Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 81 (1990)

Heft: 15

Artikel: Silikon in der Hochspannungsisoliertechnik

Autor: Papailiou, Konstantin O.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-903144

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: 09.01.2026

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

Silikon in der Hochspannungsisoliertechnik

Konstantin O. Papailiou

In diesem Artikel sind einige Anwendungen von Kunststoffen in Komponenten der Hochspannungstechnik beschrieben. Dabei wird besonders auf die Eigenschaften von Silikonkautschuk eingegangen, da dieses Material viele an einen Werkstoff der Hochspannungstechnik gestellten Anforderungen recht gut erfüllt und somit in immer mehr Bereichen der Hochspannungsisoliertechnik eingesetzt wird. In diesem Sinne werden im folgenden Aufsatz als typische Anwendungen von Silikonkautschuk Kabelgarnituren und Verbundisolatoren für Mittel- und Hochspannungsnetze behandelt.

L'article décrit quelques applications de matières plastiques pour des composantes de l'isolement des hautes tensions. On entre en particulier dans les propriétés du caoutchouc silicone, vu que ce matériau remplit très bien de nombreuses exigences posées à un matériau destiné à la technique des hautes tensions, et qui de ce fait est utilisé dans un nombre croissant de domaines de la technique d'isolation en haute tension. C'est dans ce sens que sont traitées dans cet article les applications typiques du caoutchouc silicone que sont les garnitures de câbles et les isolateurs composites en moyenne et haute tension.

Adresse des Autors:
Dipl.-Ing. *Konstantin O. Papailiou*, Direktor der Sefag AG, Elektrotechnische Spezialartikel, Werkstrasse 7, 6102 Malters.

Die elektrotechnische Industrie hat von der rasanten Entwicklung und Verbreitung der Kunststoffe in den letzten 30 Jahren auf vielfältige Weise profitiert. Synthetische Materialien haben die klassischen Werkstoffe wie Naturkautschuk, Glimmer, Keramik und Glas in einer Reihe von Anwendungen substituiert. Dabei handelt es sich im wesentlichen um Bauteile, die sowohl mechanische als auch elektrisch isolierende Aufgaben übernehmen müssen. Dafür können mit Vorteil verschiedene Eigenschaften von Kunststoffen zur Substitution und Verbesserung von Komponenten aus klassischen Isolierstoffen eingesetzt werden. Für den Nachweis der Praxistauglichkeit sind umfangreiche Untersuchungen vorausgegangen. Eine der Hauptfragen, die vorab zufriedenstellend geklärt werden mussten, ist das Alterungsverhalten von organischen Stoffen – wobei nicht zu vergessen ist, dass auch anorganische Stoffe wie Glas und Porzellan einer gewissen Alterung unterliegen. Auch ist bei der Überlegung, Kunststoffe in der Hochspannungstechnik einzusetzen, wegen der relativ hohen Herstellungskosten, das Preis-Leistungsverhältnis im konkreten Einsatzfall realistisch zu überprüfen, d.h. unter Berücksichtigung aller Wartungs- und Folgekosten.

Ein Kunststoffmaterial, das für die Herstellung von verschiedenen Komponenten der Hochspannungstechnik immer mehr an Bedeutung gewinnt und aus der Ecke der Spezialitäten in die normale Industriepraxis gerückt ist, ist Silikonkautschuk (Silicon-Rubber, SIR).

Aufbau und Eigenschaften von SIR

Verbindungen des Siliciums, die in der Natur vorkommenden Silicate, werden seit Jahrtausenden genutzt und gehören zu den ältesten von der Menschheit dienstbar gemachten Roh- und Werkstoffen. Grundelement der

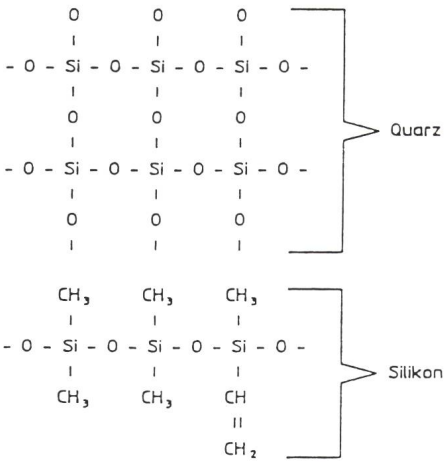


Bild 1 Polymermatrix von Quarz und Silikon

Polymermatrix von Silikonkautschuk – ein Kautschuk ist ein fliessfähiges Material, mit sich nicht verändernden, elastischen Eigenschaften – ist die Siliciumsauerstoffbindung. Soweit man aus Kernabständen und Valenzwinkeln Rückschlüsse auf die Art der Bindung ziehen kann, besteht eine sehr grosse Ähnlichkeit mit dem Charakter der SiO-Bindung in Quarz. Anstelle des dreidimensionalen, starren Quarzgitters liegt bei den Polymeren für Silikonkautschuk eine alternierende SiO-Kettenstruktur vor, wobei je Siliciumatom zwei Valenzen durch organische Gruppen gesättigt sind (Bild 1).

