



FREILEITUNGEN

TECHNISCHE FAKTEN

SILCOSIL® SILIKONISOLATOREN

Führende Innovationen in der Silikongummi-Technologie

THE POWER CONNECTION

CABLE SYSTEMS | COMPONENTS | OVERHEAD LINES | RAILWAY CATENARY SYSTEMS

Erste Installation für die Bahn, 1979



Erste Trag- und Abspansisolatoren für 420 kV, 1990

Weltweit erste Isoliertraverse für 420 kV, 1998



Was unterscheidet PFISTERER SEFAG?

PFISTERER SEFAG ist ein im schweizerischen Malters ansässiges Unternehmen und seit mehr als 30 Jahren auf dem Gebiet der Verbundisolatoren tätig. Und dies mit Produkten für die verschiedensten elektrischen Anwendungen, die seit dieser Zeit in der Schweiz und weltweit erfolgreich eingesetzt werden. Seit Beginn der Fertigung von Verbundisolatoren wird Silikongummi als alleiniger Mantelwerkstoff eingesetzt. PFISTERER SEFAG gehört zu den Pionieren bei der Herstellung von Verbundisolatoren, verfügt über langjähriges, umfassendes Know-how auf diesem Gebiet und hat sich als Marktführer positioniert, wenn konventionelle Glas- oder Porzellanisolatoren durch Verbundisolatoren zu substituieren sind. Diese Stellung wurde durch Innovationen in der Technologie der Silikongummiverarbeitung und als ein Ergebnis der langjährigen Prüf- und Betriebserfahrungen der eingesetzten Silikongummis erreicht. Die heute einzigartige Position von PFISTERER SEFAG kann wie folgt charakterisiert werden:

- Mehr als 30 Jahre Erfahrung in der Auslegung und der Herstellung von Silikonverbundisolatoren
- Ausschliesslicher Einsatz von Silikongummi als Mantelwerkstoff
- Verarbeitung aller typischen Arten von Silikongummi, optimiert für den entsprechenden Verwendungszweck
- Applikation der heute typischen Prozesse des Spritzgiessens und des modularen Systems
- Langjährige Mitarbeit in den Arbeitsgruppen der CIGRE und der IEC
- Verfügbarkeit kompletter Isolatorenketten mit kombiniertem Corona- und Lichtbogenschutz, weltweit in der Anwendung erprobt

Die Einführung der Silikongummi-Technologie für Verbundisolatoren war eine visionäre Erweiterung des bestehenden Produktportfolios der PFISTERER SEFAG, das aus Produkten und Komponenten für die Verteilungs- und die Übertragungsnetze besteht – und dies seit über fünfzig Jahren in der Schweiz und seit 1921 am Fertigungsstandort Deutschland als Teil der PFISTERER Gruppe.

Seit der Einführung im Jahr 1975 tragen die Verbundisolatoren der PFISTERER SEFAG den Markennamen SILCOSIL® und sind mittlerweile in einer breiten Anwendungspalette in den Verteilungs- und Übertragungsnetzen eingesetzt. Dazu zählen neben der „klassischen“ Anwendung des Trag- und Abspansisolators auch die Betriebserfahrungen mit Leitungs- und Stationsstützern, Isoliertraversen, Hohlisolatoren und Isolatoren für Bahnanwendungen.

145-kV-Stromwandler, 1998



500-kN-Abspannkette für 420 kV, 2004



3. Generation der Isoliertraverse für 420 kV, 2007

Fakten & Zahlen

- 1957** Gründung der SEFAG AG „Schweizerische Elektrotechnische Fabrik AG“
- 1958** Herstellung von Komponenten für das Produktportfolio von PFISTERER
- 1965** Entwicklung und Herstellung von Komponenten für T&D für den schweizerischen Energiemarkt
- 1975** Entwicklung und Herstellung des ersten Verbundhohlisolators
- 1978** Gemeinsame Entwicklung der ersten Verbundisolatoren für die schweizerische Bahn mit der Firma Dätwyler
- 1979** Erste Installation von Verbundisolatoren für die Schweizer Bahn im Lötschbergtunnel (CH)
- 1981** Gründung der SEFAG EXPORT AG
- 1986** Installation der ersten Verbundisolatoren im schweizerischen Übertragungsnetz
- 1987** Abteilung Freileitungsarmaturen gegründet
- 1988** Einführung des SEFAG-Programms der Freileitungsarmaturen
- 1989** Lieferung von 420-kV-Isolatorenketten und Leitungsdämpfern in den Nahen Osten
- 1990** Lieferung von 420-kV-Verbundisolatoren für die NOK Schweiz
- 1993** Komplettierung des Programms der Freileitungsarmaturen um die Thematik der Leiterseilschwingungen inkl. Dämpfern, Rekordern, Feldmessungen und Analysen
- 1995** Zertifizierung gemäss ISO 9001
- 1997** Lieferung von 525-kV-Isolatorketten und schwingungsdämpfenden Feldabstandhaltern nach Südamerika
- 1998** Auslegung und Lieferung der weltweit ersten 420-kV-Kompaktleitung mit Isoliertraverse aus Verbundisolatoren
- 1999** Start der Produktion von Verbundableitern und Bahnisolatoren in HTV-Silikontechnologie
- 2000** Gründung der SEFAG IXOSIL AG – vormals Teil der Dätwyler AG
- 2000** Erweiterung der LSR-Fertigung und HV-Testlaboreinrichtung
- 2003** Integration der Firma Hardware Assemblies (RSA) in die PFISTERER SEFAG GRUPPE [PFISTERER (Pty) Ltd.]
- 2004** Erweiterung der Zertifizierung gemäss ISO 9001:2000
- 2005** Abmessungen für Hohlisolatoren bis 600 mm Durchmesser verfügbar
- 2006** Einführung der neuen Gruppenstruktur/Namensänderung in PFISTERER SEFAG
- 2006** Fertigstellung der neuen Produktionshalle
- 2007** 3. Generation der Kompaktleitung für DEWA's 420-kV-Leitung mit Durchleitungsrestriktionen in Dubai eingeführt
- 2008** Lieferung spezieller Verbundisolatoren für das 800-kV-DC-Projekt Yunnan-Guangdong (China)

Vorwort

Die folgenden Beschreibungen vermitteln einen Überblick zu dem Produkt Verbundisolator SILCOSIL® der PFISTERER SEFAG. Detaillierte Darstellungen erklären die Auswahl der Materialien für ein beständiges und zuverlässiges Verhalten im Netz.

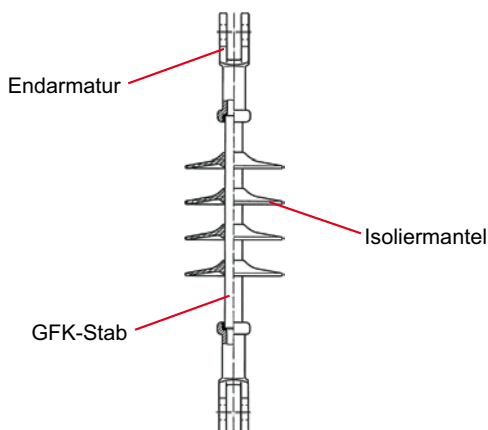


Abb. 1: Aufbau eines Verbundisolators

Verbundisolatoren wurden in den späten Sechzigerjahren eingeführt. Die Grundidee besteht in der Kombination unterschiedlicher Materialien, die gemäss ihrer Festigkeit und ihrem Eigenschaftsbild die verschiedenen Aufgaben in der Isolatorfunktion erfüllen (Abb. 1).

Die Endarmaturen werden im Allgemeinen aus Metall, wie z. B. Stahl oder Aluminium, gefertigt. Ein hoher Standardisierungsgrad wurde für die Endarmaturen von Leitungsisolatoren erreicht, um eine einfache Substitution bestehender konventioneller Isolatoren durch Lösungen mit Verbundisolatoren zu gewährleisten.

Der glasfaserverstärkte Kunststoffstab (GFK-Stab) nimmt die mechanischen Belastungen auf. Diese können, je nach Anwendung und Belastungssituation, als Zug-, Biege- oder Druckkräfte auftreten oder sich aus einer Kombination dieser Kräfte zusammensetzen.

