Elektrode verwendete Auflagegewicht wurde zur Verringerung der Streukapazität mit Distanzstücken aus Teflon von der eigentlichen Elektrode isoliert aufgelegt.

Diese Messeinrichtung hat sich bezüglich Temperaturkonstanz, vernachlässigbarem Temperaturgefälle zwischen den Elektroden sowie hinsichtlich Zeitersparnis beim Probenwechsel bestens bewährt.

Zur Ermittlung der Streukapazität wurde die Messanordnung zunächst mit Luft als Dielektrikum mit verschiedenen Elektrodenabständen gemessen, so dass deren Einfluss in Abhängigkeit von der Probendicke bei der Auswertung der Messergebnisse entsprechend berücksichtigt werden konnte.

Die Alterung der Proben erfolgte in einem Wärmeschrank bei 108 °C mit natürlicher Luftumwälzung und die Konditionierung in Exsikkatoren unter ständiger Hygrometerkontrolle.

Die Messungen des Verlustwinkels wurden mit einer der bekannten Drei-Elektroden-Messbrücken mit einem Messbereich bis 100 kHz und selektivem Anzeigeverstärker als Nullindikator und die Messungen des Durchgangswiderstandes mit einem elektronischen Megohmmeter in Schutzringschaltung mit wahlweise 200 oder 500 V Meßspannung durchgeführt.

Für die Bestimmung der Hitzestabilität wurden die Prüfkörper in einem Wärmeofen mit natürlicher Lufterneuerung während 4 und 8 h und einer Ofentemperatur von 175 °C gelagert. Anschliessend wurde die Verfärbung der Proben beurteilt.

Die Bewitterungsprüfungen wurden unter natürlichen Bedingungen durchgeführt, indem die Versuchsproben auf dem Fabrikdach gegen Süden gerichtet und unter 45° geneigt während einer Zeit von 33 Monaten der direkten Bewitterung ausgesetzt wurden. Das Aussehen der Proben und die Veränderung der Oberfläche wurden als Kriterium der Veränderung herangezogen.

