

# Polyvinylchlorid für elektrische Kabel und Drähte

Autor(en): **Mühlethaler, R.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **60 (1969)**

Heft 15

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-916167>

## **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.

# Polyvinylchlorid für elektrische Kabel und Drähte

Von R. Mühlethaler, Cossonay-Gare

621.315.616.96:621.315.2  
(Übersetzung)

Ausser den konventionellen Mischungen von Polyvinylchlorid (PVC), die in der Kabelfabrikation benützt werden, gibt der Verfasser spezielle PVC-Mischungen an, welche Kurzschlüssen, Betriebstemperaturen von 105 °C oder auch tiefen Temperaturen widerstehen. Die Prüfungen nach den schweizerischen Regeln und gewissen ausländischen Normen für gegen Wärme und Kälte widerstandsfähige Kabel werden behandelt. Zum Schluss sind die Resultate von Versuchen mit verschiedenen PVC-Mischungen, welche während zwei Jahren im Freien lagen, angegeben.

A côté des mélanges classiques de polychlorure de vinyle ou PVC utilisés dans la fabrication des câbles, cet article présente des mélanges PVC spéciaux résistant aux courts-circuits ou à une température de service de 105 °C ou encore à basse température. Les essais exigés par les spécifications suisses et certaines spécifications étrangères pour les câbles résistant au chaud et au froid sont discutés. Enfin les résultats obtenus avec différents mélanges PVC après deux ans d'exposition aux intempéries sont donnés.

Trotz der im Laufe der letzten Jahre auf den Markt gelangten Polymeren, Thermoplasten und Elastomeren ist das Polyvinylchlorid oder PVC der auf der ganzen Welt im allgemeinen und für die Herstellung von elektrischen Kabeln und isolierten Drähten im besonderen, mengenmässig der am meisten verwendete Kunststoff. In der Schweiz wird es hauptsächlich für die Isolation von Installationsdrähten und der einzelnen Leiter von Niederspannungskabeln, für Schutzmäntel auf thermoplastisolierten Kabeln, sowie von papierisolierten, mit einem Metallmantel versehenen Hoch- und Niederspannungskabeln gebraucht.

In der Kabelindustrie verwendet man ein biegsames Weich-PVC, wobei dem eigentlichen PVC-Harz ein Weichmacher, ein Stabilisator, ein Füllstoff sowie ein Gleitmittel und schlussendlich noch ein Farbstoff beigemischt wird. Durch die Auswahl der Art und der Menge dieser Zusatzstoffe erhält man Mischungen mit stark voneinander abweichenden Eigenschaften. Der grosse Erfolg dieses plastischen Materials ist in der Vielfalt der Zusatzmischungen, zusammen mit den Eigenschaften des reinen PVC-Harzes, insbesondere mit dessen Flammwidrigkeit, begründet.

Die Zusammensetzung der Mischungen wird in der Kabelindustrie von der allgemein in Normen festgelegten und gewünschten Qualität, von der Verarbeitbarkeit und vom Preis bestimmt.

## Gewöhnliche Mischungen

Beispiel einer für die Isolation von Niederspannungsleitern verwendeten Mischung (Gewichtsteile):

Formel I:

100	PVC-Harz (K-Wert: 70)	
38	Weichmacher:	Diisooctylphthalat
19	Weichmacher-Extender:	Chlorparaffin
5,5	Stabilisator:	Dreibasisches Bleisulfat
25	Füllstoff:	Stearatbedeckte Kreide
2	Gleitmittel:	Kalziumstearat

Diese Mischung hat eine Shore-Härte A von 86...88, eine Zerreiissfestigkeit von 180...190 kg/cm<sup>2</sup>, eine Bruchdehnung von 270...290 % und einen spezifischen Isolationswiderstand bei 20 °C von  $3 \cdot 10^7 \dots 1 \cdot 10^8$  MΩcm. Sie entspricht folgenden Vorschriften für Betriebstemperaturen von 60...70 °C: Schweiz: SEV 184 und 1004; Deutschland: VDE 0209 (Y J<sub>1</sub>,

Y J<sub>2</sub> und Y J<sub>4</sub>); England: BS 2746 (Typ 1); USA: ASTM D 2219-63 T; Kanada: CSA C 22.2 No. 75 (T und TW).