Die Materialien für den Isoliermantel sind so vielfältig wie die entsprechenden Fertigungsverfahren. Die vorliegende Betriebserfahrung hat aber gezeigt, dass bestimmte Materialien ein optimales Verhalten zeigen – diesbezügliche Details werden an späterer Stelle erörtert.

Endarmaturen

Typische Formen von Endarmaturen werden in Abb. 2 gezeigt. Die Dimensionen entsprechen IEC 60120, IEC 60471 oder IEC 61466 sowie den äquivalenten ANSI Standards.

Für das Verteilungsnetz, typischerweise durch Kräfte bis 70 kN charakterisiert, können Endarmaturen aus Stahlguss verwendet werden.

Für Kraftklassen > 70 kN werden Endarmaturen aus geschmiedetem Stahl eingesetzt.

In speziellen Anwendungen, wie zum Beispiel für Fahrdrahtisolatoren der Bahn, wird oft hochfestes Kokillengussaluminium eingesetzt.

Die Stahl-Endarmaturen sind feuerverzinkt. Die Dicke der Zinkschicht wird gemäss den Empfehlungen der IEC 60383 eingestellt. Grössere Schichtdicken, z. B. für stark korrosive Einsatzbedingungen oder Gleichstromanwendungen, können auf Anfrage geliefert werden.



Abb. 2: Typische Formen von Endarmaturen

Detaillierte Angaben über die Abmessungen für die korrespondierenden Kraftklassen sind im separaten Isolatorenkatalog aufgeführt.

Stab



Abb. 3: Beispiele für Stabdimmensionen

Der GFK-Stab ist eine wichtige Komponente des Verbundisolators. Der Stab wird üblicherweise in einem kontinuierlichen Pultrusionsverfahren hergestellt. Je nach Anwendung oder Belastung kommen unterschiedliche Durchmesser zum Einsatz (Abb. 3).

Der Fasergehalt bestimmt die intrinsische Zug- und Biegefestigkeit der Stäbe.

Die Schlichte der Glasfasern ist für die Haftung zur Harzmatrix essenziell. Die Harzmatrix muss für elektrische Anwendungen formuliert sein, um eine geringe Feuchtigkeitsaufnahme und vernachlässigbare Veränderungen der elektrischen und mechanischen Eigenschaften im Betrieb zu garantieren. Die Bruchdehnung des Harzes ist auf die Bruchdehnung der Glasfasern abzustimmen. Heute kommen typischerweise Epoxidharze zum Einsatz.

Füllstoffe werden aus verschiedenen Gründen der Harzmatrix beigefügt. Im Ergebnis dessen kann der Stab ein transparentes oder opakes Aussehen aufweisen. Wenn die Rohmaterialien sorgfältig kontrolliert und die Prozessparameter genau gewählt werden sowie statistisch bestimmte Routinekontrollen zur Anwendung kommen, gewährleisten beide Stabtypen ein ausgezeichnetes und zuverlässiges Betriebsverhalten.

Stab für zugbeanspruchte Anwendungen

Die Wahl der Glasfaser bestimmt die Anfälligkeit des Stabes für elektrolytische Spannungskorrosion (Spröbruch). Dieses Phänomen ist durch einen zerstörenden Säureangriff auf die Glasfasern gekennzeichnet, gefolgt von einem mechanischen Versagen des Isolators, wenn die verbleibenden Fasern die Betriebslast nicht mehr tragen können.

Neuere Untersuchungen in CIGRE und in IEEE sowie die Betriebserfahrungen haben gezeigt, dass die Wahrscheinlichkeit eines Spröbruchs bedeutend gesenkt werden kann, wenn spezielle Glasfasern (mit niedrigem Borgehalt bzw. Bor-frei, sogenanntes E-CR-Glas) für die GFK-Stäbe zur Anwendung kommen (Abb. 4). PFISTERER SEFAG setzt solche Spröbruch-resistenten Stäbe seit vielen Jahren ein.

Richtlinien für den Aufbau und die Prüfung von Verbundisolatoren für Trag- und Abspannanwendungen sind definiert in:

- IEC 61109 (Verbund-Langstabisolatoren)

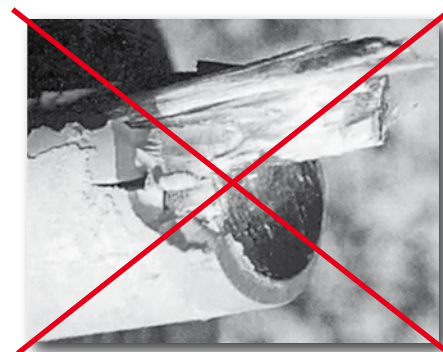


Abb. 4: Kein Spröbruch bei Verwendung von E-CR-Glas

Stab für biegebeanspruchte Anwendungen

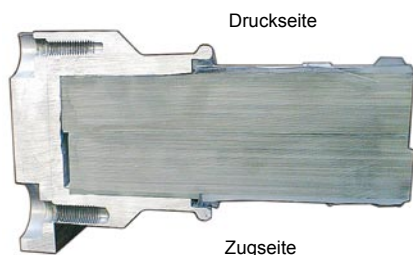


Abb. 5: Querschnitt durch einen Leitungsstützer nach Ausfall im „Safe-Failure Mode“

Die Stabdurchmesser werden unter Berücksichtigung der Betriebslast wie auch der Umbruchkraft und der zulässigen Auslenkung bei Betriebslast gewählt.

Als ein Vorteil von Verbundstützisolatoren hat sich der sogenannte „Safe-Failure Mode“ bei Überschreiten der maximalen Biegebeanspruchung herausgestellt. Dies bedeutet, dass ein Verbundstützisolator sachgerechten Designs nicht durch einen vollständigen Bruch ausfällt, sondern nur das Schadensbild eines interlaminaren Scherbruchs in der Neutralzone der Biegung aufweist (Abb. 5).

Dieser „Safe-Failure Mode“ hat die folgenden Vorteile, wert- und verhaltenssteigernd gegenüber Porzellanstützern:

- Kein Bruch, verbunden mit einem unmittelbar folgenden Leiterabwurf
- Einfache Identifizierung durch überproportionale Auslenkung
- Hohe Restfestigkeit des überbeanspruchten Stützers

Richtlinien für den Aufbau und die Prüfung von Verbundisolatoren für Stützeranwendungen sind definiert in:

- IEC 61952 (Leitungsstützer)
- IEC 62231 (Stationsstützer)

Isoliermantel

Die elektrische Aufgabe eines Isolators besteht in der Isolation zwischen Leiter-Erde oder Leiter-Leiter gegen einen Überschlag. Vereinfacht dargestellt, kann ein Überschlag durch Überspannung oder Fremdschichten verursacht werden.

Seit der Einführung von Kunststoffisolatoren wurden zahlreiche unterschiedliche Materialien hinsichtlich ihres Verhaltens unter Freiluftbedingungen ausprobiert und geprüft. Die Erfahrung hat gezeigt, dass es eine enge Wechselwirkung zwischen den reinen Materialeigenschaften und dem Gesamtaufbau des Isolators gibt.

Eine Studie der CIGRE Arbeitsgruppe B2.03 aus dem Jahr 2000 kam zu der Erkenntnis, dass die Mehrzahl der Anwendungen mit Verbundisolatoren Silikongummi ■ als Mantelwerkstoff verwenden (Abb. 6). EPDM □ und andere Materialien ■ spielen nur eine untergeordnete Rolle.

Während die Schlagweite des Isolators das Verhalten bei Überspannung bestimmt, sind die (Schirm-)Geometrie und das Benetzungsverhalten des Isoliermantels die entscheidenden Faktoren für das Verhalten bei Fremdschichtbelastung.