Diese Struktur erklärt einige der ungewöhnlichen chemischen und physikalischen Eigenschaften dieses Elastomers. Die hohe Flexibilität auch bei tiefen Temperaturen ist ein Ergebnis der geringen intermolekularen Bindungskräfte, d.h. die Ursache für die Flexibilität liegt im Silikonpolymer selbst und wird nicht durch Zugabe von Weichmachern erzielt. Daher kommt es auch bei höheren Temperaturen – oder langen Beobachtungszeiträumen bei Normaltemperatur – zu keinem Ausschwitzen solcher Weichmacher mit den unangenehmen Folgen der Verunreinigung der Umgebung und einer Versprödung des

Kunststoffes. Dies gilt gleichermassen für isolierende wie auch für elektrisch leitende Silikonkautschukmischungen.

Elektrisch isolierender und leitfähiger Silikonkautschuk weist eine simultane Resistenz gegen die verschiedensten chemischen und physikalischen Einflüsse auf. Neben der thermischen Stabilität ist vor allem die ausgezeichnete Beständigkeit gegen Ozon, Coronaentladung, ionisierende Strahlung, Feuchtigkeit, Flammeneinwirkung usw. zu nennen. Silikonkautschukmischungen sind als schwer brennbar einzustufen. Bei Flammeneinwirkung von aussen entstehen als gasförmige Verbrennungsprodukte in erster Linie Wasserdampf und Kohlendioxyd, als fester Rückstand bleibt Siliciumdioxid.

Da Siliziumdioxid gleichfalls über gute Isoliereigenschaften verfügt, entstehen bei Silikonkautschuk unter dem Einfluss konzentrierter Entladungen, z.B. Überschlägen, an deren Fusspunkten Temperaturen von bis zu 1300 °C auftreten, keine leitfähigen Kriechspuren wie bei anderen Elastomeren. Es bilden sich dabei praktisch keine korrosiven oder unmittelbar toxischen Produkte. Silikonkautschuk ist vollkommen halogenfrei.

Auch beim Silikonkautschuk hat die Vernetzungsmethode Einfluss auf die Eigenschaften des Endproduktes. Silikon kann einerseits mit organischem Peroxyd unter Druck bei hohen Temperaturen vernetzt werden. Bei druckloser Vulkanisation andererseits kommt die sogenannte Additionsvernetzung unter Zugabe von zwei Komponenten bei Raumtemperatur zur Anwendung. Additionsvernetzter Silikonkautschuk benötigt keine Nachtemperung, da hier keine Vernetzerspaltprodukte entstehen. Seine angestrebten elektrischen Eigenschaften sind somit unmittelbar nach der Vulkanisation gegeben.

Eigenschaft		Porzellan	Glas	Silikon (SIR)
Dichte	[g/cm³]	2,3...3,9	2,5	1,1...1,5
Zugfestigkeit	[MPa]	30...100	100...120	5...8
Druckfestigkeit	[MPa]	240...820	210...300	--
E-Modul	[GPa]	50...100	7,2	(s. Bild 4)
Wärmeleitfähigkeit	[W/m°K]	1...4	1,0	0,3
lin. Wärmedehnung (20...100 °C)	[10^{-6}/°K]	3,5...9,1	8,0...9,5	240
Dielektrizitätskonstante (50...60 Hz)	[Luft = 1]	5,0...7,5	7,5	2,9...3,0
Verlustfaktor (tan δ) (50...60 Hz)	[10^{-3}]	20...40	15...50	17
Durchschlagsfeldstärke	[kV/mm]	10...20	>25	23
Durchgangswiderstand (bei 20°C)	[Ohm cm]	10^{11}...10^{13}	10^{12}	10^{15}

Bild 2 Eigenschaften wichtiger Isolierwerkstoffe

SIR im Vergleich mit anderen Isolierstoffen

In Bild 2 werden die für den Einsatz in der Hochspannungstechnik massgebenden Eigenschaften von Silikonkautschuk, zusammen mit den entsprechenden Werten für die klassischen Isolierstoffe Glas und Porzellan, aufgelistet. Es fällt dabei auf, dass sich bei allen Eigenschaften die Werte aller drei Isolierstoffe für praktische Zwecke in der gleichen Grössenordnung bewegen. Es sind andere Eigenschaften von Silikon, wie z.B. sein niedriges Gewicht, seine Schlag- und Bruchsicherheit, seine hohe Beständigkeit bei Fremdschichtbedingungen (Verschmutzung), die für spezielle Anwendungen, wie sie im nächsten Abschnitt vorgestellt werden, den Einsatz von Silikonkautschuk begünstigen.