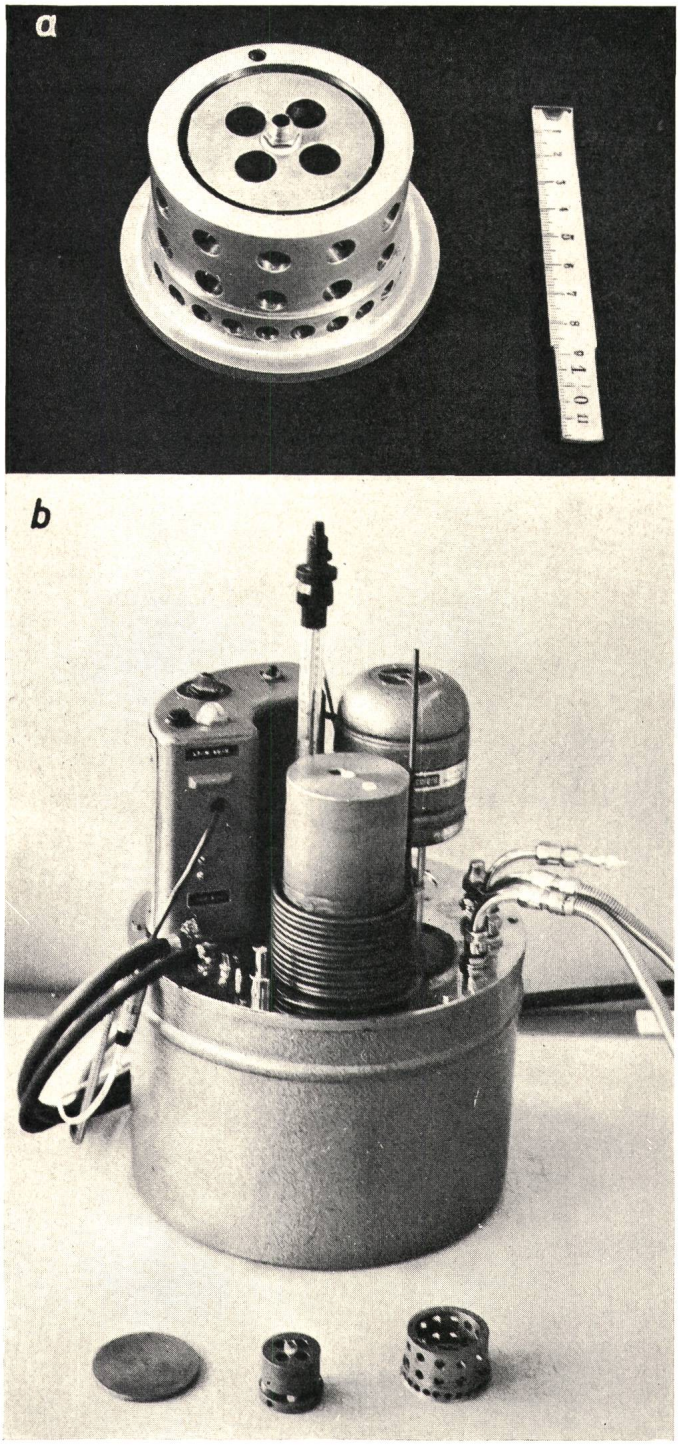

Fig. 4
Ausführung der Schutzring- und Auflage-Elektrode mit Bohrungen für die Warmluftzirkulation (*a*) und Versuchseinrichtung mit Thermostat (*b*)

5. Versuchsergebnisse

5.1 Hitzealterung und Bewitterungsverhalten

Vergleicht man das Hitzeverhalten der Grundstabilisatoren, so zeigt die PVC-Mischung mit dem dibasischen Bleicarbonat eine etwas bessere Farbstabilität als die beiden anderen Bleiverbindungen. Der Einfluss der Zweitstabilisatoren auf die Hitzealterung ist im allgemeinen gering. Eine deutliche Verschlechterung der Hitzestabilität ist jedoch beim Einsatz des Zinnstabilisators zusammen mit dem dibasischen Bleicarbonat und dem tribasischen Bleisulfat festzustellen.

Betrachtet man die Ergebnisse der Bewitterungsversuche (Fig. 5), so stellt man fest, dass die Proben mit den Grundstabilisatoren (laufende Nummern 1, 6 und 11) nach der zirka dreijährigen Bewitterung eine braune bis dunkelbraune Verfärbung aufweisen und oberflächlich ausserordentlich stark versprödet sind. Von den dem dibasischen Bleicarbonat beigefügten Zusatzstabilisatoren besitzt das Dibutylzinnmaleat eine sehr positive Wirkung, denn die Probe Nummer 5 zeigt keine visuelle Veränderung, während die übrigen Proben (laufende Nummern 2, 3 und 4) oberflächlich genauso stark zerstört sind wie die Probe mit dem Grundstabilisator allein. In der Mischung mit dem tribasischen Bleisulfat ist der Zusatz von Barium/Cadmium-Laurat ohne Wirkung (laufende Nummer 4); eine gewisse Verbesserung wird mit dem Bleiphosphitzusatz (laufende Nummer 7) erreicht. Die Proben mit den Zusätzen von Bleiamylphosphat (laufende Nummer 8) und Dibutylzinnmaleat (laufende Nummer 10) zeigen eine ausserordentlich gute Licht- und Wetterbeständigkeit.

In der Versuchsreihe mit dem dibasischen Bleiphthalat als Grundstabilisation (laufende Nummern 11...15) ist die Wirkung der Zusatzstabilisatoren ähnlich wie im Falle des tribasischen Bleisulfates. Bleiamylphosphat und Dibutylzinnmaleat beeinflussen das Bewitterungsverhalten ausserordentlich günstig (laufende Nummern 13 und 15).

5.2 Dielektrische Eigenschaften

5.2.1 Einfluss eines Alterungszyklus mit anschliessender Konditionierung

Betrachtet man vorerst die Änderungen des spezifischen Widerstandes nach einer Konditionierung bei 95% relativer Feuchtigkeit (RF) vor und nach einem 56tägigen Alterungszyklus bei 105 °C (Fig. 6), so bemerkt man zunächst, dass das tribasische Bleisulfat und das dibasische Bleiphthalat als Primärstabilisatoren gegenüber Bleicarbonat die besseren Werte zeigen (Proben Nummern 6, 7, 9, 11 bis 14). Generell wirkt sich zwar der Einfluss der Luftfeuchtigkeit in einem gewissen Absinken des spezifischen Widerstandes bzw. Ansteigen der Gleichstromleitfähigkeit aus, die Unterschiede sind jedoch zum grössten Teil relativ geringfügig. Eine Ausnahme bildet das Dibutylzinnmaleat als Zweitstabilisator: Bei ihm ist der Einfluss auf die dielektrischen Eigenschaften wesentlich grösser als bei den anderen Zusatzstabilisatoren (Proben Nr. 5, 10, 15).