Durch den Zusatz des Weichmachers wird die Mischung geschmeidig. Die Wirkung des Weichmachers auf das PVC-Harz ist derjenigen des Wassers auf einen zusammengepressten Zelluloseschwamm vergleichbar. Fügt man der Mischung nach der Formel I noch mehr Weichmacher zu, so wird sie noch weicher und geschmeidiger. Dagegen wird der spezifische Widerstand und damit das Isolationsvermögen vermindert. Eine solche Mischung eignet sich für die Herstellung des Schutzmantels von Td-Kabeln.

Eine Mischung mit weniger Weichmacher wird härter, mechanisch widerstandsfester, aber auch, bei tiefen Temperaturen, spröder. Wird einer solchen Mischung noch etwas mehr Kreide beigegeben, so können damit Schutzmäntel auf Kabeln mit Metallmantel oder Armierung hergestellt werden.

Um die Zersetzung des PVC durch die hohen Temperaturen, denen es während der Verarbeitung, und in vermindertem Masse auch im Betrieb, ausgesetzt ist, in annehmbaren Grenzen zu halten, werden der Mischung Stabilisatoren beigefügt. Dieselben verhindern auch eine durch Witterungs- und Lichteinfluss verursachte Qualitätseinbusse.

Die Füllstoffe werden oft aus Preisgründen beigemischt, wobei einige davon erst noch den Isolationswiderstand zu erhöhen vermögen. Was die verwendeten Farbstoffe anbelangt, müssen sie so ausgewählt werden, dass sie nicht nur eine genügende Lichtechtheit aufweisen; sie dürfen insbesondere die dielektrischen Eigenschaften des Endproduktes nicht beeinträchtigen. Die Gleitmittel ihrerseits erleichtern den Durchfluss der Mischung durch die Verarbeitungsmaschinen.

In der Folge werden einige besondere Mischungen, die das Anwendungsgebiet des PVC in der Kabelindustrie noch erweitern, untersucht.

## Gegen Erwärmung infolge Kurzschluss beständige Mischung

Wird eine gewöhnliche PVC-Mischung bei erhöhter Temperatur einem mechanischen Druck ausgesetzt, so kriecht sie und weicht dem Druck aus. Dieser Fall kann bei PVC-isolierten Kabeln eintreten, wenn sie durch einen lange an-

Land	Vorschriften	Betriebs- temperatur	Beschleunigte Alterung			
			Dauer	Temperatur	Dehnung	Lufterneuerung im Wärmeschrank
			°C	Tage	°C	
England	BS 2746:1966, Typ 4	105	7	135	65	3-5 Wechsel/h künstlich künstlich natürlich künstlich
Kanada	CSA C22.2 No 127-1964	105	21	121	65	
USA	Underwriters'105 <sup>0</sup> Appliance wire	105	7	136	65	
	Underwriters'90 <sup>0</sup> Appliance wire	90	7	121	65	
Schweiz	Prov. Vorschrift TP 201/2B	1) <sup>1)</sup>	28	110	75	

<sup>1)</sup> Die provisorischen schweizerischen Vorschriften geben nicht die Betriebstemperatur, sondern die Umgebungstemperatur von -5... +60 °C an.

dauernden Kurzschluss erhitzt werden. Das PVC wird stark erweicht und unter dem Einfluss des Druckes, der durch die verseilten Leiter und infolge von Biegungen auf die Isolation ausgeübt wird, weicht das PVC aus, bis sich die Leiter selbst berühren.

Das Kriechen des PVC, bei gleichzeitiger Einwirkung von Druck und erhöhter Temperatur, kann wesentlich vermindert werden, indem die Mischung geändert, oder stark mit Füllstoff angereichert wird, oder auch indem man ein besonders geeignetes PVC-Harz auswählt. Je nach der Art der Polymerisation unterscheidet man verschiedene Sorten von PVC-Harz. In der Kabelindustrie wird nur das Suspensionspolymerisat verwendet, weil es nur ein Minimum von Unreinigkeiten, die für die elektrischen Eigenschaften nachteilig sind, enthält. Die Polymerisationsbedingungen können aber auch Harze hervorbringen, deren Kettenmoleküle verschieden lang sind, das heisst voneinander abweichende Molekulargewichte haben, was sich praktisch im sogenannten *K*-Wert des Harzes ausdrückt. Den *K*-Wert erhält man aus der Viskositätsmessung einer Lösung des PVC-Harzes in Cyclohexanon (VSM 77124). Je höher der *K*-Wert eines Harzes liegt, umso grösser ist sein Molekulargewicht und umso grösser seine mechanische Festigkeit. Normalerweise hat das in der Kabelindustrie verwendete Harz einen *K*-Wert von 70. Wählt man nun ein Harz mit einem *K*-Wert von 80 und mischt Kaolin als Füllstoff bei, so kann das Kriechen bedeutend vermindert werden.