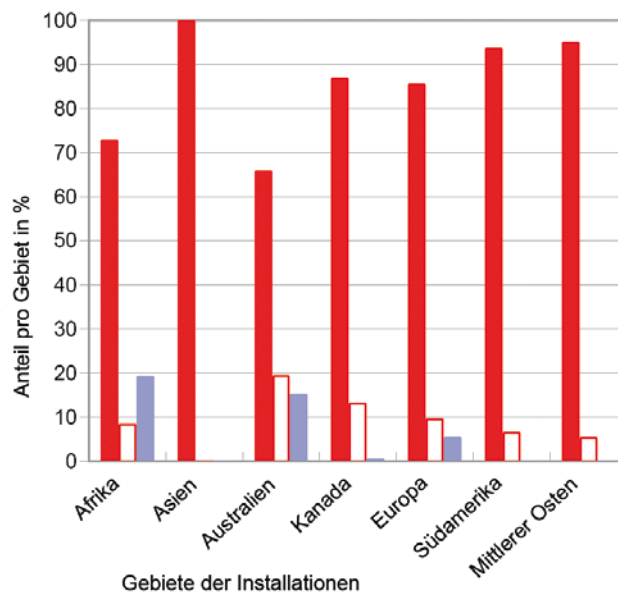


Abb. 6: Verwendung von Mantelwerkstoffen für Isolatoren > 100 kV

Hydrophobie als Schlüsseleigenschaft

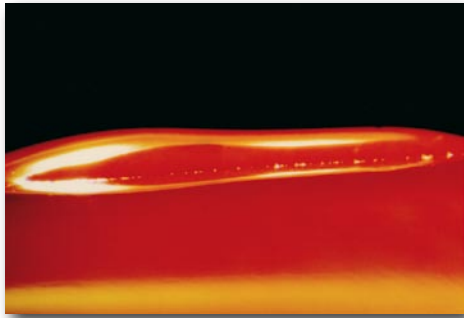


Abb. 7: Hydrophiles Oberflächenverhalten

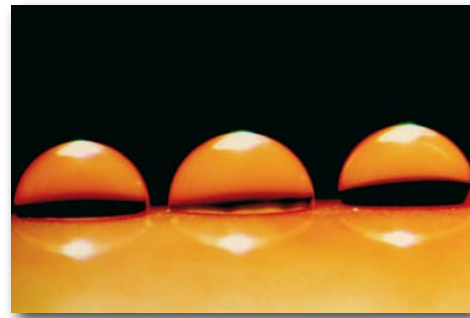


Abb. 8: Hydrophobes Oberflächenverhalten

Im Allgemeinen sind bei zugbeanspruchten Verbundisolatoren für Freileitungen die mittleren Durchmesser kleiner als bei Porzellan- oder Glasisolatoren. Dieser Geometrieunterschied und eine vorzugsweise nicht benetzende Oberfläche (Hydrophobie) führen zu einem zuverlässigeren Betriebsverhalten bei Verschmutzung im Vergleich zu konventionellen Isolatoren. Unter Benetzbarkeit wird das Spreitungsverhalten von Wasser verstanden; die beiden Extrema sind ein hydrophiles (Abb. 7) und ein hydrophobes Verhalten (Abb. 8).

Die Freiluft erfahrung hat über viele Jahre gezeigt, dass die Eigenschaft der Hydrophobie ganz entscheidend für einen zuverlässigen Betrieb unter Verschmutzungsbedingungen ist, und dies auch ohne zusätzliche Wartungsmassnahmen an Isolatoren durchführen zu müssen, wie das Reinigen oder die Oberflächenbehandlung mit Fetten.

Oberbegriff des Mantelwerkstoffs	hydrophobes Oberflächenverhalten			hydrophiles Oberflächenverhalten		
	neu	gealtert	verschmutzt	neu	gealtert	verschmutzt
Silikon Gummi	ja	ja, nach Recovery*	ja, nach Transfer**	nein	nein, nur temporär	nein, nur temporär
Andere polymere Materialien	ja	nein	nein	nein	ja	ja
Glas/Porzellan	nein	nein	nein	ja	ja	ja

* Recovery ist ein umfassend dokumentierter Prozess von Silikon Gummi und bedeutet, dass sich die wasserabweisenden Eigenschaften hauptsächlich durch Neuausrichtung der Methylgruppen an der Oberfläche des Materials wieder einstellen.

** Transfer ist die Diffusion von niedermolekularen Kettenmolekülen aus dem Silikon Gummi in die Fremdschicht auf der Isolatoroberfläche. In genügender Menge mit diesen Kettenmolekülen angereichert, wird die Fremdschicht wasserabweisend und verhält sich im Idealfall wie ein Isolator ohne Verschmutzung.

Tabelle 1: Oberflächenverhalten versus Material

Weitere Eigenschaften für die Freiluftbeständigkeit



Abb. 9: Erosionsverhalten von nicht gefülltem (obere Reihe) und optimiert angereichertem Silikongummi (untere Reihe)

Für das Isolierverhalten von Verbundisolatoren ist die Hydrophobie die wichtigste wertsteigernde Eigenschaft. Die dynamischen Prozesse des temporären Hydrophobieverlustes, des folgenden Recovery bzw. Transfers und die nachweisbare Abhängigkeit dieser Prozesse von der Materialformulierung (Rezeptur, Füllstoff und Zusätze) sowie von der Verarbeitungstechnologie sind investigative Themen einer kontinuierlichen Optimierung.

So werden beispielsweise in der CIGRE-Arbeitsgruppe D1.14 wissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt, deren Ziel in der Definition eines Prüfverfahrens zur quantitativen Beschreibung des Hydrophobietransfers in eine definierte Fremdschicht besteht.



Abb. 10.1: Hydrophobe Wirkung einer Silikonoberfläche ohne Verschmutzung

Im Falle eines Hydrophobieverlustes muss ein zweiter „Schutzmechanismus“ des Materials den Isolator gegen eine intensive Alterung (grabende Erosion, Tracking) schützen. Dieser Schutzmechanismus wird vorzugsweise mit Prüfungen nachgewiesen, die das Erosions- und Trackingverhalten bewerten (z. B. IEC 60587) (Abb. 9).

Es ist umfassend dokumentiert, dass mit Aluminium-Trihydrat angereicherte, Hochtemperatur-vulkanisierende (HTV) Silikongummiarten die nicht angereicherten niedrigviskosen Silikongummiarten wie Raumtemperatur-vernetzende (RTV) oder Flüssig-Silikone (LSR) im Erosions- und Trackingverhalten signifikant übertreffen.



Während bei den ersten Silikongummiformulierungen die Füllstoffmenge einen diametralen Einfluss auf die Dynamik der Hydrophobie haben konnte, kombinieren die heute verfügbaren HTV-Materialien in idealer Weise eine hervorragende Erosions- und Trackingbeständigkeit mit dynamischem Hydrophobieverhalten – schnelles Recovery und kurze Transferzeiten (Abb. 10.1 und 10.2).



Abb. 10.2: Hydrophobe Wirkung einer Silikonoberfläche mit Industrierverschmutzung

Die Entwicklung der Verbundisolator-Technologie begann bei PFISTERER SEFAG mit dem Bedarf der schweizerischen Bahn für Isolieranwendungen unter starken Verschmutzungsbedingungen. Dies ist einer der Gründe, warum Silikongummi als Mantelwerkstoff eingeführt wurde und dann als logische Konsequenz aus den ersten positiven Betriebserfahrungen die Materialeigenschaften und die Fertigungstechnologie kontinuierlich weiterentwickelt wurden. Innovationen erfolgten unter Berücksichtigung des technischen Fortschritts und des Feedbacks von Anwendern dieser relativ jungen Produktfamilie.

Heutzutage werden rund 95 % der Isolatoren in HTV-Technologie hergestellt. Entscheidend für diese Präferenz ist die signifikant höhere Alterungsbeständigkeit des HTV-Silikongummis. Ein qualitativer Vergleich der drei verwendeten Silikongummiarten wird in Tabelle 2 gezeigt.

