

Moderne Systeme zur Isolation von Kabelverbindungen und Kabelenden

Autor(en): **Kälin, W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **65 (1974)**

Heft 6

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-915377>

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.

Moderne Systeme zur Isolation von Kabelverbindungen und Kabelenden ¹⁾

Von W. Kälin

621.315.687

Die immer stärkere Verbreitung von kunststoffisolierten Stark- und Schwachstromkabeln liess ein Bedürfnis nach moderneren Verbindungssystemen wach werden. Heute stehen neben den konventionellen, mit Bitumenmassen gefüllten Gussarmaturen folgende Systeme zur Verfügung.

1. Wickelverfahren

Bei diesem wird die Isolation durch Aufwickeln von entsprechenden Bändern aufgebaut.

2. Schrumpfverfahren

Es werden vorgedehnte Halbfabrikate aus verschiedensten Kunststoffen unter Anwendung von Wärme auf die zu isolierende Stelle aufgeschrumpft.

3. Vorfabrizierte, steckbare Armaturen

Im Mittelspannungsbereich 10...30 kV stehen heute für PE- oder VPE-isolierte Kabel aufsteckbare Fertigarmaturen aus EPDM-Elastomer zur Verfügung, bei welchen der Feldsteuerungskonus voll integriert ist.

4. Giessharz-Kabelarmaturen

Im Spannungsbereich bis 10 kV gelten diese heute als die eigentlichen Nachfolger der Gussarmaturen. Modernste UV-stabilisierte Giessformen zusammen mit speziell modifizierten, elastischen PUR-Harzen mit sehr geringer Wärmetönung erlauben die universelle Anwendung auf ölgefüllten Papierblei- und Haftmassekabeln sowie auf PVC-, PE- oder VPE-isolierten Kabeln. Die Erfahrungen mit diesem System gehen auf 20 Jahre zurück.

1. Gründe, die zur Einführung neuer Systeme führten

Über Jahrzehnte hinweg wurden Stark- und Schwachstromkabel vorwiegend mit ölgetränktem Papier isoliert und durch einen Bleimantel sowohl gegen Feuchtigkeit wie auch gegen mechanische Einwirkungen geschützt. An den Verbindungsstellen, Abzweigungen und Kabelenden wurde die Isolation durch Eingiessen von aufschmelzbaren Bitumenmassen in gusseiserne Formen wieder hergestellt.

Die Einführung von Kabelisolationen aus PVC, PE und vernetztem PE verlangte nach Giessmassen mit niedrigeren Aushärtetemperaturen, die das Risiko einer Beeinträchtigung der Struktur dieser Kunststoffe ausschlossen.

Gleichzeitig wurde das Bedürfnis nach verarbeitungstechnisch wirtschaftlicheren und einfacheren Methoden wach, da

¹⁾ Anlässlich des Symposiums «Elektrische Isolationstechnik 1972 des SEV» eingereichte Arbeit.

L'emploi de plus en plus fréquent de câbles pour courant fort et courant faible, isolés avec des matières synthétiques, nécessite des systèmes d'isolement modernes pour leurs raccordements et leurs extrémités. Outre les armatures classiques en fonte remplies de masse bitumeuse, on dispose maintenant des systèmes suivants:

1. Procédé d'enroulage

L'isolation est constituée par un enroulage de rubans.

2. Procédé de contraction à chaud

Des produits semi-ouvrés, préalablement étirés, en matières synthétiques les plus diverses, subissent une contraction à chaud, sur l'endroit à isoler.

3. Armatures enfichables, préfabriquées

Pour des moyennes tensions de 10 à 30 kV, on dispose maintenant, pour des câbles isolés au PE ou VPE, d'armatures enfichables, préfabriquées, en élastomère EPDM, avec lesquelles le cône de distribution du champ est pleinement intégré.

