



Silikonbeschirmte Kunststoffisolatoren für die Mittel- und Hochspannungs- technik

1. Inhaltsverzeichnis
2. Allgemeines
3. Eigenschaften
4. Anwendungsbeispiele
5. Der R-GFK-Stab
6. Metallarmaturen
7. Silikonbeschirmung
8. Verbundzone
9. Mechanik
10. Betriebserfahrungen mit Silikon-
und EPDM-Verbundisolatoren
11. Bemessung, Prüfung
12. Schutzarmaturen
13. Schlussfolgerung

Malters, im September 1989, Wermelinger Anton / Kurzfassung

SEFAG



SILCOSIL **77**

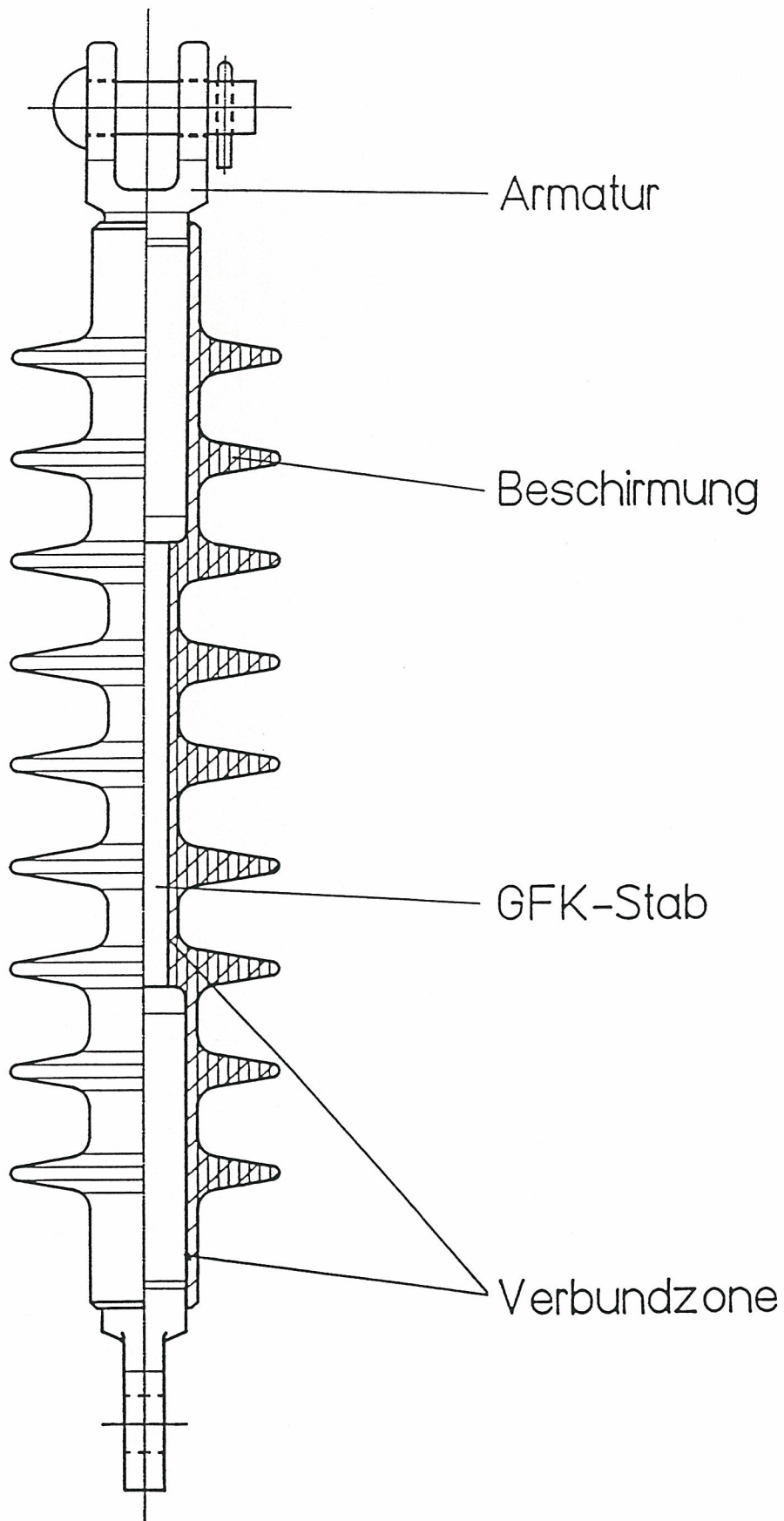




- Silikonkautschuk

- EPDM

- Teflon





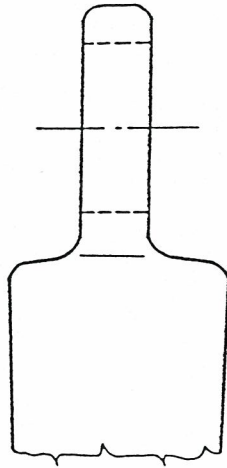
SILCOSIL-Verbundisolatoren zeichnen sich insbesondere durch folgende Eigenschaften aus:

- In beliebigen Längen als einteiliger Isolator
 - Keine Zwischenarmaturen
 - Geringere Mastbauhöhe, Kompaktbauweise
 - Variable Kriechweglänge
 - Keine Beschädigung bei Störlichtbögen
 - Hervorragendes Fremdschichtverhalten auch bei Salz und anderen Verunreinigungen
 - Perlbildung von Wasser dank Hydrophobie