An zwei gleich aufgebauten Kabeln von  $4 \times 50 \text{ mm}^2$  wurden Vergleichsmessungen ausgeführt, wovon das eine mit der PVC-Mischung nach Formel I isoliert war, während für das andere ein PVC-Harz mit einem *K*-Wert von 80 und Kaolin anstelle der Kreide als Füllstoff verwendet wurde. Je 5 m dieser beiden Kabel wurden mit Briden derart auf ein Brett befestigt, dass sich zwei Krümmungen mit einem Radius von 10mal dem Aussendurchmesser des Kabels ergaben. Beide Kabel wurden anfänglich mit einem Strom von 400 A mit einer Geschwindigkeit von ungefähr 10 °C/min auf 120 °C, dann auf 140, 160 °C, und so fort, erwärmt. Zwischen je zwei Aufheizperioden liess man die Kabel bis auf 50 °C abkühlen. Bei diesen Versuchen begnügte man sich nicht damit, die Kabel bis zum Kurzschluss zwischen den Leitern zu erwärmen, sondern es wurde auch der Isolationswiderstand zwischen den Leitern in Abhängigkeit von der Temperatur mit einem Zeitschreiber gemessen und aufgezeichnet.

Die so erhaltenen Messwerte haben gezeigt, dass sich im Kabel mit einer Isolation aus normaler PVC-Mischung nach Formel I bei 185 °C ein Kurzschluss ereignete, während das

mit der besondern PVC-Mischung isolierte Kabel auf über 230 °C erhitzt werden konnte, ohne dass sich die Kupferleiter berührten. Beim Überschreiten der Temperatur von 200 °C begann die PVC-Mischung sich zu zersetzen, was dazu führte, dass der Isolationswiderstand nach dem Abkühlen geringer war als vor der Erwärmung; immerhin blieb er noch über dem in der SEV-Vorschrift 1004 festgelegten zulässigen Tiefstwert.

Diese besondere PVC-Mischung wurde einem Versuch über die Wärmebeständigkeit nach DIN 53381/1 unterworfen. Bei 180 °C wurde nach 2½ h der Beginn der Bildung von Chlorwasserstoffsäure festgestellt, was den Anfang der Zersetzung anzeigte. Durch Änderung des Weichmachers, des Stabilisators und des Füllstoffes, gelang es, ohne Zunahme der Neigung zum Kriechen, die Zeitspanne bis zum Beginn der Zersetzung, die den Isolationswiderstand vermindert, bis auf 6½ h auszudehnen.

Durch die Auswahl der bestgeeigneten Mischung ist es also möglich, die Beständigkeit eines mit PVC isolierten Kabels gegen die Folgen eines Kurzschlusses bedeutend zu verbessern. Hierzu ist zu bemerken, dass es natürlich schwieriger ist, einen metallischen Leiter mit einer solchen Mischung zu umspritzen, da sie die Eigenschaft hat, das Fliessen bei hoher Temperatur und unter Druck zu vermeiden.

In Frankreich wird zur Zeit versucht, ein dem vernetzten Polyäthylen ähnliches vernetztes PVC-Harz herzustellen, um die Beständigkeit gegen das Kriechen bei erhöhter Temperatur unter Druck zu verbessern [1; 2] <sup>1)</sup>.

#### Eine PVC-Mischung für Betriebstemperaturen von 105 °C

Mehr und mehr werden in Normen über PVC-isolierte Drähte und Kabel PVC-Mischungen verlangt, die Betriebstemperaturen von 90 oder 105 °C, dies jedoch ohne gleichzeitige mechanische Beanspruchung, aushalten.

Die Bruchdehnung ist die Eigenschaft, welche bei beschleunigten Alterungsversuchen im Wärmeschrank am meisten verändert wird. Sie wird in Prozenten des Wertes der Bruchdehnung des ungealterten Materials angegeben [3].

Während die verschiedenen Vorschriften die gleichen Betriebstemperaturen, 90 oder 105 °C, angeben, weichen dagegen die Bedingungen der vorgeschriebenen Alterungsversuche stark voneinander ab, wie dies aus Tabelle I hervorgeht.