4. Armatures en résine coulée

Pour des tensions jusqu'à 10 kV, ces armatures supplantent celles en fonte. Des moules coulés, stabilisés vis-à-vis de l'ultraviolet, avec des résines PUR souples, spécialement modifiées, à très faible développement de chaleur, permettent un emploi universel sur des câbles sous plomb isolés au papier ou à masse adhérente, à remplissage d'huile, ainsi que sur des câbles isolés au PVC, PE ou VPE, système éprouvé depuis plus de 20 ans déjà.

auch im Kabelbau infolge Mangel an qualifiziertem Montagepersonal Arbeitszeit eingespart werden musste. Auch vom verkehrstechnischen Standpunkt aus gesehen bringen moderne Systeme wesentliche Vorteile durch die kurzen Öffnungszeiten von Kabelgräben auf überlasteten Strassen.

Den Stromversorgungsunternehmen stehen heute die vier folgenden Systeme zur Verfügung:

- Wickelverfahren;
- Schrumpfverfahren;
- Vorfabrizierte, steckbare Armaturen;
- Giessharz-Kabelarmaturen.

2. Systemwahl

2.1 Wickelverfahren

Bei diesem Verfahren wird die Isolation durch Aufwickeln von verschiedenen, z. T. selbstverschweissenden Bän-

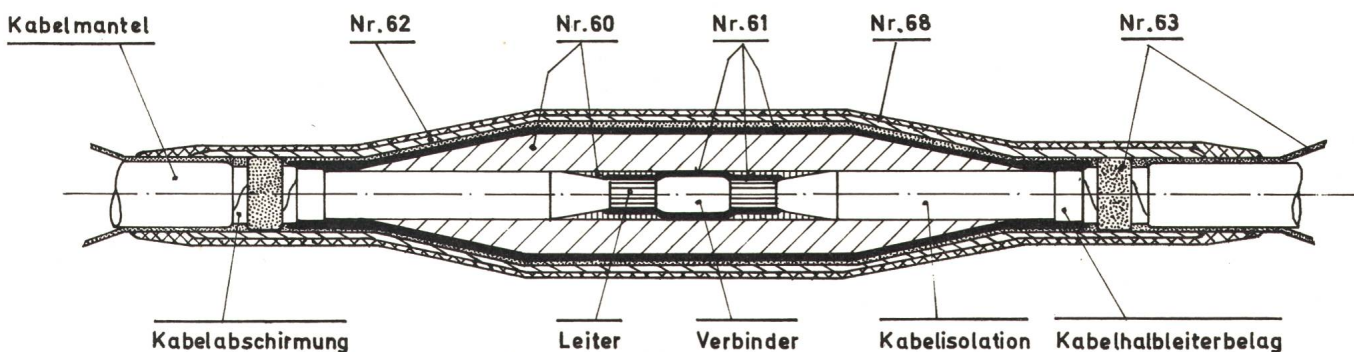


Fig. 1 Aufbau der isolierenden und der leitenden Schichten

Bezeichnung der Bänder:

Nr. 60 vernetztes Polyäthylen, selbstverschweissend
Nr. 61 Halbleiterband, selbstverschweissend