Ausgeprägt treten diese Unterschiede beim Verlustwinkel, d. h. bei der Wechselstromleitfähigkeit, hervor (Fig. 7), denn während sonst bei fast allen Stabilisatorkompositionen durchwegs nur geringfügige Änderungen festzustellen sind, stechen die hohen tg δ-Werte nach Feuchtraumlagerung vor der Alterung besonders hervor.

Um nun diese Einflüsse der Luftfeuchtigkeit beim Zinnmaleat noch etwas genauer zu untersuchen, wurde zusätzlich ein gleicher Alterungszyklus mit einer Lagerung der Prüflinge bei 5% RF durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Fig. 8 darge-

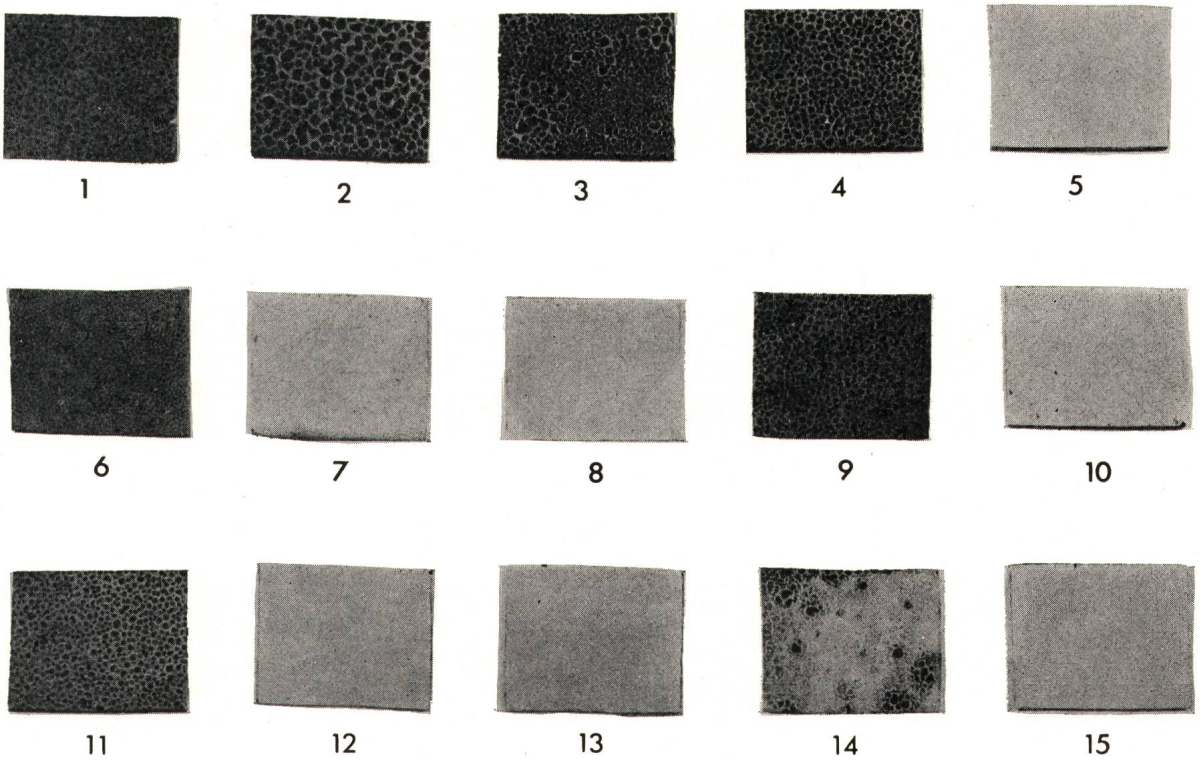

Fig. 5
Bewitterungsversuche verschiedener Stabilisationssysteme von PVC-Mischungen
(Dauer: 33 Monate)
Die Nummern siehe in Tabelle I