Die aus Tabelle I ersichtlichen Unterschiede zeigen, dass keine genauen Angaben über die Bedingungen für eine be-

<sup>1)</sup> Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Versuch	Einheit	Norm	Vorschrift	Gemessener Wert
Härte	Shore A	—	—	83...85
Zerreissfestigkeit vor der Alterung	kg/cm <sup>2</sup>	CSA	≧ 105	150...170
Bruchdehnung vor der Alterung	%	CSA	≧ 100	300...320
Bruchdehnung nach 21 Tg 121 °C in Luft <sup>1)</sup>	% der Bruchdehnung ungealtert	CSA	≧ 65	90...98 <sup>2)</sup>
Bruchdehnung nach 7 Tg 136 °C in Luft <sup>1)</sup>		UL/BS	≧ 65	90...100 <sup>2)</sup>
Bruchdehnung nach 28 Tg 110 °C in Luft <sup>1)</sup>		SEV TP	≧ 75	92...100 <sup>2)</sup>
Bruchdehnung nach 4 Tg 100 °C in Öl ASTM No 2		201/2B	≧ 75	92...100 <sup>2)</sup>
Bruchdehnung nach 4 Tg 100 °C in Öl ASTM No 2		UL	≧ 65	90...95
Isolationswiderstand bei 105 °C (AWG 16)	MΩ/1000 ft	CSA	≧ 0,01	0,5...2
Aufwickeln bei —30 °C auf einen Zylinder von 10 x Aussen-ϕ des isolierten Drahtes	—	CSA	—30 °C	gut

<sup>1)</sup> Lufterneuerung im Wärmeschrank 50mal pro Stunde.  
<sup>2)</sup> Hängt von der Farbe der Mischung ab.

schleunigte Alterung gemacht werden können, welche denjenigen der natürlichen Alterung (20...30 Jahre) einer PVC-Mischung entsprechen, die dauernd einer Temperatur von 90 oder 105 °C ausgesetzt ist.

In den meisten Vorschriften wird die Lufterneuerung im Wärmeschrank nur ungenau festgelegt, woraus sehr unterschiedliche Versuchsergebnisse hervorgehen können, denn der Grad der Lufterneuerung im Alterungsversuch spielt eine umso grössere Rolle, je höher die Temperatur liegt [4].

Die englischen Vorschriften BS 2746:1966 enthalten den bemerkenswerten Zusatz, dass PVC-Mischungen, die den gestellten Anforderungen entsprechen, dauernd einer Betriebstemperatur von 105 °C ausgesetzt sein können, vorausgesetzt, dass keine mechanische Beanspruchung auftritt. Treten solche aber auf, so wird die höchste Betriebstemperatur für die gleiche Mischung auf 85 °C herabgesetzt. Diese Präzisierung ist gerechtfertigt, weil der Verformungsversuch bei hoher Temperatur mit mechanischer Beanspruchung für diese Mischung derselbe ist, wie für die Mischungen für eine Betriebstemperatur von 70 °C; eine Mischung für gewöhnliche Isolation, zum Beispiel jene nach Formel I, besteht diesen Verformungsversuch, wie auch den entsprechenden Versuch der kanadischen Normen. Die provisorische SEV-Vorschrift ist im Gegensatz dazu in dieser Beziehung viel strenger, denn nur eine besonders entwickelte Mischung, die alle Eigenschaften für hohe Betriebstemperaturen aufweist und gegen Kurzschlüsse im vorerwähnten Sinne widerstandsfähig ist, kann ihr genügen. Es ist deshalb durchaus möglich, dass eine nach den kanadischen Normen für eine Betriebstemperatur von 105 °C zulässige Mischung nach der provisorischen SEV-Vorschrift für eine Umgebungstemperatur von 60 °C nicht genügt.

Eine PVC-Mischung, die hohen Betriebstemperaturen ausgesetzt ist, oder einem beschleunigten Alterungsversuch unterworfen wird, erleidet eine Qualitätseinbusse, weil einerseits der Weichmacher teilweise verdampft und andererseits vom PVC-Harz Chlorwasserstoffsäure abgespalten wird. Dem Verdampfen kann durch Verwendung eines gering verdunstbaren Weichmachers begegnet werden, während die Bildung von Chlorwasserstoffsäure durch das Beimischen eines auf das PVC-Harz und den Weichmacher wirkenden Stabilisators, der einen oxydationsverhindernden Zusatz enthält, aufgehalten wird.