Zum weiteren Vergleich werden in Bild 3 ergänzende, wichtige Eigenschaften für das im Raumtemperatur- (RTV) als auch im Hochtemperaturverfahren (HTV) hergestellte SIR-Material, zusammen mit den entsprechenden Kennzahlen für EPDM (Äthylen-Propylen-Dien-Monomer) - einem modifizierten Synthetikkautschuk, der auch relativ oft in den Komponenten der Hochspannungstechnik anzutreffen ist - aufgeführt.

Die elektrischen Eigenschaften stimmen bei beiden Werkstoffen, SIR und EPDM, annähernd überein. Hingegen bestehen deutliche Unterschiede bei den mechanischen Werten. So wird z.B. für viele Anwendungen der Hochspannungstechnik ein dauerhaftes, hohlraumfreies Anliegen des Kunststoff-Isolierkörpers - z.B. an der Kabelisolierung oder bei steckbaren Endverschlüssen zusätzlich am Geräteanschlussteil - gefordert; dies bedarf einer möglichst hohen Dehnung bei geringer innerer mechanischer Spannung im Werkstoff. Der Elastizitätsmodul charakterisiert dieses Verhalten durch das Verhältnis zwischen mechanischer Spannung und Dehnung. Aus Bild 4 wird das eindeutig günstigere Verhalten von Silikon gegenüber EPDM ersichtlich.

Ein weiterer Unterschied zwischen den beiden Werkstoffen Silikon und EPDM besteht in der Shore-A-Härte. Die Shore-A-Härte gibt eine relative Aussage über die Fähigkeit des Materials, sich Unregelmässigkeiten anzupassen. Dies ist für das oben erwähnte hohlraumfreie Anliegen an die geschälte Aderoberfläche von Kabeln mit extrudierter, festverschweisster äusserer Leitschicht oder am tragenden, glasfaserverstärkten Stab von Verbundisolatoren von grosser Wichtigkeit. Für eine dauerhafte, hohe dielektrische Festigkeit der Grenzfläche ist daher ein weicher, hochelastischer Werkstoff vorteilhaft.

Durch den hohen Füllstoffanteil, der zur Unterbindung von leitfähigen Kriechspuren erforderlich ist

Eigenschaft		Silikonkautschuk (SIR) RTV	Silikonkautschuk (SIR) HTV	EPDM
Reissfestigkeit	[N/mm²]	> 5	> 5	5...7
Reissdehnung	[%]	>400	>150	>300
Elastizitätsmodul bei 300% Dehnung	[N/mm²]	2.5	3.2	7
Shore-A-Härte		25...30	50	70

Bild 3 Wichtige mechanische Eigenschaften von SIR und EPDM für Kabelgarnituren und Verbundisolatoren

SIR Silikonkautschuk (Silicon-Rubber)
RTV in Raumtemperaturverfahren hergestellter Silikonkautschuk
HTV in Hochtemperaturverfahren hergestellter Silikonkautschuk
EPDM Äthylen-Propylen-Dien-Monomer

(60...70%), haben brauchbare EPDM-Mischungen eine Shore-A-Härte von mehr als 70. Additionsvernetzte RTV-Silikonprodukte dagegen haben eine wünschenswert niedrige Shore-A-Härte von 25...30 und weisen somit insgesamt die günstigeren Eigenschaften auf.