 - Erhebliche Reduktion von Reinigungsarbeit
 - Geringerer Verschleiss in Sandsturmgebieten
 - Keine Bruchschäden dank gummielastischer Oberfläche
 - Hohe Beschussicherheit
 - Geringes Gewicht, Faktor 5 bis 10 im Vergleich zu Porzellan
 - Dynamisch belastbar auf Zug, Druck und Biegung
 - Ideal für höhere Fahrgeschwindigkeiten
 - Durch hohe Elastizität kein Doppelkettenbruch
 - Auch Kleinserien für spezifische Problemlösungen
-

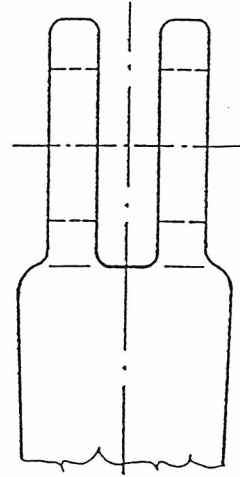


Wichtige Daten von R-GFK-Stäben

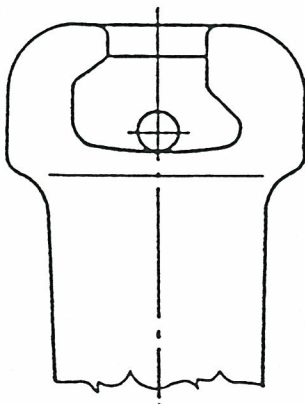
- | | |
|--|----------------------------|
| - Längsdurchschlag (15 Minuten) | 12 kV/mm |
| - Dielektrizitätskonstante E_r | 5,1 |
| - Diffusionsdurchschlagsfestigkeit (DIN) | HD-Klasse |
| - Zugfestigkeit | 1400 N/mm ² |
| - Biegefestigkeit | 1100 N/mm ² |
| - Warmfestigkeit nach Martens | 110° C |
| - Linearer Ausdehnungskoeffizient, längs | $8 \cdot 10^{-6}$ mm/mm° C |
| - Wasseraufnahme, 4 Tage, 23° C | 0,1 % |
-