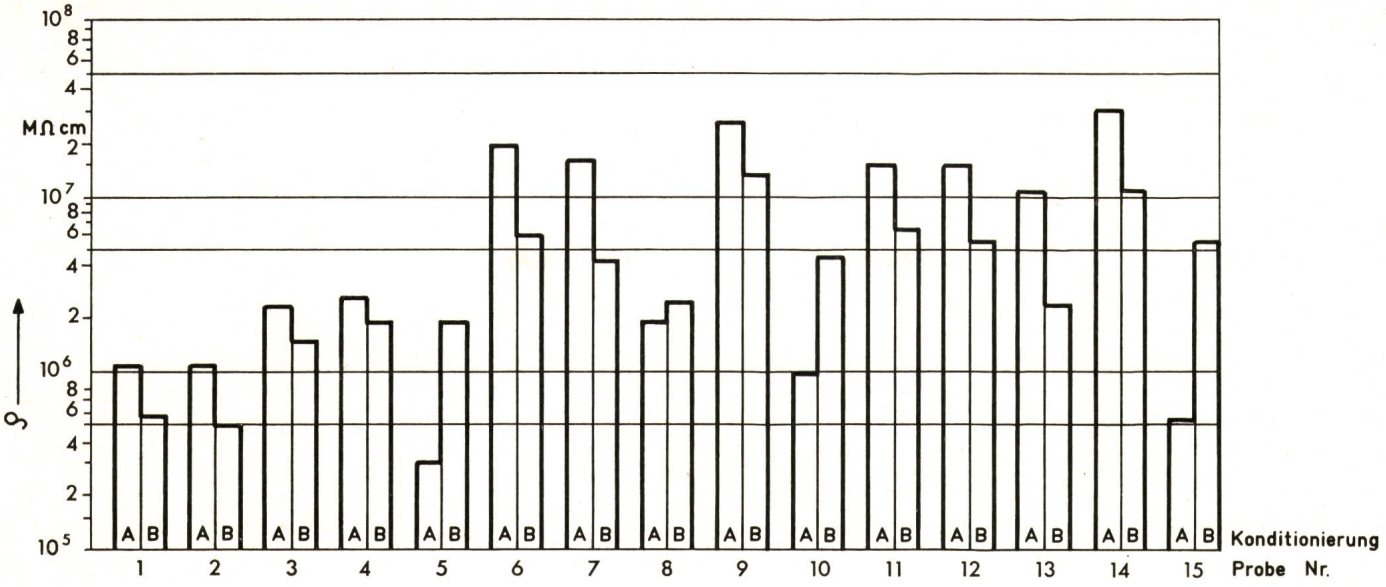

Fig. 6
Einfluss der Luftfeuchtigkeit und Alterung auf den spezifischen Durchgangs- (Volumen-) Widerstand ϱ
A nach Lagerung bei 95 % rel. Feuchtigkeit (RF) vor der Alterung
B nach Lagerung bei 95 % RF nach der Alterung (56 d bei 105 °C)

stellt. Es bestätigt sich zunächst, dass einer hohen Gleichstromleitfähigkeit (oder einem niedrigen ϱ) ein hoher tg δ-Wert entspricht, dass aber andererseits beim Verlustwinkel der Einfluss der Luftfeuchtigkeit nach der Alterung praktisch verschwindet.

Mögliche Ursache dieses Verhaltens ist eine Polymerisation des Zinnmaleates zu einem höhermolekularen Produkt, das wesentlich schwerer ionisiert als das monomere Zinnmaleat.

5.2.2 Temperaturabhängigkeit des spezifischen Widerstandes und des Verlustwinkels

Grundsätzlich bedeutet Wärmezufuhr eine Erhöhung der Beweglichkeit für die in einem Isolierstoff vorhandenen Ionen. Für die Temperatur- und Frequenzabhängigkeit der dielektrischen Eigenschaften der hier untersuchten Stabilisatorsysteme ist etwa folgendes als charakteristisch anzusehen:

Die günstigsten Werte zeigen auch hier wieder das tribasische Bleisulfat und das dibasische Bleiphthalat, während der Zusatz von Zinnmaleat als Zweitstabilisator sich sehr viel ungünstiger verhält. Als typische Beispiele sind hierfür in Fig. 9, 10 und 11 die Unterschiede zwischen dem dibasischen Bleiphthalat mit und ohne Dibutylzinnmaleat angeführt. So steht beim Zinnmaleat einem stärkeren Abfall des spezifischen Widerstandes (oder einem Ansteigen der Gleichstromleitfähigkeit) ein starkes Anwachsen des Verlustwinkels (oder der Wechselstromleitfähigkeit) bei tiefen Frequenzen gegenüber.