Nr. 62 Polyolefin, selbstverschweissend

Nr. 63 Kupfergeflechtband, verzinkt

Nr. 68 PVC-Bänder, selbstklebend

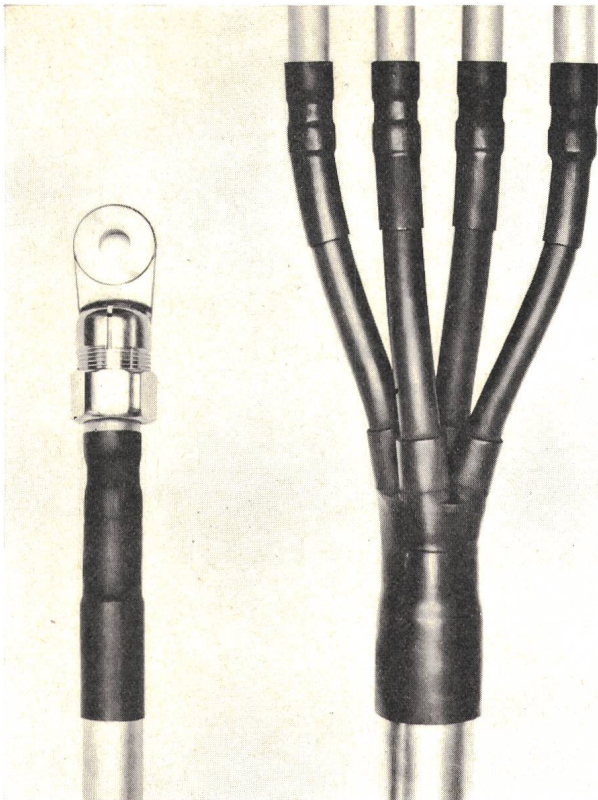


Fig. 2 Innenraum-Endverschlüsse

den aufgebaut. Dies lässt sich bei Einleiterkabeln relativ einfach durchführen, wird aber bei Mehrleiterkabeln ziemlich aufwendig. Fig. 1 zeigt den Aufbau der isolierenden und der leitenden Schichten. Hervorzuheben sind das vernetzte PE-Band Nr. 60, mit dem sich dank der hervorragenden Selbstverschweissung eine absolut luftfreie Isolation auf VPE-Hochspannungskabeln aufbauen lässt, sowie das selbsthaftende, vernetzte Silikongummiband. Das Band wird als Überzug für Aussenendverschlüsse appliziert und weist dank dem Fehlen eines Klebstoffes hervorragende Kriechstromeigenschaften auf. Ferner wird dieses Band als Korrosions-

schutz gegen Chemikalien bei Temperaturen bis zu 180 °C eingesetzt.

Die Wickelmethode hat für Verbindungsmuffen den Vorteil, dass jede beliebige Länge gespleisst werden kann, was bei provisorischen Kabelreparaturen wertvoll ist. Sie erfordert jedoch gut ausgebildetes Personal und beträchtlichen Zeitaufwand.

2.2 Schrumpfverfahren

Seit einigen Jahren sind Schrumpfschläuche auf der Basis von PVC, PE, VPE, vernetztem Polyolefin sowie ganz neu auch solche aus EPDM, einem Terpolymer aus Ethylen, Propylen und Dien, das eine ganz hervorragende Witterungsbeständigkeit aufweist, auf dem Markt.

Unter hochintensiver Elektronenbestrahlung werden die Kunststoffmoleküle zu einem dreidimensionalen Maschenwerk vernetzt und in gedehntem Zustand abgekühlt. In diesem Zustand werden die Halbfabrikate geliefert und kehren nach kurzer Erwärmung über den Kristallschmelzpunkt in ihre ursprüngliche Form und Abmessung zurück. Die Schrumpfung bewegt sich zwischen 50 und 66 % der gelieferten Grösse. Als Wärmequellen werden bei der Anwendung dieser Isolierstoffe Heissluftgebläse oder Gasbrenner verwendet.

Die Schrumpfschläuche haben hauptsächlich Eingang gefunden als Isolation von Kabelschuhübergängen zur Einkapselung von elektronischen Komponenten, Kondensatoren, Batterien sowie zur Bündelung und Farbkennzeichnung von Drähten und Kabeln. Im Starkstromkabelsektor beschränkt sich die Anwendung vorwiegend auf Innenraum-Endverschlüsse gemäss Fig. 2.

2.3 Vorfabrizierte, steckbare Armaturen

Im Mittelspannungsbereich 10...30 kV nimmt die Produktion von PE- und VPE-isolierten Kabeln laufend stark zu, weshalb auch hier die Nachfrage nach einfacher und rascher zu montierenden Armaturen gross wurde.