Eigenschaft	HTV* Silikongummi	RTV/LSR** Silikongummi
Viskosität	 30...45 Mooney (standfest)	 30,000...150,000 mPa
Alterungsbeständigkeit		
Tracking/Erosion	hoch	durchschnittlich
UV-Beständigkeit	hoch	hoch
Entflammbarkeit***	hoch	hoch
Hydrophobie		
Recovery	schnell	schnell
Transfer	schnell	schnell

* HTV = High Temperature Vulcanizing (Hochtemperatur-vernetzend)

** RTV = Room Temperature Vulcanizing (Raumtemperatur-vernetzend), LSR = Liquid Silicone Rubber (Flüssigsilikongummi)

*** Materialeigenschaft, wichtig z. B. für das Verhalten bei einem Leistungslichtbogen und in Brandsituationen

Tabelle 2: Vergleich von Eigenschaften unterschiedlicher Silikongummiarten

Vorwort

Im Folgenden werden die Fertigungsprozesse und die zugehörigen Qualitätskontrollen für Verbundisolatoren der PFISTERER SEFAG vorgestellt. Die Darstellung erfolgt logisch aufgeteilt nach den Komponenten eines Verbundisolators und den angewandten Fertigungsprozessen.

Endarmatur

Komponente



Abb. 11: Typischer Lieferumfang von Endarmaturen

Die Endarmaturen werden typischerweise in grossen Stückzahlen geliefert. Daher werden statistische Methoden benutzt, um die Qualität an einer die Lieferung repräsentierenden Anzahl von Prüflingen zu bewerten (Abb. 11).

Die folgenden Eigenschaften gilt es zu prüfen:

- Anzahl
- Abmessungen
- Materialzusammensetzung
- Härte
- Dicke der Verzinkung
- Innenfläche der Bohrung

Stab

Komponente

Die Stäbe werden im kontinuierlichen Pultrusionsverfahren hergestellt (Abb. 12). Dieses Verfahren hat mit der Entwicklung der Verbundisolator-Technologie einen hohen Reifegrad erreicht und bietet heute, neben einer hohen Produktivität, eine Produktqualität, die für anspruchsvolle elektrische Isolierungen notwendig ist.

Automatisierte Dosiersysteme für die Harzkomponenten und die strikte Temperaturkontrolle für die Polymerisation garantieren eine dauerhafte Reproduzierbarkeit der Stabeigenschaften.

Eine grosse Auswahl von Durchmesser ist erhältlich, gemäss dem Anforderungsprofil der Anwendung.

Typische Stabdurchmesser für Langstabisolatoren liegen in einem Bereich von 14 bis 38 mm und von 38 bis 90 mm für Stützisolatoren.

Jede Stabcharge wird geprüft und Stichproben nach definierten Plänen dafür entnommen. Typische zu prüfende Eigenschaften sind:

- Anzahl
- Abmessungen
- TG* Messung
- Glasgehalt
- Kapillartest (Abb. 13)

* Glasübergangstemperatur

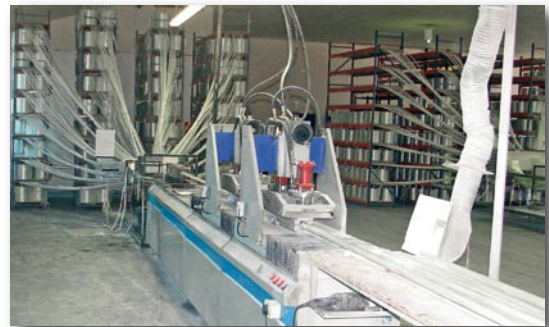


Abb. 12: Moderne Pultrusionsmaschine



Abb. 13: Qualitätskontrolle der Stäbe

Silikongummi

Komponente

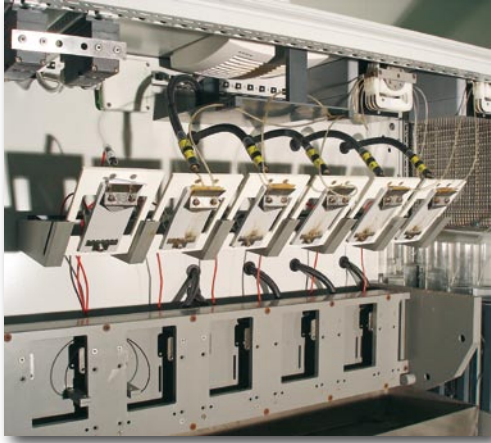


Abb. 14: Prüfung von Silikongummi

Silikongummi ist die Komponente mit einem definierten Zeitfenster für die optimale Verarbeitung. Aus diesem Grund wird das Prinzip des „first-in-first-out“ strikt angewendet.

Die Eigenschaften jeder Liefercharge werden in einem Materialzertifikat beschrieben. Diese physikalischen Daten werden an unvulkanisiertem Silikongummi gemessen.

Die Erosionsbeständigkeit und Hydrophobie sind aber Eigenschaften, die am vulkanisierten Silikongummi zu bewerten sind. Daher werden Prüfmuster von jeder Liefercharge vulkanisiert und die Erosionsbeständigkeit und Hydrophobie jeweils mit einem automatisierten Verfahren geprüft. Das Prüfsystem für diese Eingangsprüfung wurde aus den aktuellen wissenschaftlichen Aktivitäten der CIGRE-Arbeitsgruppe D1.14 abgeleitet (Abb. 14).

Krimpen

Prozess

Stand der Technik sind geregelte Krimpmaschinen mit acht Pressbacken (Abb.15). Die von PFISTERER SEFAG benutzten Krimpmaschinen haben zwei unabhängig voneinander funktionierende, integrierte Kontrollmechanismen:

- Pressdruck
- Bewegungsdistanz der Pressbacken

Für jede Metallsorte (Stahl, Aluminium usw.) und jede Kombination von Endarmatur und Stabdurchmesser kommt ein empirisch ermitteltes Parameterfeld von Krimpparametern zur Anwendung. Neue Maschinen werden umfassend kalibriert, um die Verwendbarkeit und Einhaltung der über lange Jahre eingeführten und bewährten Krimpparameter zu garantieren.

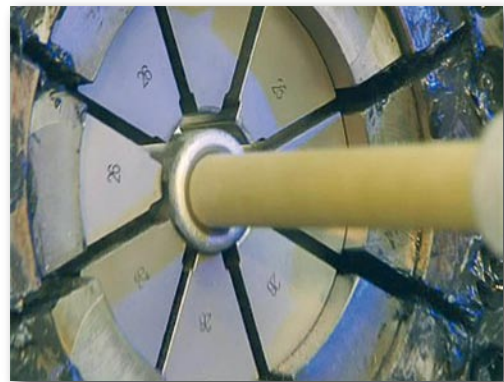


Abb. 15: Sicht auf die Krimpbacken

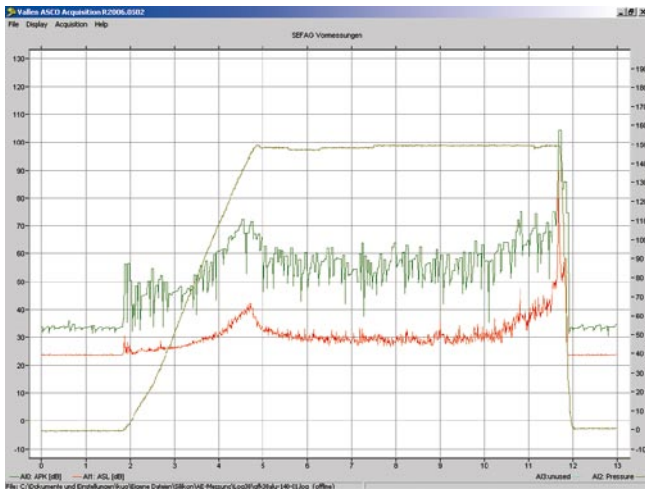


Abb. 16: Bildschirmaufnahme einer Überkrimp-Situation

Das korrekte Krimpen der Endarmatur auf den Stab ist entscheidend für das zuverlässige Langzeitverhalten des Isolators im Betrieb. Die verschiedenen Krimpszenarien, simuliert für identische Stab- und Endarmaturenabmessungen, führen zu unterschiedlichen Fehlermodi (Abb. 17). Es wurde in umfassenden Prüfungen nachgewiesen, dass eine Auslegung der Krimpung auf den Fehlermodus „Ausziehen“ die höchsten Werte bei geringster Streuung der Messwerte liefert. Aus diesem Grund verfolgt PFISTERER SEFAG die Auslegungsphilosophie des „Ausziehens“ sowie die interne Designregel, dass die mittlere Auszugskraft um ca. 20 % über der Nennkraft (SML) liegen soll.