Vor allem bei Freiluftanwendungen von Kunststoffen in Komponenten der Hochspannungstechnik (z.B. Isolatoren, Freiluftkabelendverschlüsse) fällt die besonders hohe Beständigkeit von geeignetem Silikonkautschuk bei Langzeitoberflächenbeanspruchungen unter Fremdschichtbedingungen ins Gewicht. So überstand ein Silikon-

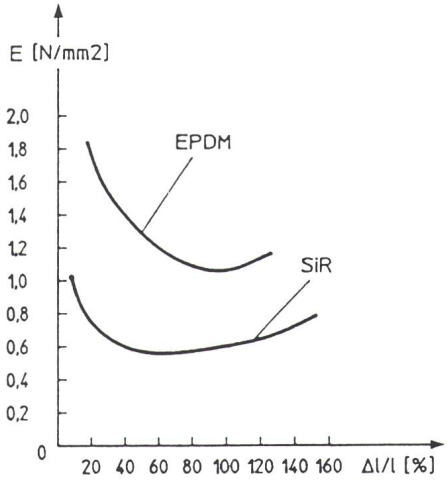


Bild 4 Elastizitätsmodul als Funktion der Dehnung von SIR und EPDM

Δl Längenänderung
l ursprüngliche Länge
E Elastizitätsmodul

kautschukisolator einen 300stündigen Dauerversuch bei 18 kV Wechselspannung mit Salznebel bei 10 g/l ohne Beschädigung der Oberfläche, während beim Porzellanisolator die Glasur stellenweise völlig abgetragen war und ein vorgespannter Glasisolator durch die Oberflächenerosion sogar zerstört wurde.

Auch in der Erhaltung seiner Oberflächenhydrophobie – eine für Freiluftanwendungen besonders wichtige Eigenschaft – zeigt sich Silikonkautschuk gegenüber anderen Polymeren (so auch EPDM) überlegen. So haben vor kurzem abgeschlossene Langzeitversuche unter natürlicher Salznebelverschmutzung eindeutig gezeigt, dass sich Silikonkautschuk auch nach Oberflächenentladungen weiterhin wasserabstossend verhält. EPDM dagegen hat sich nach solchen Beanspruchungen hydrophil verhalten.

Einsatzgebiete von SIR in der Hochspannungstechnik

Silikone sind Werkstoffe mit sehr vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten. Sie werden heute im Bau- und Verkehrswesen, in der Elektro- und Elektronikindustrie, in der Textil- und Papierindustrie, in der Medizin, Pharmazie, Kosmetik und auch in der Chemie sowie in der Kunststoff- und Kautschukindustrie eingesetzt. Den grössten Anteil der Silikonprodukte mit über 50% nimmt die chemische Industrie auf. Etwa 15% fliessen in die Kautschuk- und Kunststoffindustrie, 13% werden im Bereich der Elektro- und Elektronikindustrie verbraucht, 6% bei der Metallverarbeitung, und die restlichen 12% verteilen sich auf andere Branchen.

Ein zugleich klassisches und modernes Anwendungsgebiet für die Silikonelastomere ist der Bereich Elektrik/Elektronik. Zu der Vielzahl heute üblicher Anwendungen für Silikonkautschuk in der Hochspannungstechnik – und es kommen laufend neue hinzu – werden im folgenden einige typische Beispiele herausgegriffen und dargestellt.

Steckbare Kabelgarnituren

In der Energiekabeltechnik ist der Übergang von den konventionellen papierisolierten Kabeln zu modernen Kunststoffkabeln im Niederspannungs- und Mittelspannungsbereich fast vollständig vollzogen. Mit der Verwendung von VPE (vernetztes Polyethylen) als Isolation für Mittelspannnungskabel ergab sich, bedingt durch die dadurch möglich gewordenen höheren Leitertemperaturen und den bei VPE im Vergleich zu anderen Isolierstoffen höheren Wärmeausdehnungskoeffizienten, die Notwendigkeit, eine neue Generation von Kabelgarnituren zu entwickeln. Zudem gewinnen metallgekapselte, kompakte, SF_6-isolierte Schaltanlagen zunehmend an Bedeutung. Im Mittelspannungsbereich erfolgt der Kabelanschluss an diese Anlagen durch lösbare Kabelstecksysteme mit äusseren, berührungssicheren Metallgehäusen. Diese Kabelstecker (Bild 5) sind eine spezielle Ausführungsform der Kabelendverschlüsse. Der bei deren Konzipierung aufgestellte Forderungskatalog führte zwangsläufig zum Einsatz elastischer Werkstoffe, da nur diese in der Lage sind, die temperaturbedingten Volumensänderungen der Kabelisolation zu kompensieren und damit die Konstruktion und Herstellung funktionstüchtiger Endverschlüsse und Muffen für lange Zeiträume zu ermöglichen.