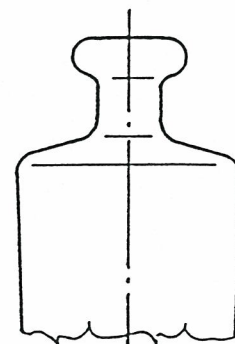
Lasche



Gabel



Klöppelpfanne



Klöppel

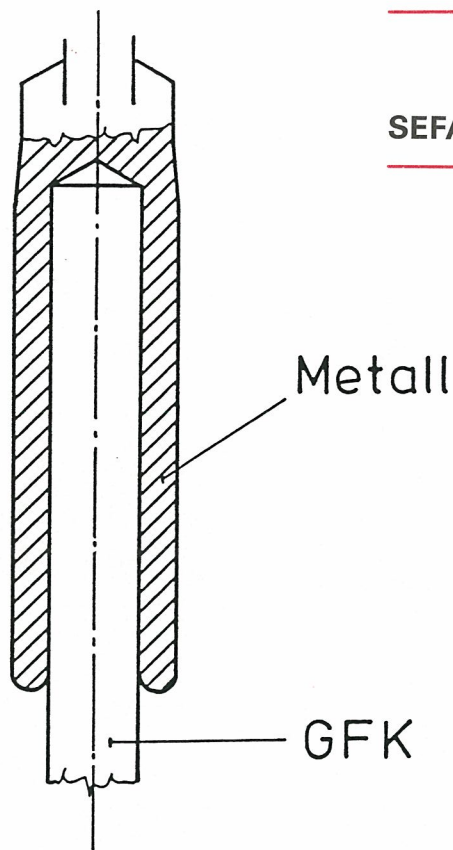


Kriterien	Silikon	Teflon	EPDM
Hydrophobie als Langzeiteffekt. "Tropfenbildung"	JA	NEIN	NEIN
Negativ veränderter Oberflächenwiderstand bei Teillichtbögen.	NEIN SiO ₂ *	JA Russ *	JA Russ *
Teilentladungsunempfindlich	JA	NEIN	NEIN

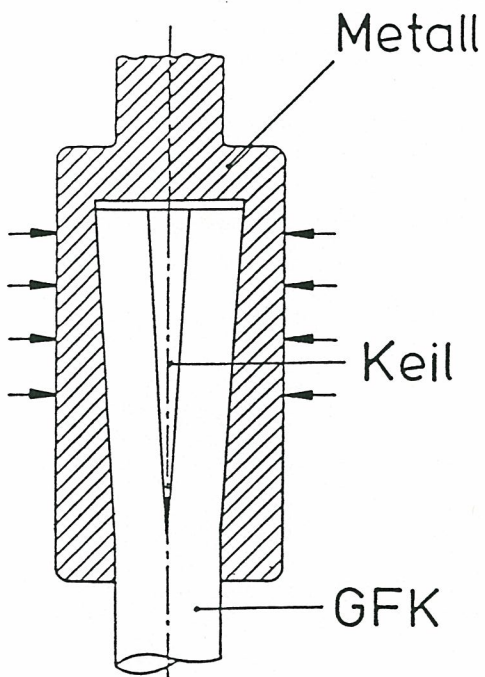


Spezifische Eigenschaften von Silikonkautschuk

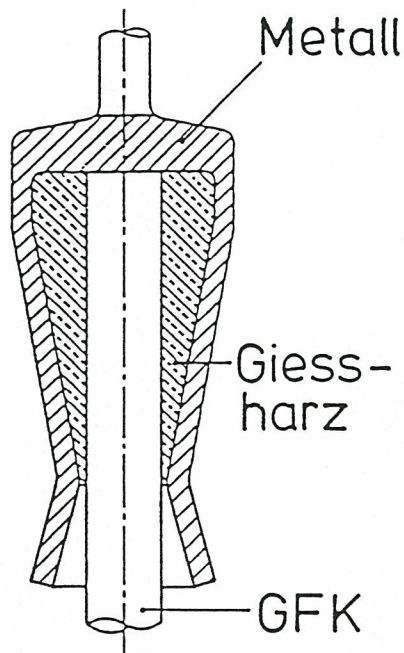
- Durchschlagsfestigkeit	23 kV/mm
- Spez. Durchgangswiderstand, trocken	$10^{15} \Omega \text{cm}$
- Spez. Durchgangswiderstand, nass	$9 \cdot 10^{12} \Omega \text{cm}$
- Oberflächenwiderstand	$9 \cdot 10^{12} \Omega$
- Dielektrizitätskonstanz bei 50 Hz	2,9
- Kriechstromfestigkeit	3,5 kV
- Weiterreisswiderstand	18 N/mm
- Shore-A-Härte	25
- Farbe	grau