Kommt es im Zugversuch zu einem Aufspalten, liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Kerbwirkung vor, die auf die Deformation im Krimpprozess oder auf die unausgewogene Auslegung der Endarmatur zurückzuführen ist. Ein Fehler durch Bruch ist ein eindeutiger Hinweis auf ein Überkrimpen. Dieser Fehlermode kann zweifelsfrei durch Messung der Schallemission festgestellt werden.

Zusätzlich zu den beiden unabhängigen, integrierten Kontrollmechanismen wird die Schallemissionsanalyse zur Diagnose der Krimpqualität eingesetzt. Dieses autarke System wurde empirisch entwickelt: In statistisch relevantem Umfang wurde die Schallemission der verschiedensten Krimpszenarien (Unterpressung, optimale Pressung, Überpressung) aufgenommen und die entsprechenden Grenzwerte mit Sicherheitsmargen für die jeweiligen Material- und Geometrie-kombinationen bestimmt.

Zur Vereinfachung des Produktionsablaufs werden die Daten der Schallemissionsanalyse digital gespeichert, und der Bediener erhält über einen visuellen Indikator die Information über einen konformen (grün) oder nicht konformen (rot) Krimpvorgang (Abb. 16).

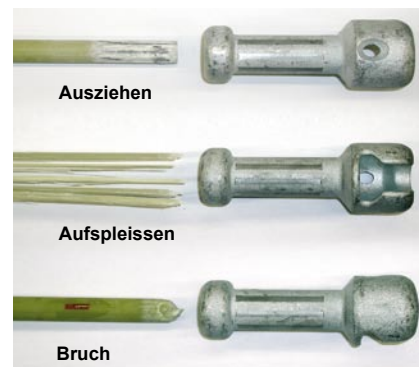


Abb. 17: Fehlermodi der Krimpung

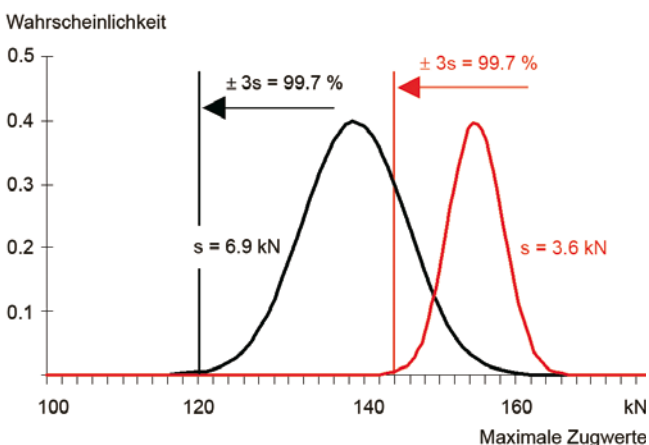


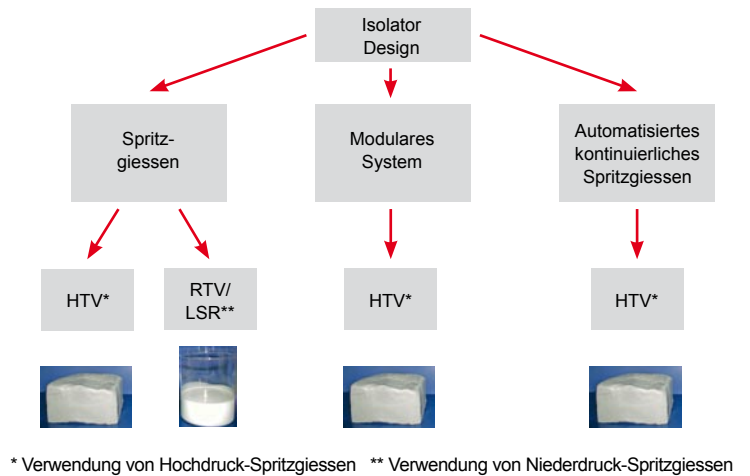
Abb. 18: Verbesserung durch optimierte Krimpparameter

Die Messung der Bruch- bzw. Versagenswerte ist immer ein statistischer Prozess mit einer gewissen Streuung der Einzelrealisierungen. Aus diesem Grund ist die Verwendung mathematischer Modelle für die Trendanalyse geeignet. Mittels einer Gauss'schen Funktion (Normalverteilungsfunktion) kann der Unterschied zwischen den maximalen Zugwerten und deren Streuung für die verschiedenen Krimpszenarien quantifiziert werden (Abb. 18). Ein Vergleich für identische Abmessungen aber mit nicht optimierten (schwarz) und optimierten Parametern (rot) zeigt höhere Werte und eine geringere Streuung für die optimierte Version. Es konnte auch nachgewiesen werden, dass die höheren Werte des optimierten Krimpprozesses zu keiner Reduktion des Stehverhaltens im Last-Zeit-Versuch (96-h-Prüfphilosophie in IEC 61109) führen.

Silikongummi

Prozess

Aufgrund der langjährigen Erfahrung in der Silikongummi-Verarbeitung für elektrische Isolieranwendungen hat PFISTERER SEFAG eine Anzahl von Verarbeitungstechnologien eingeführt und weiterentwickelt, um den Marktanforderungen für Spezialitäten kleinerer Stückzahl und Grossprojekte mit Standardausführungen nachzukommen. Die Prozesse und die verwendeten Silikongummiarten können wie in Abb. 19 unterschieden werden. Die Optimierung der Materialeigenschaften und der zugehörigen Parameter für die Verarbeitung wird unter sorgfältiger Analyse der Betriebserfahrungen in den Freileitungen und den Stationen vorgenommen. Die Ergebnisse der Analyse zeigen eindeutig, dass der Mantelwerkstoff HTV-Silikongummi zu bevorzugen ist.



* Verwendung von Hochdruck-Spritzgiessen ** Verwendung von Niederdruck-Spritzgiessen

Abb. 19: Verwendete Silikongummi-Verarbeitung bei PFISTERER SEFAG

Spritzgiessen

Prozess

Die hohe Viskosität des vorzugsweise einzusetzenden HTV-Silikongummi verlangt vergleichsweise hohe Drücke für das Spritzgiessen. Der übliche Druckbereich liegt bei 1,500 bar und darüber. Der Prozess des Spritzgiessens ermöglicht eine effiziente Produktion für grosse Stückzahlen. Das Verfahren ist wegen des simultanen Auftretens von hoher Temperatur und hohem Druck verfahrenstechnisch und formtechnologisch sehr anspruchsvoll. Das Giessen kann in einem oder mehreren Schritten erfolgen (Abb. 20); mehrere Schritte bieten wahlweise die Option eines Versetzens der Giessnaht entlang der Isolatorachse.