Die Beständigkeit der kritischen Grenzfläche zwischen Aderisolierung und Isolierkörper des Endverschlusses hängt ganz wesentlich von dessen Anpressdruck ab, der über die geforderte Lebensdauer der Kabelgarnitur ausreichend sein muss. Selbst nach langer Betriebszeit bei höchstzulässiger Temperatur darf nur eine geringe bleibende Verformung des Werkstoffes auftreten. Das Aufschieben der Kabelgarnitur auf eine Kabelader bedingt eine Dehnung des Bauteiles. Die dabei in radialer Richtung auftretende Druckverformung ist wesentlich grösser als die Zugverformung in Richtung des Umfanges der Garnitur. Auch unter diesem Blickwinkel ist Silikonkautschuk für diesen Einsatz prädestiniert.

Die Steuerung des elektrischen Feldes erfolgt in der Regel mit Hilfe eines elektrisch leitfähigen Feldsteuerelementes, bestehend aus einer dünnen,

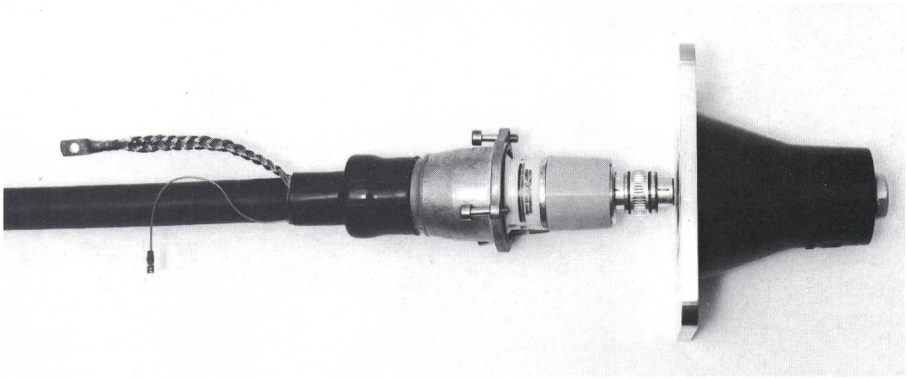


Bild 5 Kabelstecksystem
Innenkonus-Kabelstecksystem für 12...52 kV der Firma Sefag, Malters

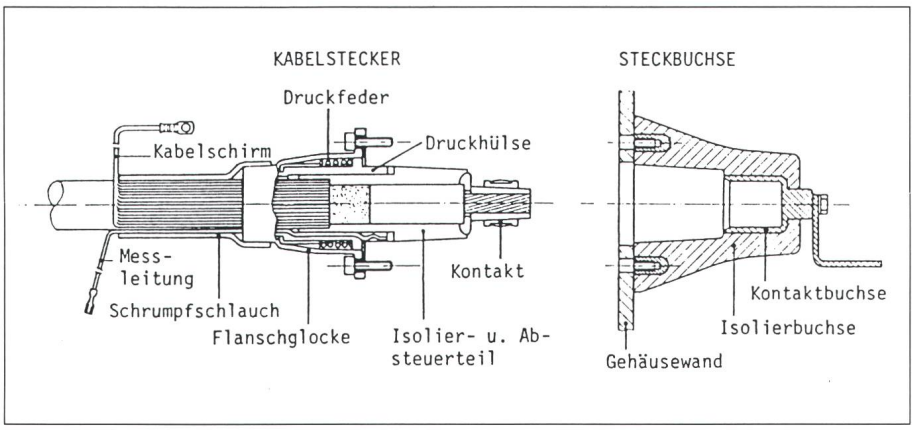


Bild 6 Innenkonus-Kabelstecksystem im Querschnitt
mit Isolier- und Absteuerteil aus Silikon

leitfähigen Silikoneinlage, die die gleichen hochelastischen Eigenschaften hat wie der Isolierkörper (Bild 6). Wichtig dabei ist die fugenlose Einbettung des Feldsteuerelementes in den Isolierkörper, weil nur dadurch eine maximale Teilentladungsfreiheit und als Folge eine hohe Lebensdauer erreicht werden kann. Um die Ablösung des Feldsteuerelementes vom Isolierkörper, hervorgerufen durch mechanischen Lastwechsel bei der Montage und thermischen Lastwechsel im Einsatz, zu vermeiden, ist eine feste chemische Bindung zwischen Steuerelement und Isolierkörper erforderlich, die in ihrer Festigkeit in der Grössenordnung der Zugfestigkeit des schwächeren Mediums liegt. In der Regel ist dies der elektrisch leitfähige Silikonkautschuk. Die erforderlichen chemischen Bindekräfte zwischen leitfähigem und isolierendem Silikon werden durch eine spezielle Fertigungstechnik und Heissvernetzung erzeugt. Bei entsprechender konstruktiver Gestaltung können solche elastische Leitschichten zur Feldsteuerung auch als kapazitive Teiler und zum Anschluss von Sensoren dienen.