Die allgemein verwendeten Weichmacher Dioctylphtalat DOP und Diisooctylphtalat DIOP sind für PVC-Mischungen für hohe Betriebstemperaturen ungeeignet, weil sie zu leicht verdunsten. Sie werden vorteilhafter durch polymere Weichmacher, Pentaerythritolester, Didecylphtalat DDP, Ditricecylphtalat DTDP, Trioctyltrimellitat TOTM oder das N-octyl-N-decyltrimellitat NONDTM ersetzt [5]. Die polymeren Weichmacher (meistens auf der Basis von Propylen-glycol und Adipin- oder Sebacinsäure) und die Pentaerythritol-Ester sind normalerweise für PVC-Mischungen, die auch tiefe Temperaturen ertragen sollen, nicht zu empfehlen. Der DDP-Weichmacher kann für Mischungen für Betriebstemperaturen bis 90 °C verwendet werden. Daraus ergibt sich, dass NONDTM, TOTM und DTDP für hohe Betriebstemperaturen zur Zeit die besten Weichmacher sind.

Für hochtemperaturfeste PVC-Mischungen ist das zwi-basische Bleiphtalat der wirksamste Stabilisator, und als notwendiges Antioxydant werden Phenolverbindungen mit hohem Molekulargewicht, wie Bisphenol A und Topanol (ICI) verwendet, die mitunter gleich zu Anfang dem Weichmacher beigemischt werden.

Normal kältebeständige Leiter

Tabelle III

Norm	Versuch				
	Wickelversuch		Schlagversuch		Vorherige Alterung
	Temperatur °C	Zylinderdurchmesser	Temperatur °C	Energie kgm	
SEV 1004, 1959 Typ T	— 5	3 × äuss. Draht-ϕ	—	—	10 Tage, 70 °C
Typ TF	— 5	2 × äuss. Draht-ϕ	—5	0,06	10 Tage, 70 °C
Frankreich C 32 200	—10	2 × äuss. Draht-ϕ	—	—	5 Tage, 100 °C
CEE Publikation 13,1962	—25 <sup>1)</sup>	4 × äuss. Draht-ϕ	—15	0,02	keine
BS 2746, 1966 Typ 1	—20	4 × äuss. Draht-ϕ	—	—	keine
CSA C22.2 No 75,1966	—30	2 <sup>2)</sup>	—	—	keine

<sup>1)</sup> —15 °C, wenn der Leiter während 7 Tagen bei 80 °C gealtert wurde.  
<sup>2)</sup> Hängt vom Leiterdurchmesser ab, zum Beispiel: AWG 14: 2,3 x, AWG 6: 4 x. äuss. Draht-ϕ.

Norm	Betriebs- temperatur °C	Versuch				Vorherige Alterung
		Wickelversuch		Schlagversuch		
		Temperatur °C	Zylinderdurchmesser	Temperatur °C	Energie kgm	
SEV TP 201/1A CSA C22.2 No 75.1966	—20 —40	—20 —40	2 × äuss. Draht- $\phi$ 1)	—20 —40	0,06 1,24	10 Tg./70 °C keine

1) Hängt vom Leiterdurchmesser ab, zum Beispiel: AWG 14: 2,3 x; AWG 6: 4 x. äuss. Drahtdurchmesser.

Beispiel einer PVC-Mischung, die sich für Betriebstemperaturen bis 105 °C, gemäss Tabelle I eignet:

Formel II:

- 100 PVC-Harz (K-Wert: 70)
- 67 Weichmacher: Trioctyltrimellitat
- 7,5 Stabilisator: zweibasisches Bleiphtalat
- 0,5 Antioxydant: Bisphenol A
- 17 Füllstoff: kalziniertes Kaolin
- 2 Gleitmittel: Kalziumstearat

Vergleichsweise weist eine Mischung nach Formel I nach den Alterungsversuchen, wie sie in Tabelle II angegeben sind, eine Bruchdehnung von Null auf.

**Eine PVC-Mischung für tiefe Temperaturen**

Das PVC steht im Rufe, tiefe Temperaturen nicht zu ertragen. Dies ist insofern falsch, als es durch sorgfältige Auswahl möglich ist, Mischungen zu finden, die auch in dieser Beziehung den gestellten Anforderungen genügen.

Während die Methoden zur Bestimmung der Bruchtemperaturen und der Kaltbiegsamkeit der PVC-Mischungen sehr zahlreich sind [6], gibt es für PVC-isolierte Kabel und Drähte zwei Methoden: den Wickelversuch und den Schlagversuch. Stark verschieden voneinander sind jedoch die in den verschiedenen Normen festgelegten Bedingungen für diese zwei Versuchsarten: Schlagversuch gefordert oder nicht verlangt, Schlagenergie von Norm zu Norm verschieden, Wickelversuch auf Zylinder mit unterschiedlichen Durchmesser, Versuche mit vorher gealterten oder ungealterten Prüflingen.