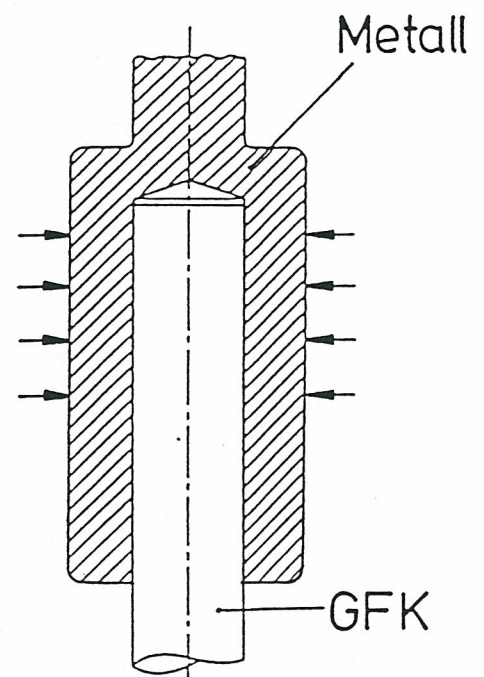
Koaxial- Presstechnik
SEFAG AG



Keiltechnik



Klebertechnik



Radial- Presstechnik



Nennkraft \cong grösste Kraft \times Bemessungsfaktor a
Stückprüfkraft \cong grösste Kraft \times Bemessungsfaktor b

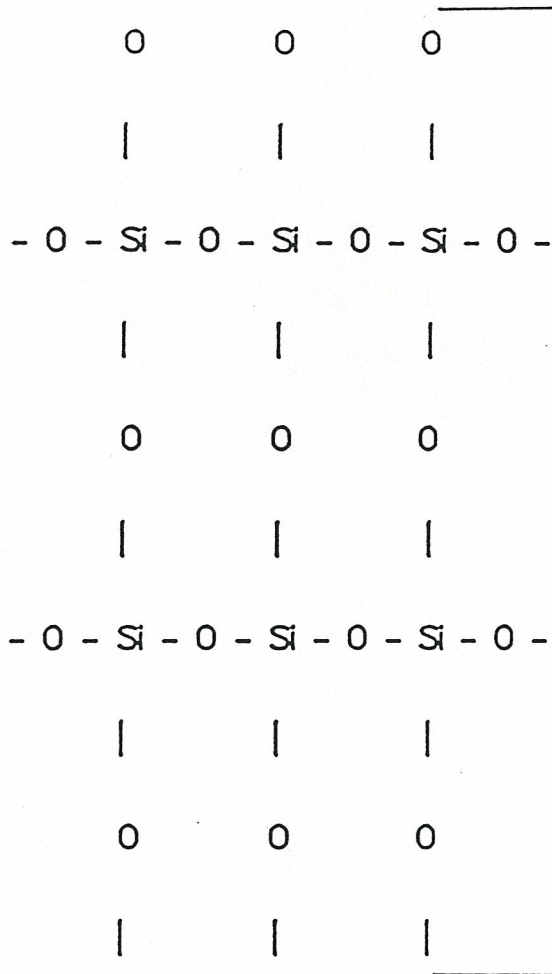
wobei der Bemessungsfaktor a = 3,1
der Bemessungsfaktor b = 2,5 beträgt.



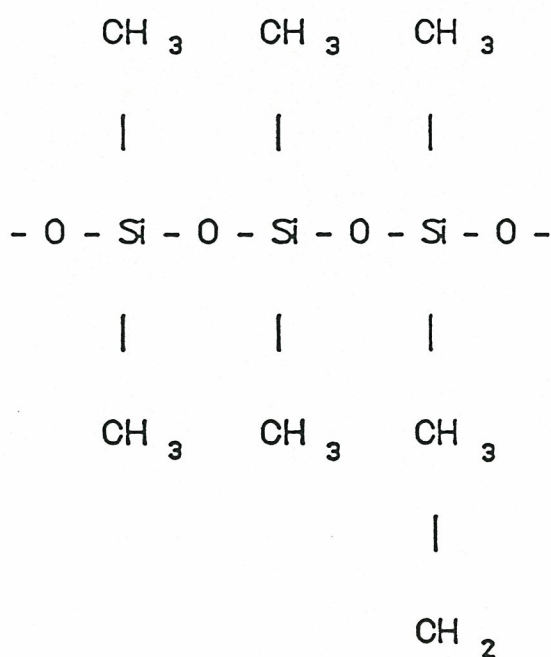
- Bereich A: $1 \text{ kV} < U_m < 52 \text{ kV}$ (Mittelspannung),
 - Bereich B: $52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$ (Hochspannung),
 - Bereich C: $U_m \geq 300 \text{ kV}$ (Höchstspannung)
-