Bild 7 zeigt Beispiele von in der Schweiz seit vielen Jahren in grösseren Serien gefertigten Teilen für ein weit verbreitetes Innenkonus-Kabelstecksystem mit Silikon-Einlagen.

Freiluft-Endverschlüsse für Kunststoffkabel von 10 bis 170 kV

Die vielen Befürworter und Anwender des Hochspannungskabels mit extrudierter Massivisolation mussten recht lange auf Endverschlüsse warten, welche ihren Forderungen voll entsprechen und gleichzeitig den Merkmalen und Möglichkeiten des Kunststoffkabels richtig angepasst sind. Gerade bei Kabeln für höhere Spannungen basieren die Endverschlüsse auch heute noch oft auf der alten Wickeltechnik in Porzellanisolatoren, nicht selten unter Verwendung zweifelhafter Dichtungsmethoden.

Die Aufschiebetechnik für Kabelgarnituren wurde Ende der 60er Jahre in Europa zunächst zögernd eingeführt. Seit 1974 werden aufschiebbare Silikon-Endverschlüsse im Mittelspannungsbereich und in der 60 kV-Spannungsebene, und seit 1981 für 170 kV-Betriebsspannung im In- und Ausland erfolgreich eingesetzt (Bild 8). Neben der thermischen Stabilität und Beständigkeit gegen Ozon, Coronaentladungen, ionisierende Strahlung, Feuchtigkeit und Flammenwirkung zeichnet sich die Silikonbeschirmung bei Industrieverschmutzung, im Eisenbahntunnel, in salzhaltiger Küsten- und Wüstenatmosphäre, in hochalpinen und erdbebengefährdeten Gebieten durch Wartungsfreiheit, Betriebssicherheit und hohe Lebensdauer aus.

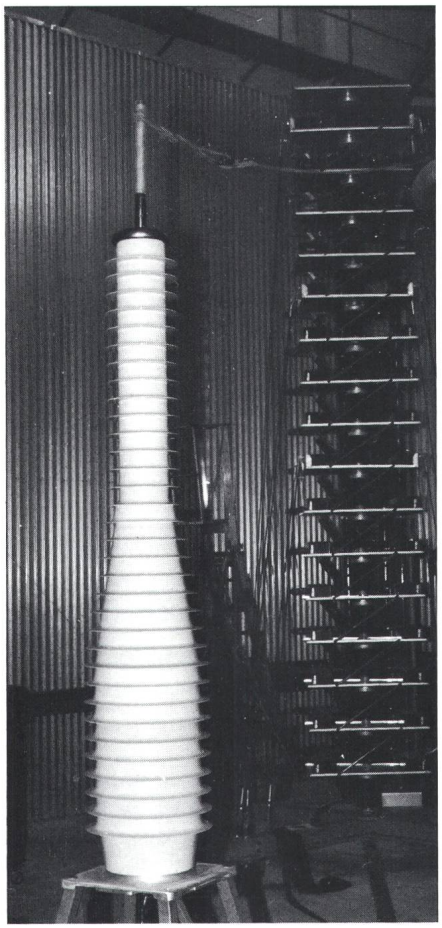


Bild 8 170 kV-Freiluftkabelendverschluss mit Silikonbeschirmung
Produkt der Firma Dätwyler, Altdorf

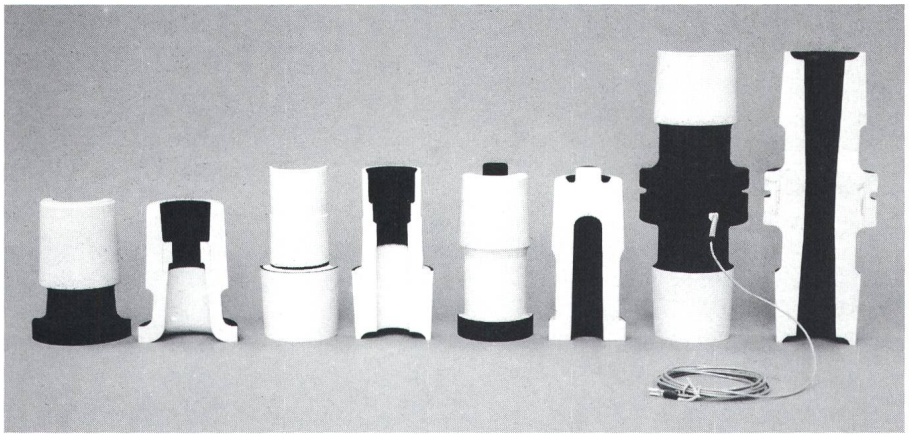


Bild 7 Verschiedene Komponenten aus Silikon
hergestellt bei der Firma Dätwyler, Altdorf, für das Innenkonus-Kabelstecksystem der Firma Sefag, Malters