Seit kurzer Zeit stehen nun vorfabrizierte Innen- und Freiluft-Endverschlüsse zur Verfügung, die im Baukasten-

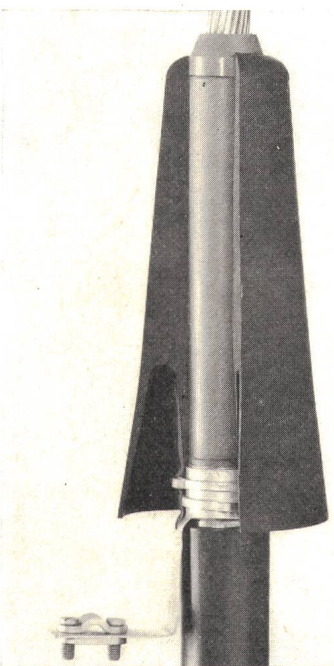


Fig. 3
Aufgeschnittener
Innen- und
Freiluft-Endverschluss

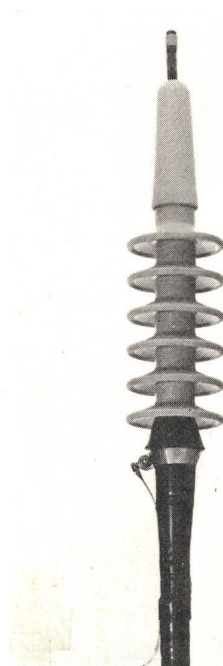


Fig. 4
Freiluft-Endverschluss
aus EPDM-Elastomer

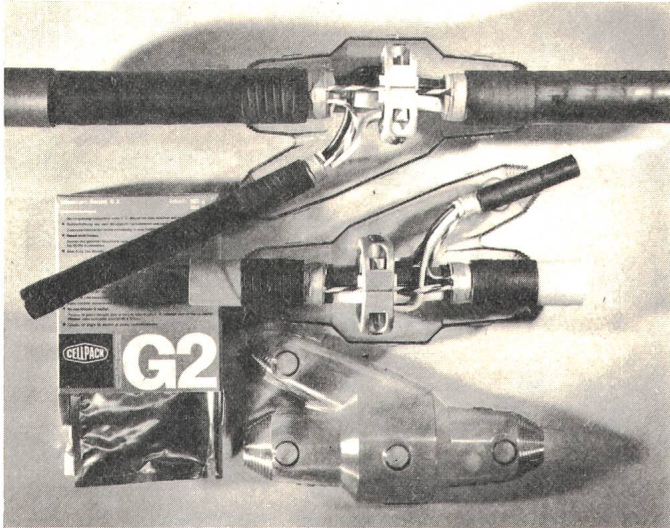


Fig. 5 Hausanschluss-Armatur für die Verwendung von Kabelklemmenringen

prinzip direkt auf die Primärisolation des Kabels aufgesteckt werden können. Der grosse Vorteil dieses Systems liegt darin, dass die Feldsteuerung voll im EPDM-Elastomer-Bauteil integriert ist. Der Übergang zwischen dem Halbleiterbelag des Kabels und demjenigen des Endverschlusses wird durch einige Lagen eines halbleitenden, selbstverschweissenden Bandes hergestellt, während der Erdungsbügel durch zwei Briden befestigt wird. Fig. 3 zeigt die Anordnung in der aufgeschnittenen Hälfte des Endverschlusses.

Daraus resultieren ausserordentlich kurze Montagezeiten, welche einen Bruchteil derjenigen der Wickelmethode oder der auf Papierbleikabeln angewendeten massegefüllten Gussendverschlüsse betragen.

Das gleiche Prinzip wird bei den Freiluft-Endverschlüssen aus EPDM angewendet. Nebst dem eigentlichen Feldsteuerungskonus werden die Isolationsschirme unter Verwendung von Silikonfett direkt auf die Leiterisolation aufgesteckt. Fig. 4 zeigt eine solche Anordnung für eine Spannung von 20 kV.