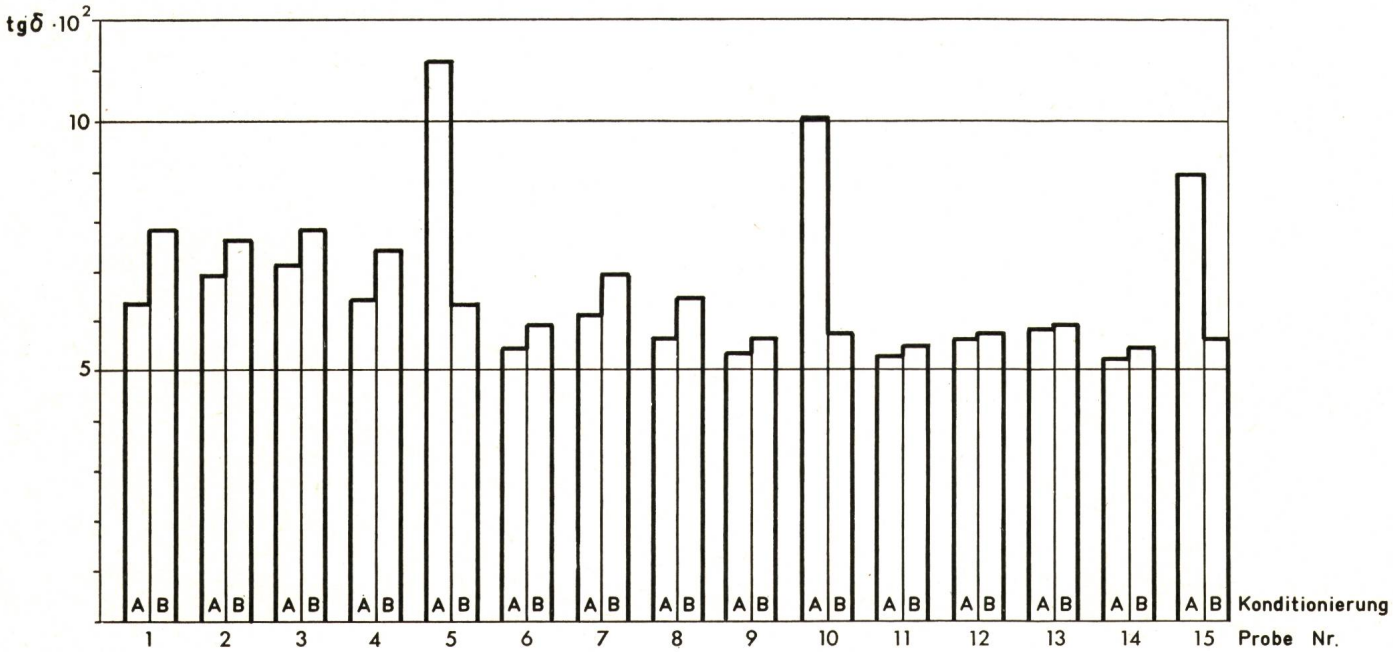

Fig. 7
Einfluss der Luftfeuchtigkeit und Alterung auf den Verlustwinkel tg δ **bei 100 Hz**
A nach Lagerung bei 95 % RF vor der Alterung
B nach Lagerung bei 95 % RF nach der Alterung (56 d bei 105 °C)

Betrachtet man vor allem in der Reliefdarstellung der Fig. 10 den Verlauf des Verlustwinkels mit fallender Frequenz und steigender Temperatur, so geht daraus eindeutig hervor, dass der Anstieg von tg δ durch Ionenleitfähigkeit bedingt ist.

Der starke Anstieg des Verlustwinkels bei 100 Hz oberhalb 60 °C beim Zinnmaleat ergibt jedenfalls als Konsequenz, dass dieses bei Starkstromkabeln aus den bereits im Abschnitt 3 dargelegten Gründen ausscheidet.

Bei einer Kabeltemperatur von 80 °C liest man beispielsweise aus den Diagrammen der Fig. 1 ab, dass bei einer Betriebsspannung von 20 kV und einem tg $\delta \geqq 0{,}4$ die dielektrische Verlustleistung die Jouleschen Verluste im Leiter bereits erreicht oder sogar übersteigt, was zum mindesten einen schlechten Wirkungsgrad der betreffenden Kabelanlage bedeuten würde. Ausserdem würde dann bei einem so steilen Ansteigen der dielektrischen Verluste wegen Erreichung des labilen Zustandes (Fig. 2) bei höheren Spannungen doch die Gefahr eines Wärmedurchschlages oder zum mindesten eines thermisch-mechanischen Zusammenbruchs des Isolationssystems bestehen.