Beispiele von Versuchen nach verschiedenen Normen:

a) Normal kältebeständige Leiter (Tabelle III).

Ist es auf Grund der stark voneinander abweichenden Versuchsbedingungen möglich, die Tiefsttemperatur festzulegen, bis zu welcher ein Leiter verwendet werden kann, welcher z. B. mit einer Mischung nach Formel I isoliert ist, die alle in Tabelle III angegebenen Versuche aushält? Bevor versucht wird, diese Frage zu beantworten, ist vorauszuschicken, dass es in der Praxis zwei voneinander sehr verschiedene Verwendungsarten gibt:

1. Der Draht oder das Kabel wird bei einer normalen, über dem Nullpunkt liegenden Umgebungstemperatur verlegt, und wird erst nach der Verlegung bei einer Temperatur von —40 oder —50 °C (zum Beispiel in einem Tiefkühlraum) betrieben: In diesem Fall kann eine normale, nicht besonders kältebeständige PVC-Mischung, die nach den Hausinstallationsvorschriften HV 1000, 1961, nur bis —5 °C gebraucht werden dürfte, verwendet werden, vorausgesetzt dass der Leiter keine Schläge oder Stösse erhält.

2. Der Draht oder das Kabel wird bei tiefer Temperatur verlegt und bewegt, wobei die Isolation Schlägen ausgesetzt sein kann (zum Beispiel Kabel für die Armee, oder für die Stromversorgung eines Fernsehrelaisenders im Hochgebirge). Kann in diesem Fall ein Kabel, das den in Tabelle III angegebenen Vorschriften ent-

spricht, bei einer Temperatur von —5 °C oder einer solchen von —30 °C verwendet werden? Aus den angegebenen Vorschriften geht dies nicht hervor, und zwar aus dem guten Grunde, dass nur unter den im Betrieb tatsächlich vorhandenen Bedingungen vorgenommene Versuche diese Frage beantworten können.

Es ist dabei zu bemerken, dass der Schlagversuch nach der SEV-Vorschrift 1004 selbst mit der kleinen Schlagenergie strenger ist, als der Wickelversuch, sofern beide Versuche bis zur Zerstörung geführt werden. So wird ein mit einer Mischung nach Formel I isolierter Draht den Wickelversuch nach SEV-Vorschrift bis ungefähr —40 °C aushalten, während man beim Schlagversuch nur bis —20 °C kommt.

b) Besonders kältebeständige Leiter (Tabelle IV).

Drähte mit einer Mischung nach Formel I (also nicht besonders kältebeständig) isoliert, wurden Kälteversuchen unterworfen und haben diese ausgehalten; sie entsprechen also der SEV-Vorschrift TP 201/1A, was die bereits weiter oben gemachte Bemerkung, bezüglich der realen Verwendungstemperatur, bestätigt.

Aus den Anforderungen der kanadischen Normen geht übrigens hervor, dass es durchaus möglich ist, PVC-Mischungen zuzubereiten, die gleichzeitig die strengen Versuche bei —40 °C aushalten und den Versuchsbedingungen für Betriebstemperaturen von 60...70 °C entsprechen.

Werden anstelle der gewöhnlichen Weichmacher aus Dioctylphtalat DOP oder Diisooctylphtalat DIOP Ester der Adipin-, der Sebazin- oder der Azeläinsäure verwendet, so lässt sich die Beständigkeit der Mischung gegen Kälte verbessern [2]. Durch teilweises Ersetzen des DIOP durch Dioctylsebazat DOS oder durch Dioctylazelat DOZ, konnten bei den nach SEV-Vorschrift 1004 durchgeführten Wickel- und Schlagversuchen Bruchtemperaturen von unter —50 °C erreicht werden.

Was die Auswahl und den Mengenanteil der zu den gewöhnlichen Weichmachern zuzusetzenden Spezialweichmachern, wie Adipat, Sebazat oder Azelat anbetrifft, so handelt es sich um eine Kompromisslösung zwischen der gewünschten Kältebeständigkeit einerseits und der Verflüchtigung des Isolationswiderstandes, der Abwanderungsbeständigkeit und des höheren Preises andererseits.