Die hervorragende Witterungsbeständigkeit von EPDM-Elastomer führte zu ausgezeichneten Resultaten bei langjäh-



Fig. 6 Giessharz in Zweikammerbeutel

rigen Versuchen mit den Freiluft-Endverschlüssen (Fig. 4) in meersalzhaltiger und korrosiver Atmosphäre. Die Elastizität dieses Materials ergibt einen absolut luftfreien Paßsitz auf der Leiterisolation und bringt, verglichen mit dem bisher verwendeten Porzellan, viele Vorteile in mechanischer Hinsicht. Dass die elektrischen Eigenschaften die Prüfanforderungen in den verschiedenen Ländern erfüllen, wurde von einer Reihe internationaler Prüfinstitute bestätigt.

2.4 Giessharz-Kabelarmaturen

Diese können als die eigentlichen Nachfolger der Guss-eisenarmaturen bezeichnet werden, denn ihre Verbreitung ist sowohl in der Schweiz wie auch international gesehen sehr gross geworden. Die wesentlichen Vorteile dieser Methode sind:

- Arbeitszeitverkürzung, kein Nachgiessen;
- Kleinsten Platzbedarf;
- Bis 10fach geringeres Gewicht;
- Saubere und einfache Montage;
- Ausgezeichnete dielektrische Eigenschaften;
- Hohe Wärmestandfestigkeit.

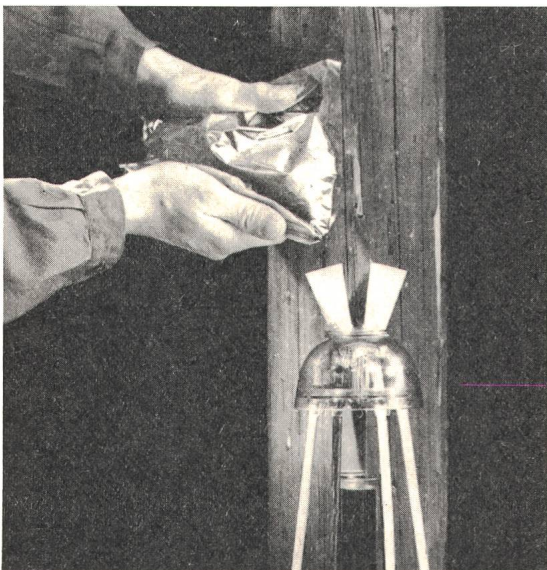


Fig. 7 Vergiessen aus dem Beutel



Fig. 8 Mit Polyolefinband umwickelter Verbindungskabelmantel

Obwohl Giessharzarmaturen vor ca. 15 Jahren für Kunststoffkabel entwickelt wurden, werden sie heute auch in grossem Umfang auf ölgefüllten Papierbleikabeln und auf Haftmassekabeln angewendet. Das aufwendige «Kochen» der Bitumenmasse sowie der Zeitverlust durch das Nachgiessen nach einigen Stunden ist bei der heutigen Personal- und Strassensituation nicht mehr verantwortbar.

Das internationale Angebot an Giessharzarmaturen reicht heute von einfachen, tiefgezogenen PVC-Formen bis zur durchkonstruierten Giessform aus transparentem, UV-stabilisiertem Polycarbonat und bei den Harzen vom reinen, starren Epoxidharz bis zum speziell für diese Anwendung modifizierten, dauerelastischen Polyurethanharz.

Fig. 5 zeigt eine Hausanschlussarmatur, die speziell für die Verwendung von Kabelklemmrings konstruiert wurde. Bei dieser Verbindungsmethode muss an den einzelnen Leitern die Isolation nicht entfernt werden, da diese von den Kontaktschrauben durchgestossen wird. Dies führt zu einer sehr kompakten Spleissung, was durch die hohen Isolationswerte der Giessharze ermöglicht wird.