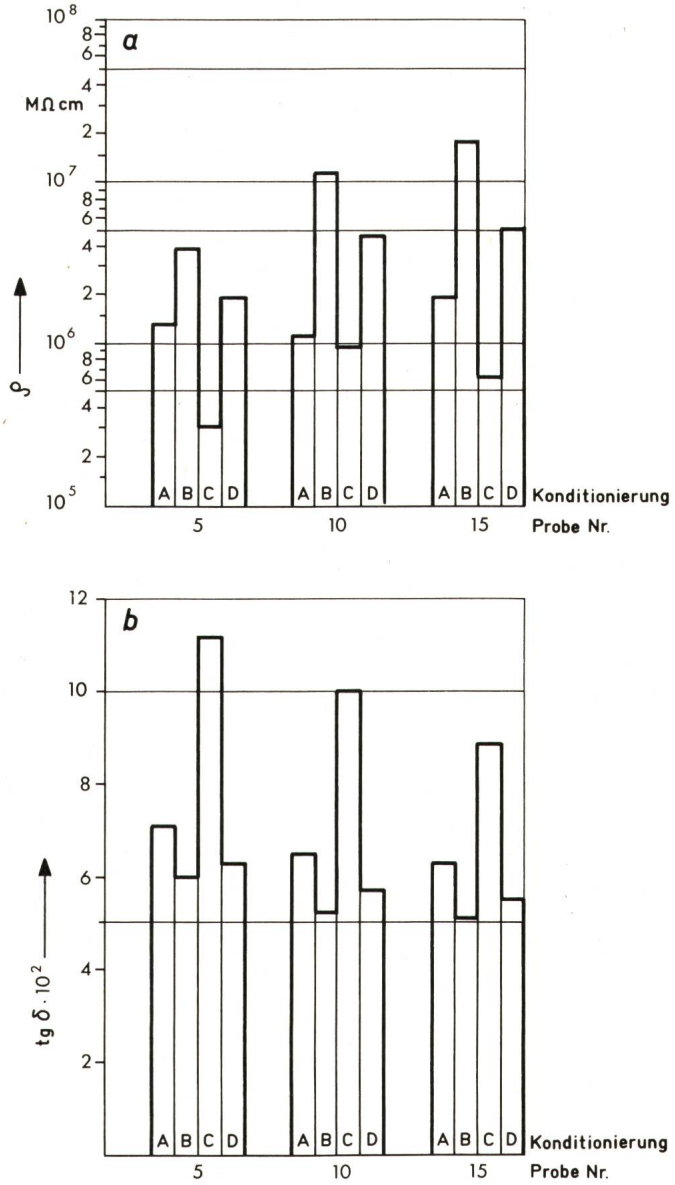

Fig. 8
Einfluss der Luftfeuchtigkeit und Alterung auf den spezifischen Widerstand von PVC-Mischungen mit Zinnmaleat als Zusatzstabilisator

a

A nach Lagerung bei 5 % RF vor der Alterung
B nach Lagerung bei 5 % RF nach der Alterung (56 d bei 105 °C)
C nach Lagerung bei 95 % RF vor der Alterung
D nach Lagerung bei 95 % RF nach der Alterung (56 d bei 105 °C)

b

A nach Lagerung bei 5 % RF vor der Alterung
B nach Lagerung bei 5 % RF nach der Alterung (56 d bei 105 °C)
C nach Lagerung bei 95 % RF vor der Alterung
D nach Lagerung bei 95 % RF nach der Alterung (56 d bei 105 °C)