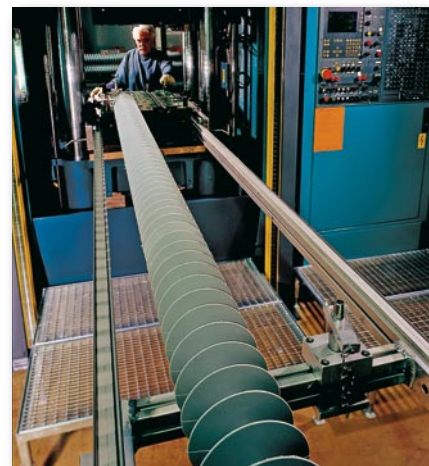


Abb. 20: Multiples Hochdruck-Spritzgiessen

Die vergleichsweise niedrige Viskosität des RTV/LSR-Silikongummi bedarf eines bedeutend geringeren Einspritzdrucks im Vergleich zum HTV. Für einfache Teile ist das „Gravitations-Giessen“ möglich (Abb. 21). Aufgrund der geringeren

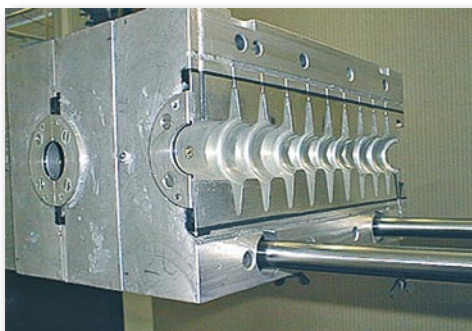


Abb. 21: Modellform für Niederdruck-Spritzgiessen

Prozessanforderungen benutzt PFISTERER SEFAG RTV/LSR-Systeme als zeiteffizienten Kompromiss insbesondere für Prototypenherstellung oder für spezielle Anwendungen, die ein weiches Silikongummi-Verhalten verlangen. Bei RTV/LSR-Systemen ergibt sich die ungünstige Konstellation, dass ein niedrig gefüllter Silikongummi mit vergleichsweise niedriger Erosionsbeständigkeit fertigungsbedingte Giessnähte aufweist. Daher empfiehlt PFISTERER SEFAG, auch aus der gewonnenen Erfahrung, diese Silikongummiarten nicht für höhere Spannungsebenen und kritische Verschmutzungsbedingungen einzusetzen. Mit zunehmender Spannungsebene wird die Spannungsverteilung entlang dem Verbundisolator ungleichmässiger, und die Wahrscheinlichkeit für örtlich und zeitlich stabilisierte Teilentladungen im kritischen mA-Bereich steigt. Dies kann eine erhöhte Erosionsfestigkeit des Mantelwerkstoffs erfordern, die mit RTV/LSR-Arten nicht, sondern nur mit HTV-Arten erfüllbar ist.

Modulares System

Prozess

Das modulare System wurde in den frühen Sechzigerjahren entwickelt und gilt als ausgereiftes Verfahren. Es kombiniert die Vorteile der HTV-Silikon-gummi-Technologie mit der hohen Flexibilität der einfachen Adaption an spezifische Isolator-dimensionen (besonders das Verhältnis zwischen Kriechweg und Schlagweite – Abb. 22). Aufgrund mehrerer Teilfertigungsprozesse für die „Module“ ist dieser Prozess – trotz eines hohen Automatisierungsgrades der Produktion für die einzelnen Prozesse (Abb. 23) – kostenintensiver als das Spritzgiessen.

Heute stellt das modulare System eine hervorragende Ergänzung zur Produktion von Standardisolatoren dar und dient u. a. als bevorzugte und bewährte alternative Methode für Gleichspannungsanwendungen, die einen langen Kriechweg benötigen. Ausserdem wird dieser Prozess meist für Spezialitäten und Kleinserien eingesetzt, die Investitionen in projektspezifische Werkzeuge ökonomisch nicht rechtfertigen. Anwendungen, die das sogenannte Unterrippenschirmprofil erfordern, sind mit dem modularen System auch einfach realisierbar.

PFISTERER SEFAG benutzt dieses Verfahren für alle gängigen Isolatoranwendungen:

- Trag- und Abspannisolatoren
- Stützisolatoren
- Hohlisolatoren

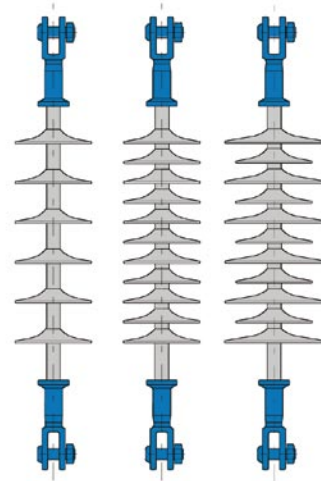


Abb. 22: Der Vorteil des „Modularen“



Abb. 23: Beschirmungsautomat

ACIM

Prozess



Abb. 24: ACIM-Produktionslinie

Das automatisierte kontinuierliche Spritzgiessen (Automated Continuous Injection Moulding – ACIM) ist ein hochentwickeltes Verfahren zur Herstellung von Silikon-gummi-Isolatoren. Dieses Verfahren (Abb. 24) ist ein weiterer Meilenstein in den Pionierleistungen der PFISTERER SEFAG auf diesem Gebiet, der die umfassenden Erfahrungen im multiplen Hochdruckspritzverfahren mit der hervorragenden Betriebs-erfahrung der HTV-Silikonfamilie vereint. Als zusätzlicher Nutzen für den Anwender ist die Geometrie des Isolators praktisch nicht beschränkt. Ein besonderes Merkmal dieses Verfahrens ist das mögliche Drehen des Isolators für einen Versatz der Giessnähte. Dieser Versatz erhöht die Zuverlässigkeit unter erhöhten Verschmutzungsbedingungen erheblich. Die innovativen Fertigungsstrassen wurden auch unter Berücksichtigung von speziellen Anforderungen wie hohem Kriechwegbedarf, Isolatoren für Kompaktleitungen und Isolatoren für DC-Anwendungen konzipiert.

Aus technischer Sicht vereint das ACIM die folgenden Eigenschaften:

- Hohe Flexibilität bei hohem Automatisierungsgrad
- Bewährte und ausgeprägte Fertigungstechnologie
- Verarbeitung von HTV-Silikon-gummi mit weltweit erstklassiger Freiluft-erfahrung

Die Kombination dieser Eigenschaften bedeutet für den Anwender: kein technischer Kompromiss in der Zuverlässigkeit mit dem Vorteil der geringeren Produktionskosten einer Serienfertigung.

Abdichten

Prozess

Das „Abdichten“ ist das Versiegeln der Übergangsstelle zwischen dem Stab, der Endarmatur und dem Silikongummimantel, um dieses Interface vor Umwelteinflüssen zu schützen. Das Abdichten ist ein essenzieller Prozess für die Zuverlässigkeit des Verbundisolators, da der zu versiegelnde Bereich auch den sogenannten „Triple Point“ einschliesst. Der „Triple Point“ ist bekanntlich die Stelle der höchsten Feldstärke entlang einem Isolator.

Es kommen zwei Methoden zum Abdichten zur Anwendung:

- Direktes Abdichten mit dem aufgespritzten Silikongummimantel, auch „Overmoulding“ genannt (Abb. 25).
- Abdichten nach dem Krimpen unter Verwendung eines speziellen, dauerhaft elastischen Silikongummis, auch „Casting“ genannt (Abb. 26).



Abb. 25: „Overmoulding“ wird bei PFISTERER SEFAG eingesetzt



Abb. 26: „Casting“ wird bei PFISTERER SEFAG eingesetzt

PFISTERER SEFAG verwendet beide Methoden des Abdichtens seit Jahrzehnten. Das ist eine logische Konsequenz aus der Nutzung der verschiedenen Prozesse der Silikongummiverarbeitung zur Herstellung des Isoliermantels.

Das Verhalten der Verbundisolatoren im Betrieb und das Feedback von den Anwendern haben deutlich gezeigt, dass beide Methoden des Abdichtens bei sachgemässer Konstruktion und hochwertiger Verarbeitung unter Freiluftbedingungen gleichwertig sind. Das „Overmoulding“ ist die anspruchsvollere Methode, weil die Haftung zur metallischen Endarmatur zu gewährleisten ist. Das ist während der Fertigung zusätzlich zu kontrollieren.

Mit dem „Overmoulding“ kann in gewissem Rahmen eine Feldsteuerung erzielt werden (Abb. 27). Für Spannungen höher als 200 kV oder unter kritischen Freiluftbedingungen über 145 kV werden jedoch Koronaringe oder kombinierte Korona-/Lichtbogenschutzarmaturen eingesetzt, die dann die Feldsteuerung primär übernehmen.