Das Giessharz wird normalerweise in Dosen oder Beuteln den Armaturen in ausreichender Menge beige packt. Der Zweikammerbeutel hat den grossen Vorteil, dass immer das richtige Mischungsverhältnis eingehalten wird, da nach dem Entfernen der Trennschiene die gesamten Anteile von Harz und Härter zusammenfliessen können. Dazu kommt, dass dadurch die Mischung unter Luftabschluss geschieht, was eine Blasenbildung im Giessling verhindert. Nach einer Mischzeit von zwei Minuten wird das Giessharz direkt aus dem Beutel vergossen. Dadurch wird eine Berührung des Giessharzes vermieden, so dass Bedenken bezüglich der Toxizität der Giessharze unbegründet sind. Die hier verwendeten Polyurethane sind in dieser Beziehung wesentlich harmloser als Epoxidharze. Fig. 6 und 7 zeigen das Mischen und das Vergiessen. Die transparenten, UV-stabilisierten Polycarbonatformen gestatten eine visuelle Kontrolle der Leiterdistanzen unmittelbar vor dem Vergiessen.

Die Haftung der Giessharze auf Metallen und Isolierschichtstoffen ist ausgezeichnet, auf PVC- und vor allem auf Polyäthylen-Kabelmänneln kann weniger von einer Haftung als von einer engen Umschliessung gesprochen werden. Um nun bei starken Temperaturwechseln, wie sie zum Beispiel

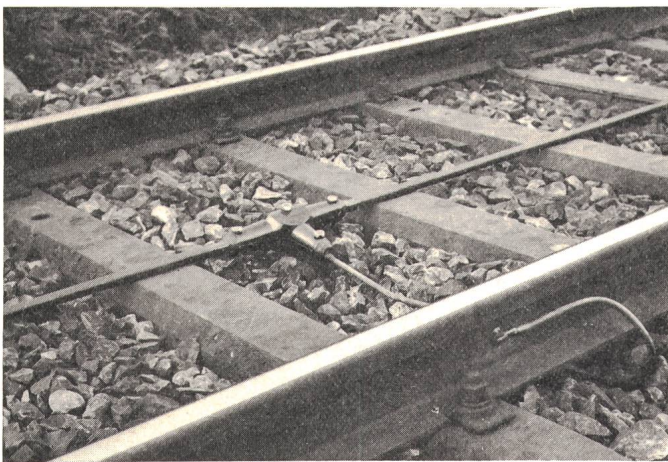


Fig. 9 Abzweigarmatur eines Linienleiter-Kabels, in welcher eine gedruckte Schaltung mit dem Phasenkern-Transformator direkt eingegossen wurde

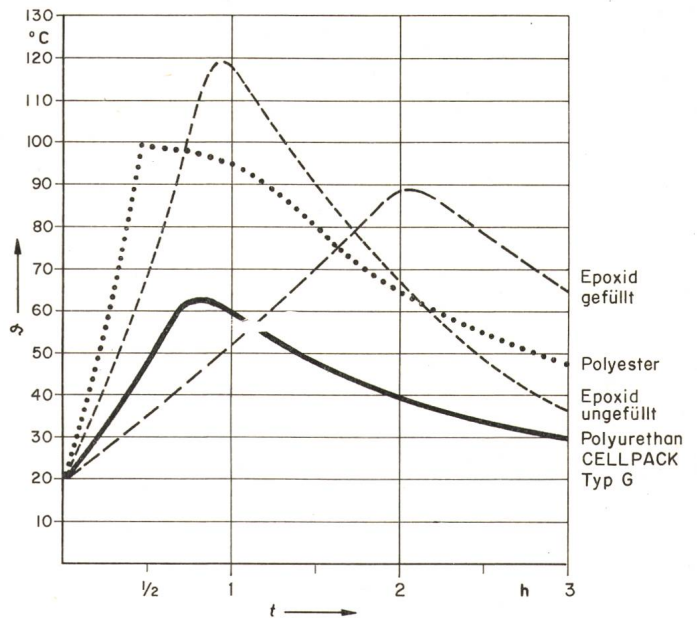


Fig. 10 Temperatur-Verlauf θ in Abhängigkeit der Zeit t von verschiedenen Giessharz-Systemen