Rohrisolatoren aus Silikonkautschuk

In den letzten Jahren wurden auch Rohrisolatoren entwickelt, die aus einem glasfaserverstärkten Giessharzrohr und Schirmen aus Silikonkautschuk bestehen. Diese werden zunehmend als Ersatz für Porzellanisolatoren und als Gehäuse für Hochspannungsapparate eingesetzt. Ihr Feldeinsatz bietet sich an bei Anwendungen, wo besondere Anforderungen an die mechanische Festigkeit und Flexibilität der Gerätegehäuse gestellt werden, so z.B. um Explosionsfolgen zu minimieren oder wo hohe mechanische Beanspruchungen, wie Erdbeben, Vandalismus oder hohe Kurzschlusskräfte, möglich sind.

Neben dem Einsatz in Hochspannungswandlern bewährt sich Silikonkautschuk auch als Schirmmaterial für Durchführungen auf SF_6-isolierten, gekapselten Schaltanlagen, bei Wanddurchführungen herkömmlicher Schaltanlagen und bei Transformatordurchführungen, weil hier die bei Verwendung von Porzellankörpern zu berücksichtigenden Abdichtungsprobleme nicht auftreten.

Kunststoffverbundisolatoren für Freileitungen

Hochspannungsisolatoren sind für die Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit von elektrischen Energieübertragungssystemen von entscheidender Bedeutung. Neben den bisher üblichen Langstabisolatoren herkömmlicher Bauart aus Porzellan und Kappenisolatorenketten aus Glas oder Porzellan, haben Kunststoffisolatoren eine zunehmende Bedeutung in der Isoliertechnik von Hochspannungsfreileitungen bis zu den höchsten Betriebsspannungen gefunden (Bild 9). Kunststoffisolatoren sind seit etwa 25 Jahren in vielen Ländern im Einsatz. Ihre Bauweise nach dem Verbundprinzip ist in Bild 10 schematisch dargestellt. Bei richtiger Auslegung, sowohl in konstruktiver Hinsicht als auch bezogen auf die Materialauswahl, haben Kunststoffisolatoren überzeugende Vorteile, unter anderem:

- besonders gute elektrische Eigenschaften bei starker Verschmutzung, somit Minimierung der Wartung bei erhöhter Betriebssicherheit
- Keine Bruchgefahr bei Steinschlag, Beschuss oder dynamischer Belastung
- Niedriges Gewicht, somit niedrige Montage- und Transportkosten.

Unter den verschiedenen Schirmmaterialien, die bei Kunststoffisolatoren verwendet werden, so z.B. Giessharz, EPDM, EPM (Äthylen-Propylen Monomer), Teflon und Silikonkautschuk (SIR), hat sich letzteres in der Lage gezeigt, die geforderten hohen Ansprüche besonders gut zu erfüllen. Es ist daher nicht erstaunlich, wenn überall - wie in der Schweiz, wo Silikon-Isolatoren seit über 10 Jahren entwickelt, produziert und erfolgreich eingesetzt werden - immer mehr Hersteller von Kunststoffisolatoren auf Silikonkautschuk umsteigen.