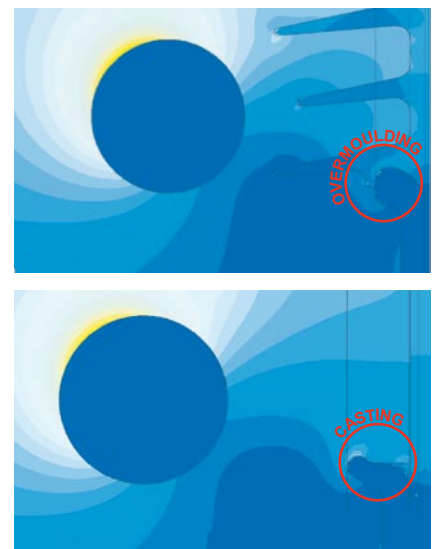


Abb. 27: FEM-Simulation von „Overmoulding“ und „Casting“

Prüfen

Prozess



Abb. 28: Zugprüfmaschine

Die anwendbaren Produktstandards wie z.B. IEC 61109 verlangen Stichproben- und Routineprüfungen für die Fertigungslose.

Für die Stichprobenprüfung ist der folgende Stichprobenumfang gemäss Standard vorgegeben (Tabelle 3):

Losgrösse N	Stichprobenumfang
≤ 300	nach Vereinbarung
$300 < N \leq 2,000$	4
$2,000 < N \leq 5,000$	8
$5,000 < N \leq 10,000$	12

Tabelle 3: Probenumfang gemäss IEC 61109

Für die Routineprüfung hat sich ein typischer Bereich von 50 – 80 % der SML etabliert.

Für die Zugprüfung verwendet PFISTERER SEFAG voll-automatisierte Maschinen (Abb. 28), die Ergebnisse werden digital aufgezeichnet und zehn Jahre aufbewahrt.

Zusätzlich zu den üblichen Prüfanforderungen werden die folgenden Tests gemäss strengen internen Qualitätsrichtlinien durchgeführt:

- Prüfung der maximalen Zugkraft (zerstörende Prüfung) im Fall von Chargenwechseln bei Stäben bzw. Endarmaturen
- Prüfung der Haftung (Abb. 29)
- Prüfung von Interfacebereichen mittels Kochprüfung
- Visuelles Prüfen der Hydrophobie

Diese zusätzlichen Routineprüfungen garantieren den Anspruch an die Produktqualität auch für grosse Serien.



Abb. 29: Prüfung der Haftung

In speziellen Fällen, z. B. bei Produkten für das „Arbeiten unter Spannung“ wird ein elektrischer Routinetest verlangt.

Typischerweise wird dieser Test bei Leiter-Erde-Spannung oder erhöhter Leiter-Erde-Spannung durchgeführt. Ziel dieser Prüfung ist es, versteckte, elektrisch relevante Fehler auszuschliessen.

Diese zusätzliche Prüfung kann im Bedarfsfall im HV-Labor von PFISTERER durchgeführt werden (Abb. 30).

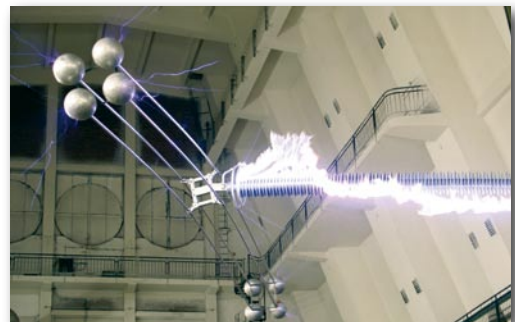


Abb. 30: HV Routine-Prüfung als Sonderprüfung

Vorwort

Die folgenden Empfehlungen für die Handhabung von Verbundisolatoren wurden unter Berücksichtigung der Arbeit der CIGRE-Arbeitsgruppe B2.03 und der publizierten Technischen Broschüre 184 zusammengestellt. Die Empfehlungen sind in Handhabung und Reinigung unterteilt.

Handhabung

Trotz aller Vorteile sind Verbundisolatoren nicht unzerstörbar. Auf dem Weg vom Hersteller zur endgültigen Position am Mast durchlaufen die Isolatoren verschiedene Phasen: Wareneingang und Lagerung, Transport, Handhabung vor Ort, Installation auf dem Mast und den Leiterzug. Während all dieser Phasen ist eine gewisse Sorgfalt anzuwenden.

Beschädigung oder Penetrieren des Isoliermantels würde den Kriechweg reduzieren oder den Stab freilegen. Beides kann das Isoliervermögen oder die Lebensdauer des Isolators verringern. Solche Defekte können dann entstehen, wenn Messer benutzt werden, um Isolatoren auszupacken (Abb. 31), oder wenn Nägel der Holzverpackung herausstehen.

Isolatoren sollen in der Originalverpackung mit verschlossenem Deckel transportiert werden. Wenn die Isolatoren aus der Verpackung genommen werden, dürfen sie nie lose transportiert oder anderes Material darauf gelegt werden (Abb. 32).

Die unidirektionale Glasfaserverstärkung im Stab bietet eine hervorragende axiale Zugfestigkeit, aber nur eine geringe Biege- und Torsionsfestigkeit. Aus diesem Grund dürfen (Langstab-)Verbundisolatoren keiner Torsions- oder Biegebeanspruchung ausgesetzt werden (Abb. 33).

Klettern an und Sitzen oder Kriechen auf Isolatorketten ist untersagt (Abb. 34). Obwohl die mechanische Festigkeit des Stabs im Innern des Isolators problemlos das Gewicht eines Menschen tragen könnte, ist ein direktes Besteigen untersagt, um Schäden am Isoliermantel zu vermeiden. Aluminiumleitern werden oft als Alternative benutzt.

Falls Seile benutzt werden, um den Isolator auf den Mast zu heben, sollten die Seile nicht über den Isoliermantel geführt (Abb. 35), sondern an den Endarmaturen befestigt werden.



Abb. 31: Vermeidung von Schnittverletzungen des Isoliermantels



Abb. 32: Verhindern von Transportschäden



Abb. 33: Keine exzessive Biegebeanspruchung



Abb. 34: Klettern auf Verbundisolatoren ist verboten

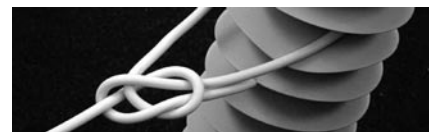


Abb. 35: Transportseile sind nicht über den Isoliermantel zu legen

Reinigung

WARNUNG

- Reinigungsmittel sollten an gut belüfteten Orten verwendet und dürfen nicht eingeatmet werden.
- Hautkontakt meiden.
- Eine hohe Brandgefahr besteht im Falle von leicht flüchtigen Flüssigkeiten.
- Datenblätter und nationale Gesetze sind zu beachten.

Die Hydrophobie ist eine wesentliche werterhöhende Eigenschaft von Verbundisolatoren mit Silikongummimantel. Diese Eigenschaft beinhaltet das Recovery nach längerem Kontakt mit Feuchtigkeit und den Transfer von wasserabweisenden Eigenschaften in eine Verschmutzungsschicht auf dem Isolator durch die Diffusion von niedermolekularen Kettenmolekülen. Diese einzigartige Eigenschaft geeigneter formulierter Silikongummiarten gewährleistet die wasserabstoßenden Eigenschaften im Einsatz. Infolgedessen ist eine Reinigung meist nicht nötig. In seltenen Fällen von besonderer Verschmutzung kann eine Reinigung notwendig sein. Dazu zählen z. B. starke axiale Verschmutzung durch grosse Vögel oder Schimmelbefall. Schimmelbefall entsteht meist bei unsachgemäßer Lagerung in unbelüfteter Umgebung, die zu einer Kondensation auf den Isolatoren führt. Zur Reinigung können dann flüchtige Lösungsmittel wie Aceton, Toluol, Trichlorethylen oder Isopropanol verwendet werden. Das Lösungsmittel ist auf ein fusselfreies Tuch zu geben (nicht direkt auf den Isolator) und die Oberfläche des Isolators damit zu reinigen.

Vorwort

Die Vielfalt der Verbundisolatorenkonstruktionen ist gross, es gibt unterschiedliche Herstellungsprozesse (z. B. Isoliermantel aufvulkanisiert oder aufgeschoben, Krimptechnologie), verschiedene Auslegungsregeln (z. B. Stabdurchmesser für eine bestimmte Kraftklasse) und natürlich die Materialvielfalt (Zusammensetzung des Stabes, Materialien für den Isoliermantel). Verbundisolatoren sind seit mehr als dreissig Jahren erfolgreich im Einsatz; die oben genannte Vielfalt bedeutet jedoch, dass Diagnosemethoden wünschenswert sind, die vorzugsweise im eingebauten Zustand angewendet werden können.