bei der Anwendung auf dem Bahntrasse (Fig. 8) auftreten können, eine einwandfreie Längswasserdichtheit zu erreichen, werden bei diesem System die in die Armaturen hineinragenden PE-Kabelmänneln mit einem dauerelastischen, selbstverschweissenden Polyolefinband umwickelt. Diese Polsterung funktioniert dann als mechanische Dichtung zwischen Giessharz und Kabelmantel. Das gleiche Band wird zur Abdichtung der Kabelaustrittsstellen an den Muffenenden verwendet.

Die Anforderungen, die an die Verbindungs- und Abzweigarmaturen des Linienleiterkabels (Fig. 8 und 9) gestellt werden, sind ausserordentlich hoch. Die starken Vibrationen und gemessene Beschleunigungen bis zu 10 g führten bei ausgedehnten Versuchen bis zur Pulverisierung von starren Giessharzsystemen. Das Problem war nur mit einem speziell modifizierten, dauerelastischen Polyurethanharz zu lösen.

3. Giessharze für Kabelarmaturen

Die Entwicklung der Giessharze für Kabelverbindungen führte von den ungesättigten Polyesterharzen (UP-Harze), die wegen ihrer grossen Volumenschwindung und der abrupten Aushärtecharakteristik bald verdrängt wurden, über die reinen und quarzgefüllten, starren Epoxidharze (EP-Harze) zu speziell modifizierten elastischen Polyurethanharzen (PUR-Harze).

Für die Anwendung im Feld bieten die PUR-Harze den grossen Vorteil einer weitgehenden Unabhängigkeit von der Umgebungstemperatur, d. h. die Aushärte-Charakteristik variiert innerhalb des Temperaturbereiches von 0 °C bis +40 °C nur wenig. Auch die Abhängigkeit vom Giessvolumen ist wesentlich geringer als bei EP-Harzen, was erlaubt, sowohl sehr kleine wie auch sehr grosse Armaturen (von 80 g bis zu 15 kg Füllgewicht) mit dem gleichen Harz/Härter-System zu vergiessen. Die geringe Wärmetönung während des Aushärtens (max. 65 °C) erlaubt das Vergiessen von polyäthylenisolierten HF-, Signal- oder Fernmeldekabeln, ohne eine Beeinträchtigung der PE-Molekularstruktur riskieren zu müssen.

4. Typische mechanische und thermische Eigenschaften der verschiedenen Giessharze

Tabelle I

Eigenschaften		Epoxid ungefüllt	Polyurethan Cellpack Typ G
Rohdichte	DIN 53479 g/cm ³	1,2	1,3
Shore-A-Härte	—	—	90
Biegefestigkeit	DIN 53452 kp/cm ²	640	kein Bruch
Durchbiegung beim Bruch	DIN 53452 mm	2,3	kein Bruch
Schlagzähigkeit	DIN 53453 kp/cm/cm ²	8	> 24
Zugfestigkeit	DIN 53455 kp/cm ²	355	90
Dehnung beim Bruch	DIN 53455 %	2,4	80
Glutbeständigkeit	DIN 53459 Gütegrad	2	3
Längenausdehnungskoeffizient	mm/mm °C	79 · 10 ⁻⁶	100...200 · 10 ⁻⁶