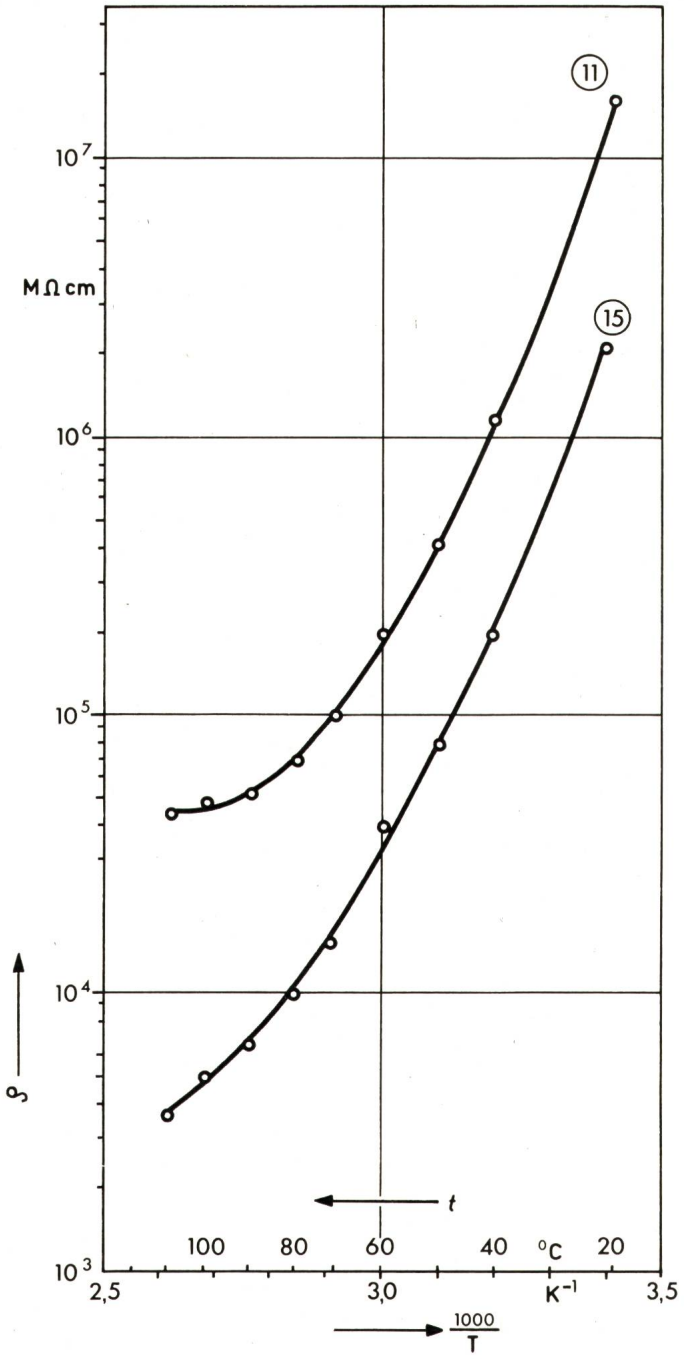

Fig. 9
Temperaturabhängigkeit T des spezifischen Widerstandes ϱ von PVC mit verschiedenen Stabilisatoren
Proben Nr. 11 und 15, vgl. Tab. I

6. Zusammenfassung

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

In PVC-Mischungen, die Weichmacher auf Phthalsäureesterbasis enthalten, ergeben die basischen Bleicarbonate, Bleisulfate oder Bleiphthalate eine sehr hohe Hitzestabilität. Um