Prinzipien der Diagnose

Diagnosetechnik		
Prüfling ausgebaut		Prüfling im Netz
Wiederholung der IEC-Prüfmethode benutzt für Materialien und Qualifikation der Konstruktion	Spezifisches Prüfen	
IEC 61109	Hot Stick Tester*	E-Feldmessung***
IEC 62217	PD*/RIV**	UV-Messung (Nacht- und Tagsicht)
IEC 60587	Wärme + Spannung*	Leitungsinspektion (visuell)
	Infrarotmessung	Infrarotmessung
	UV-Messung (meist Nachtsicht)	Kombinierte UV- und IR-Messung
	E-Feldmessung***	
	Visuell	
	Unmittelbare akustische Detektion****	

* Isolatoren mit immanentem Fehlerrisiko

** Falls keine anderen RIV-Quellen, ausser den der Fehler, vorhanden sind

*** Verlangt stark leitende Defekte

**** Nur bei hoher PD-Aktivität anwendbar (> 40 pC)

Von diesen diagnostischen Methoden werden die visuelle Inspektion, die E-Feldmessung und die UV/IR-Messung näher beschrieben.

Leitungsinspektion

Die visuelle Leitungsinspektion war die erste Methode und wird von Energieversorgungsunternehmen immer noch am häufigsten angewandt. Oberflächliche Beschädigungen des Isoliermantels, welche ein Indikator für interne Defekte sein können, werden in der Regel so entdeckt. Diese Defekte sind meist sehr klein und erfordern sehr stark vergrössernde Feldstecher. Für die visuelle Leitungsinspektion braucht es sowohl einen erfahrenen Helikopterpiloten wie auch einen Leitungsinspektor (Abb. 36). Mit der Helikopterinspektion kann auch die Oberseite von Abspannketten inspiziert werden, was vom Boden aus im Allgemeinen nicht möglich ist.



Abb. 36: Helikopter-Inspektion

Messung des elektrischen Feldes



Abb. 37: Messungen mit der Messsonde

Das Messen mit einer Feldmesssonde (Abb. 37) ist eine akkurate, aber zeitaufwendige Methode. Ursprünglich wurde dieses Verfahren für die Bewertung von im Netz befindlichen Kappenisolatoren entwickelt. Mit dem zunehmenden Einsatz von Verbundisolatoren wurde diese Messmethode modifiziert, um auch für die Bewertung der neuen Isolatortechnologie eingesetzt werden zu können. Beim Messvorgang wird das elektrische Feld entlang dem Isolator aufgenommen. Falls ein Schaden gefunden wird, zeigt das elektrische Feld eine direkte Änderung an. Die umgebende Feuchtigkeit hat einen grossen Einfluss auf diese Messung unter Freiluftbedingungen, was die Interpretation der Resultate zum Teil erschweren kann.

UV/IR-Messung

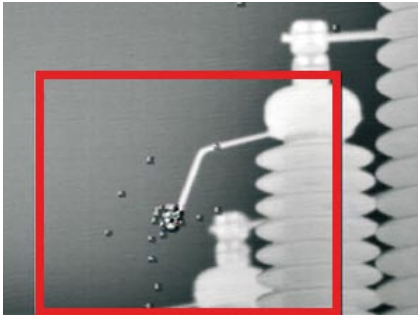


Abb. 38: Korona-Aktivität kann auch bei Tageslicht gemessen werden



Abb. 39: Überlagertes Bild von IR- und Korona-Messung derselben Durchführung

Fortschritte in der optischen und elektronischen Industrie haben zur Entwicklung einer ersten Generation von Kameras geführt, mit denen simultane Aufnahmen im ultravioletten, infraroten und normalen Strahlungsbereich von elektrischen Einrichtungen einschliesslich Isolatorenketten und Geräten möglich sind.

Korona-Aktivitäten können bei Tageslicht gemessen (Abb. 38) oder auch über sogenannte „hot spots“ detektiert werden. Die Aufnahmen können überlagert werden, was die Interpretation der Ergebnisse vereinfacht (Abb. 39).

Für diese Interpretation braucht es allerdings Erfahrung. Es ist beispielsweise wichtig, dass die verschiedenen Arten von Entladungen an einem Isolator differenziert werden. Entladungen über Trockenbändern einer Fremdschicht haben ebenfalls einen UV-Anteil und werden meist durch die Verschmutzung auf der Isolierfläche selbst verursacht. Demgegenüber entstehen „trockene“ Koronaentladungen an Stellen mit hoher elektrischer Feldstärke. Deren Ursache können scharfkantige oder unregelmässige Stellen auf Metall oder Isolieroberflächen sein. Da eine Koronaentladung durch einen partiellen Luftdurchschlag entsteht, sind die Umgebungsbedingungen im Moment der Aufnahme ebenfalls zu erfassen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass die visuelle Messung der Koronaaktivität bei hoher und niedriger Luftfeuchte durchzuführen ist, um eine gesicherte Aussage zum Zustand des Isolators oder zur kompletten Isolatorkette abzuleiten.

In der Bewertung von Verbundisolatoren zeigen erste Erfahrungen, dass ein kritischer Alterungszustand besser mit einer kombinierten UV/IR-Messung diagnostiziert werden kann. Dieses Thema wird gegenwärtig in der CIGRE-Arbeitsgruppe B2.21 umfassend bearbeitet. Ein erster Ansatz besteht in der Einführung einer Fehlermatrix zur besseren Interpretation der aufgenommenen Bilder (Abb. 40).

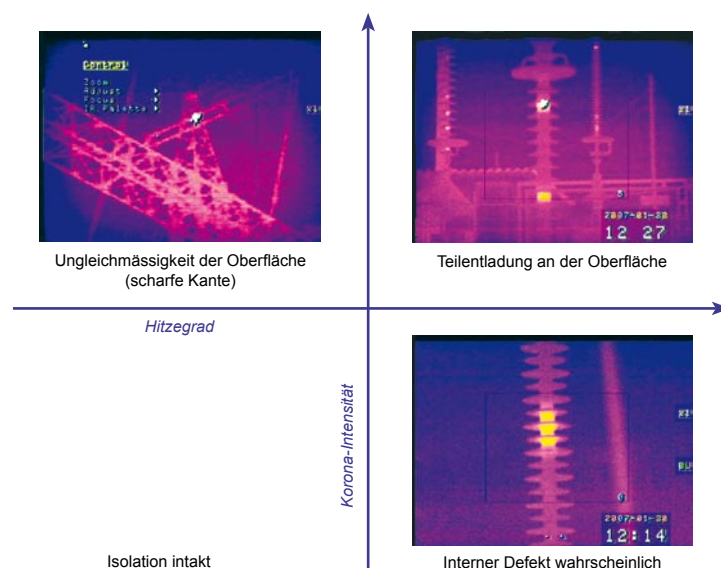


Abb. 40: Vorschlag für eine Fehlermatrix (Fotos zur Verfügung gestellt von CSIR)

Die derzeit vorhandenen ersten Ergebnisse, ermittelt an Isolatoren mit internen und externen Defekten, haben klar gezeigt, dass moderne Kameras als ergänzendes Hilfsmittel bei der Überprüfung eingesetzt werden können; die korrekte Interpretation der Bilder aber immer noch einen erfahrenen Fachmann erfordert.

PFISTERER Kompetenzzentrum Freileitungen



ISOLATORKETTEN



VERBUNDISOLATOREN



SCHWINGUNGSDÄMPFUNG

PFISTERER SEFAG AG

Werkstrasse 7
6102 Malters, Luzern
Switzerland

Phone +41 (0) 41 4997 272
Fax +41 (0) 41 4972 269
E-mail connect@sefag.ch

www.pfisterer.com

PFISTERER (Pty) Ltd.

9 Willowton Road
Pietermaritzburg 3201
South Africa

Phone +27 (0) 33 397 5400
Fax +27 (0) 33 387 6377
E-mail info@pfisterer.co.za

www.pfisterer.com