Ausser diesen Weichmachern für kältebeständige PVC-Mischungen können noch weitere Zusätze beigemischt werden mit denen Biegsamkeit und Schlagfestigkeit bei tiefen Temperaturen erzielt werden können. Dafür kommen pulverförmiger Nitrilkautschuk und ABS-Harz in Frage. Es kann auch anstelle des PVC-Harzes ein Copolymer wie Vinylchlorid/Aethylenvinylazetat oder PVC/Polyurethan verwendet werden. Die Eigenschaften der Mischungen werden durch diese Zusätze natürlich verändert, wobei das Mass der Veränderung von Fall zu Fall bestimmt werden muss.



## Witterungsbeständigkeit der PVC-Mischungen

Obschon die Mehrzahl der PVC-isolierten Kabel und Drähte in vor Witterungseinflüssen geschützter Art verlegt werden, stellt sich trotzdem die Frage nach der Beständigkeit der PVC-Mischungen gegen Sonnenbestrahlung und gegen Regen, dies für die Schutzmäntel von Luftkabeln und für die freiliegenden Leiter bei Endverschlüssen. PVC-Mischungen sind besonders empfindlich auf Ultraviolettanteile der Sonnenstrahlen, welche die mechanischen Eigenschaften vermindern, die Farben der nicht schwarzen Mischungen zerstören und eine Vergilbung hervorrufen.

Um die Änderung der mechanischen Eigenschaften studieren zu können, wurden PVC-Platten aus zweierlei Mischungen an einem auf ein Dach ausgespanntem Draht aufgehängt. Die eine der beiden Mischungen entsprach der Formel I, während die andere keine Kreide aber dafür mehr Weichmacher enthielt, also weicher war. Von diesen zwei Mischungen wurden verschieden gefärbte Muster hergestellt und zwar schwarze, graue, weisse, grüne und blaue, wobei für die schwarzen zwei verschiedene Sorten von Russ, für die grauen je eine der beiden Russ-Sorten mit je einer der beiden Strukturen «Rutil» und «Anatas» von Titandioxyd  $TiO_2$ , für die weissen die zwei genannten Strukturen von Titandioxyd und für die Farben grün, gelb und blau organische Farbstoffe, einmal mit und einmal ohne Zusatz von Titandioxyd, verwendet wurden. Die Lichtecktheitsversuche wurden mit den gleichen Mischungen nach den in den Normen BS 2746 enthaltenen Versuchsvorschriften ausgeführt.

Nachdem 16 verschieden gefärbte Mischungen während 2 Jahren den Licht- und Witterungseinflüssen ausgesetzt waren, konnten folgende Beobachtungen gemacht werden:

### Mechanische Eigenschaften:

a) Die Härte der Mischungen blieb praktisch unverändert (max. 2 Shore A).

b) Die Zerreißfestigkeit nahm im allgemeinen ab und veränderte sich stärker als die Bruchdehnung, dies im Gegensatz zu den beschleunigten Alterungsversuchen bei erhöhter Temperatur im Wärmeschrank.

c) Obschon sich die Zerreißfestigkeit der schwarzen Muster um 10 %, jene der anders gefärbten Muster im Maximum um 27 % verminderte, blieb sie doch noch über den in den SEV-Vorschriften geforderten Mindestwerten.

d) Die Bruchdehnung der schwarzen Muster nahm zu, während sie für die anders gefärbten Muster zwischen 90 und 109 % der ursprünglichen Bruchdehnung betrug.

e) Der sehr geringe Zusatz von Titandioxyd (0,5 %) zu den Farbstoffen der grünen, gelben und blauen Muster hat deren Witterungsbeständigkeit nicht verbessert.

### Auswirkungen auf die Farben der Muster:

a) Die schwarzen Muster blieben unverändert. Bei den weissen Mustern widerstand die Struktur «Rutil» besser als die Struktur «Anatas».

b) Grosse Veränderungen wurden bei Mustern aus gleicher Mischung aber mit Farbstoffen verschiedener Qualität gefärbt beobachtet. Bei Mustern mit bestimmten Farbstoffen schwitzte der Weichmacher aus und färbte sich braun.

c) Ein Zusatz von 0,5 % Titandioxyd hat auf die Lichtecktheit der Mischungen keinen Einfluss.

Schlussfolgerungen aus den Versuchen über die Witterungsbeständigkeit:

Die Russ enthaltenden, schwarzen Mischungen sind für alle Schutzmäntel von Kabeln und Isolationen von im Freien verlegten Leitern zu empfehlen. Diese Empfehlung ist übrigens auch in den Normen BS 2746 enthalten. Für alle andern

Farben ist der Farbstoff unter Berücksichtigung seiner Eigenschaften mit Bezug auf Lichtecktheit, Dielektrizität und Preis von Fall zu Fall auszuwählen. Das Titandioxyd, welches, um die Lebhaftigkeit der Farben nicht in unerwünschtem Masse abzuschwächen, — mit Ausnahme von weiss und grau —, den übrigen Farbstoffen nur in geringer Menge (0,5...1,0 %) beigegeben werden kann, hat auf die Witterungsbeständigkeit der Mischungen keinen Einfluss.