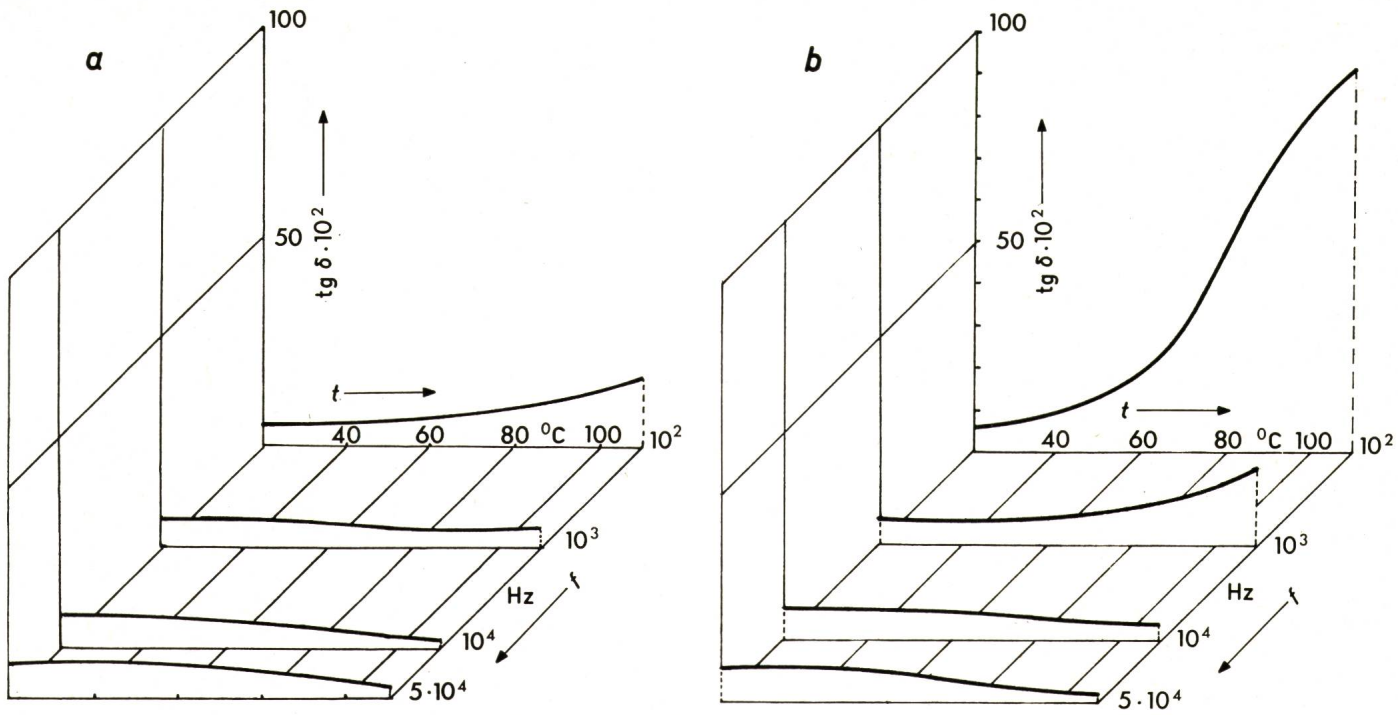

Fig. 10
Temperatur- (*t*) und Frequenzabhängigkeit (*f*) des Verlustwinkels (tg δ) von PVC mit verschiedenen Stabilisatoren
a Probe Nr. 11 (vgl. Tab. I)
b Probe Nr. 15 (vgl. Tab. I)

gleichzeitig auch eine gute Lichtstabilität zu gewährleisten, müssen jedoch zusätzlich Zweitstabilisatoren verwendet werden. Hier hat zwar Dibutyl-Zinnmaleat das Licht- und Bewitterungsverhalten besonders günstig beeinflusst, dagegen aber die dielektrischen Eigenschaften beachtlich verschlechtert.

In der Kombination mit tribasischem Bleisulfat und dibasischem Bleiphthalat ergibt Bleiamylphosphat eine hervorragende Licht- und Wetterbeständigkeit, ohne dass die dielektrischen Eigenschaften entscheidend verschlechtert werden.

Literatur

[1] *W. Birnthaler:* Kabel mit Polyvinylchlorid-Isolierung für Betriebsspannungen über 1 kV. Kunststoffe 43(1953)12, S. 517...524.

[2] *O. Gasser* et *C. Held:* Câbles h. t. isolés au plastique. I.: Câbles h. t. isolés au chlorure de polyvinyle. Rapport CIGRE Nr. 205, 1956, partie I.

[3] *G. Falk* und *H. Rager:* Weich-Polyvinylchlorid im Hochspannungsfeld. ETZ-B 17(1965)5, S. 103...108.

[4] *R. Mühlethaler:* Polyvinylchlorid für elektrische Kabel und Drähte. Bull. SEV 60(1969)15, S. 667...671.

[5] *H. J. Mair* und *L. Meier:* Die Verwendung von Polyvinylchlorid bei der Kabelherstellung. Kunststoffe 60(1970)5, S. 301...308.

[6] *K. W. Wagner:* Der elektrische Durchschlag von festen Isolatoren. Arch. Elektrotechn. 39(1948)4, S. 215...233.

[7] *W. Birnthaler:* Isolierstoffe der Starkstromkabeltechnik. Elektrizitätswirtsch. 64(1965)26. S. 736...745.

[8] Bestimmungen für elektrische Prüfung von Isolierstoffen. Teil 4: Bestimmung der dielektrischen Eigenschaften. VDE-Vorschrift 0303 Teil 4/12.69.

Adresse der Autoren:
Dr. *R. Furter*, Prof. Dr. *F. Held* und Dr. *E. Müller*, Zentrallaboratorium der Huber + Suhner AG, Postfach 8330 Pfäffikon/ZH.