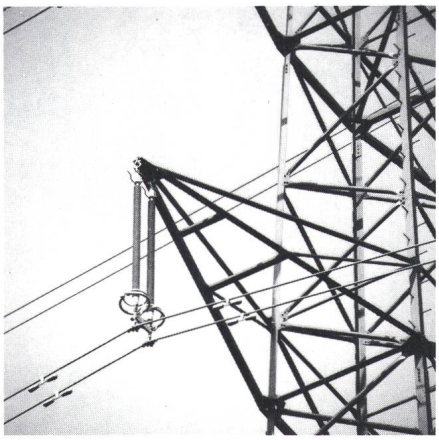


Bild 9 400 kV-Doppelhängekette mit Silikonstabisolatoren

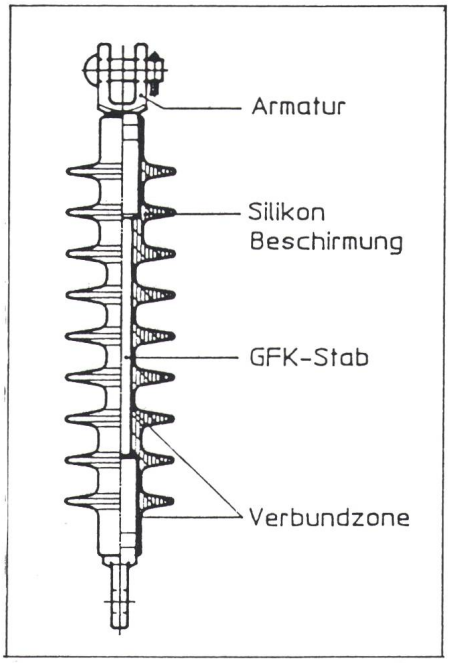


Bild 10 Bauweise und Bestandteile von Verbundstabisolatoren

Silcosil-Verbundisolator der Firma Sefag, Malters

Herrn Dipl.-Ing. *O. Herbst*, der Firma Dätwyler AG, Altdorf sowie der Firma Wacker Chemie, D-Burghausen wird für die freundliche Bereitstellung von Material zu diesem Aufsatz an dieser Stelle gedankt.

IBZ

Schulen für Technik und Informatik

Im Zuge der Erweiterung unserer Engagements im Bereich der technischen Weiterbildung wie auch zur Neubesetzung von Vakanzen in unserem Lehrkörper suchen wir laufend neue Dozenten. Gut ausgewiesenen Ingenieuren und Technikern mit Freude an der Wissensvermittlung und am Umgang mit Menschen bietet sich damit Gelegenheit zu einer

nebenamtlichen Lehrtätigkeit

an unseren Schulen in Zürich, Bern, Basel, Frauenfeld, Sursee und Thun. Die IBZ-Schulen für Technik und Informatik zählen zu den führenden schweizerischen Privatinstituten für berufsbegleitende Aus- und Weiterbildung.

Für die IBZ-Schulen in Bern und Zürich suchen wir für den Fachbereich Elektrotechnik-Meisterkurse

Elektro-Ingenieure HTL

und

Eidg. dipl. Elektro-Installateure/ Kontrolleure

denen wir die Möglichkeit praxisbezogener Wissensvermittlung in den Fächern Elektrotechnik, Mathematik, Masskunde, Schemakenntnisse, Telefonie und Vorschriften bieten.

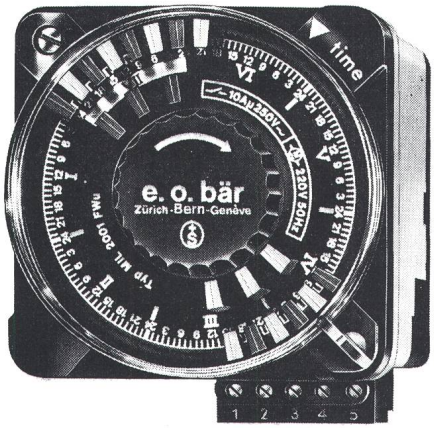
Im Fachbereich Bautechnik suchen wir für die IBZ-Schulen von Bern und Zürich

Architekten HTL/Bauingenieure HTL
Eidg. dipl. Bau- oder Maurermeister
Eidg. dipl. Bauleiter

für die nebenberufliche Wissensvermittlung in den Fächern Bauleitungsorganisation, Baukonstruktionslehre, Baukosten, Baurechtsvorschriften/Rechtskunde, Baustelleneinrichtung, Bauzeitplanung, Rapportwesen, Mathematik, Statik und Festigkeitslehre.

Initiative, ausgewiesene Fachleute, die diese Herausforderung annehmen und junge, aktive Berufsleute in deren beruflichem Weiterkommen unterstützen wollen, werden gebeten, sich mit unserem Herrn H. P. Ruggli in Verbindung zu setzen.

IBZ Schulen für Technik und Informatik Brugg AG
Zentralsekretariat, Wildischachen, 5200 Brugg
Telefon 056/41 46 47, Fax 056/41 48 21



Schaltuhren

(und Stundenzähler)

sind unsere Spezialität

e.o.bär

3000 Bern 13
Postfach 11
Wasserwerkgasse 2
Telefon 031/22 76 11

Zögern Sie nicht!

Näher am Zielpublikum als im Bulletin SEV/VSE können Sie mit Ihrer Anzeige nicht sein.

Wir beraten Sie kompetent.
Tel. 01/207 86 32

Wir entwickeln

individuelle und zuverlässige Steuerungen mit Kompetenz -seit 1965- warum nicht auch

für Sie

Steuerungen

konventionell • speicherprogrammiert

detron ag 4332 Stein

4332 Stein Tel. 064 - 63 16 73