## Schlussfolgerungen

Ausser den bereits bekannten Anwendungen des PVC in der Kabelindustrie, sei es als Isolation für Niederspannung und Niederfrequenz, für korrosionsfeste Schutzmäntel für thermoplastisolierte Kabel, wie für solche mit Papierisolation mit Metallmantel, können bei geeigneter Wahl der Zusammensetzung PVC-Mischungen mit sehr verschiedenen Eigenschaften hergestellt werden; z. B. solche, welche kurzzeitig hohen Temperaturen mit gleichzeitig auftretender mechanischer Beanspruchung aushalten, das heisst kurzschlussfest sind, wie auch andere, die hohen oder, im Gegensatz dazu, tiefen Temperaturen widerstehen, wodurch das Anwendungsgebiet dieses thermoplastischen Materials noch erweitert wird.

Während sich die mechanischen Eigenschaften der zwei Jahre lang den Witterungseinflüssen ausgesetzten PVC-Mischungen nur sehr wenig änderten, hängt die Lichtecktheit der Farben hauptsächlich von den Eigenschaften der gewählten Farbstoffe ab.

## Literatur

- [1] Le PVC réticulable. Revue générale du caoutchouc et des plastiques 44(1967)5, p. 603.
- [2] A. Oth et A. Mathieu: Une nouvelle résine réticulable à base de PVC. Revue générale du caoutchouc et des plastiques 45(1968), p. 971...976.
- [3] V. Rodman: Effects of high temperatures on P.V.C. Electrical Review 174(1964)21, p. 786...790.
- [4] Plasticisers for use at extremes of temperature. London, Imperial Chemical Industries Ltd., 1962.
- [5] I. Philips: Plasticized PVC for high temperature service. British Plastics 37(1964)6, p. 325...329.
- [6a] O. Leuchs: Schlagfestigkeit von PVC-umhüllten Kabeln und Leitungen in der Kälte. Teil 1.: Das Verhalten von Weich-PVC in der Kälte. Kunststoffe 58(1968)5, S. 375...380.
- [6b] O. Leuchs: Schlagfestigkeit von PVC-umhüllten Kabeln und Leitungen in der Kälte. Teil 2.: Kabelaufbau und Schlagfestigkeit von PVC-isolierten Kabeln. Kunststoffe 58(1968)6, S. 439...446.
- [6c] W. Grobusch und H. Jesse: Schlagfestigkeit von PVC-umhüllten Kabeln und Leitungen, Teil 3.: Kältefestigkeit von Kabeln und Leitungen. Kunststoffe 58(1968)9, S. 648...654.
- [7a] Vorschriften für Leiter mit thermoplastischer Kunststoffisolation auf Polyvinylchlorid-Basis. Publ. des SEV 0184, 1950.
- [7b] Vorschriften für Leiter mit thermoplastischer Kunststoffisolation. Publ. des SEV 1004, 1959.
- [7c] Spécifications pour les conducteurs isolés au chlorure de polyvinyle. Deuxième édition. Publ. CEE 13, juin 1962.
- [7d] Specification for PVC insulation and sheath of electrical cables. British Standard 2746 : 1966.
- [7e] Bestimmungen für Isolierhüllen und Mäntel aus thermoplastischem Kunststoff für isolierte Leitungen und Kabel. VDE-Vorschrift 0209/3.69.
- [7f] Leitsätze für die Durchführung von Prüfungen an isolierten Leitungen und Kabeln. VDE-Vorschrift 0472/6.65.
- [7g] Thermoplastic insulated wires and cables. Sixth edition. Canadian Standard C22.2 No. 75-1966.
- [7h] Equipment wires. Canadian Standard C22.2 No. 127-1964.
- [7i] Tentative specification for vinyl chloride plastic insulation for wire and cable, 60 °C operation. ASTM D-2219-63T. 1964 book of ASTM Standards Part 28. Philadelphia, American Society for Testing and Materials, 1964.

### Adresse des Autors:

Dr. R. Mühlethaler, ing.-chim. dipl. EPFL, S. A. des Câbleries et Tréfileries de Cossonay, 1303 Cossonay-Gare.