5. Typische dielektrische Eigenschaften der verschiedenen Giessharze

Tabelle II

Eigenschaften		Epoxid ungefüllt	Polyurethan Cellpack Typ G
Durchschlagsfestigkeit	DIN 16946 ¹⁾ kV/mm	32	40
Spez. Durchgangswiderstand	DIN 53482		
	20 °C Ω cm	10 ¹⁵	10 ¹⁴
	60 °C	10 ¹⁰	10 ¹¹
	80 °C	10 ⁹	10 ¹⁰
Dielektrischer Verlustfaktor	20 °C	0,038	0,144
50 Hz, 500 V	60 °C	0,28	0,111
	80 °C	—	0,190
Dielektrizitätskonstante	20 °C	4,2	4,3
50 Hz, 500 V	60 °C	7,4	6,0
Kriechstromfestigkeit	DIN 53480 Stufe	KA 3 C	KA 3 C

¹⁾ Kugelelektrode eingegossen gegen Platte

Trotz dieser niedrigen Temperaturspitze werden mit PUR-Harzen Aushärtezeiten von weniger als einer Stunde erreicht, was aus Fig. 10 deutlich ersichtlich ist. Die Kurven zeigen das typische Verhalten der verschiedenen Harze bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C im Moment des Vergießens einer Kabelarmatur von ca. 6 kg Füllgewicht.

Fig. 11 zeigt das Schwindungsverhalten der drei Hauptgruppen, wobei die PUR-Harze durch ihren geringen Schwund auffallen. Dies ermöglicht ein Vergiessen von sehr grossen Armaturen, ohne nachgiessen zu müssen, und schliesst das Risiko von Rissen bei grossen Wandstärken aus.

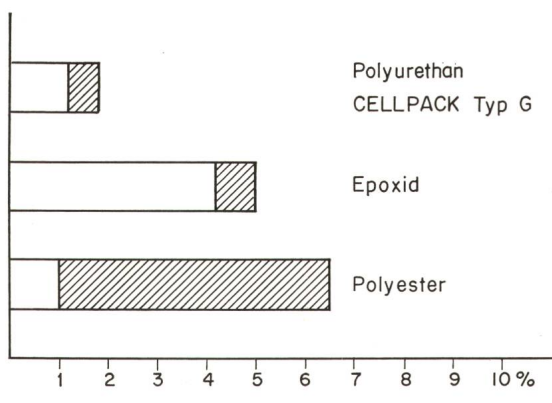


Fig. 11 Volumen-Schwindung verschiedener Giessharz-Systeme

□ in flüssiger Phase ▨ von gallertartig fest

6. Erfahrungen und Zukunftsaussichten

Die Erfahrungen mit Giessharz-Kabelarmaturen im praktischen Einsatz gehen auf 20 Jahre zurück. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sowohl die Giessharze wie auch die für die Formen verwendeten Materialien laufend den neuesten Entwicklungen der Kunststoffchemie angepasst wurden. Ferner hat der weltweite Einsatz unter den verschiedensten klimatischen Bedingungen die absolute Zuverlässigkeit dieser Methode unter Beweis gestellt. Somit kann heute gesagt werden, dass Giessharz-Kabelarmaturen im Spannungsbereich bis 10 kV auf Jahre hinaus die grösste Verbreitung finden werden, sofern die Materialien laufend den neusten Erkenntnissen angepasst werden.

Für den Spannungsbereich 10...30 kV wurde innerhalb der letzten zwei Jahre anhand ausgedehnter Versuche die Erkenntnis gewonnen, dass vorfabrizierte Elastomerarmaturen mit integriertem Feldsteuerungskonus wesentliche Vorteile bieten im Vergleich mit Giessharzarmaturen. Das Hauptproblem liegt beim absolut luftfreien Einguss der Deflektoren. Die unter Abschnitt 2.3 gezeigten Innenraum- und Freiluftendverschlüsse bilden einen ersten Schritt in dieser modernsten Reihe, auf den noch Verbindungsmuffen und Ellbogenstecker für PE- oder VPE-isolierte Hochspannungskabel folgen werden.

Adresse des Autors:

Walter Kälin, Leiter der Abt. Elektroprodukte der Cellpack AG, 5610 Wohlen.