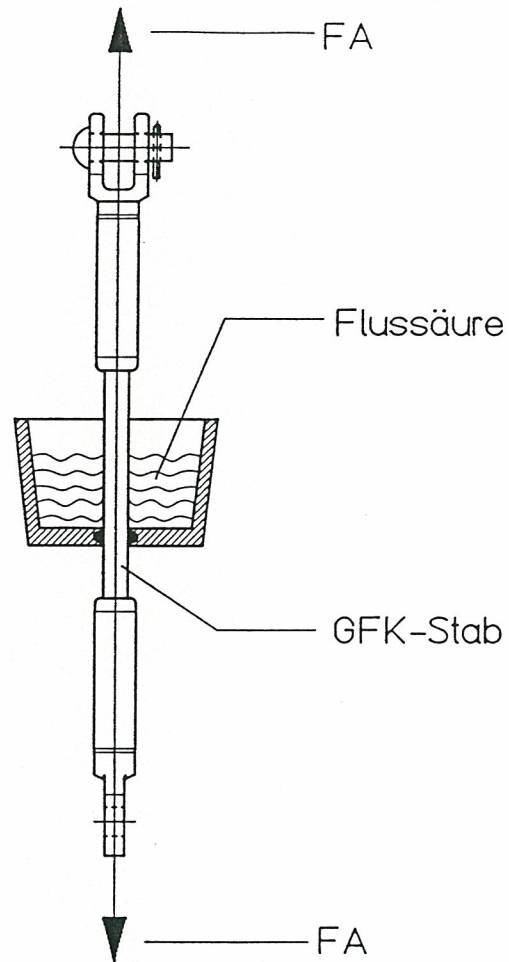
<u>Klasse</u>	Verschmutzungs- grad	Mindestkriechweg	
		U_m -Leiter-Leiter	U_m -Leiter-Erde
I	leicht	1,6 cm/kV	2,77 cm/kV
II	mittel	2 cm/kV	3,46 cm/kV
III	schwer	2,5 cm/kV	4,33 cm/kV
IV	sehr schwer	3,1 cm/kV	5,73 cm/kV



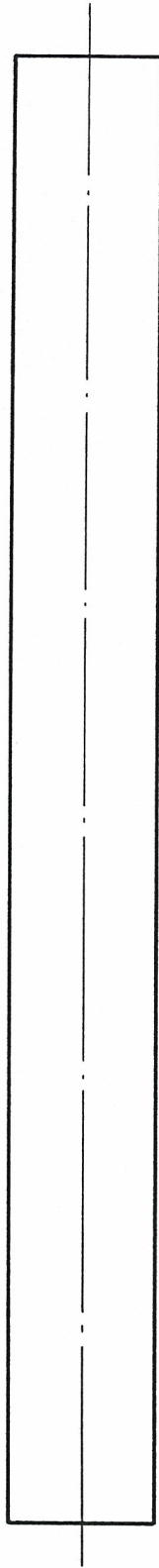
Quarz



Silikon



Versuchs-Nr.	Glassorte	Standzeit bis Bruch des GFK-Stabes in h
1	E	5
2	E	4,5
3	ECR	16
4	ECR	17
5	R	> 36 kein Bruch
6	R	> 36 kein Bruch

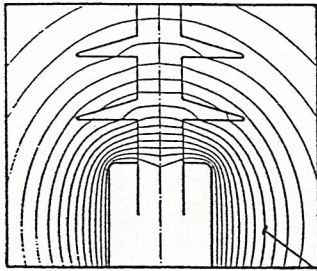


GFK
Stab



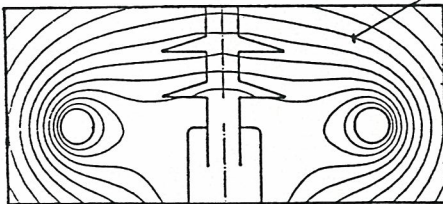
Schutzarmaturen haben multifunktionale Bedeutung:

- Reduktion der elektrischen Felddichte in der Krafteinleitungszone.
 - Unterdrückung von Korona und Radio-störspannung.
 - Lichtbogen schnell übernehmen und zur Endbrandstelle führen.
-

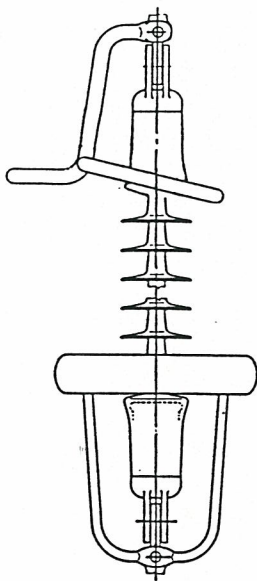


Feldlinien ohne oder
mit falsch angeordneter Schutzarmatur

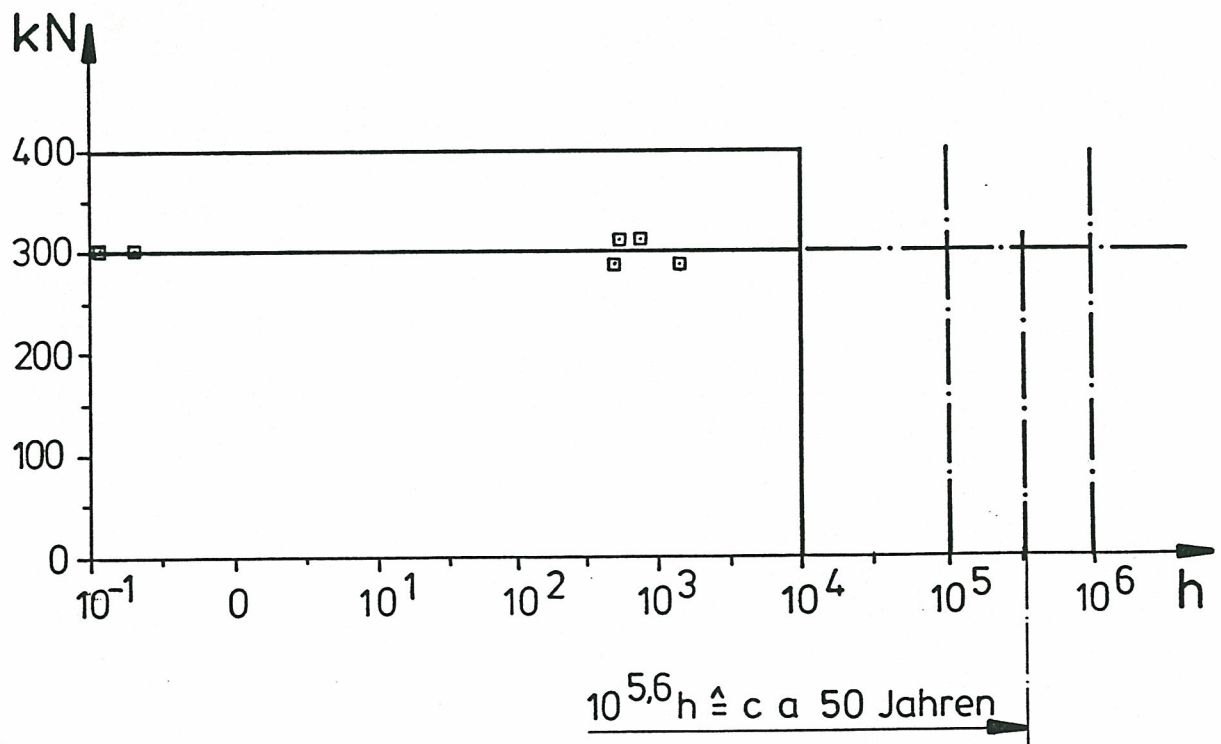
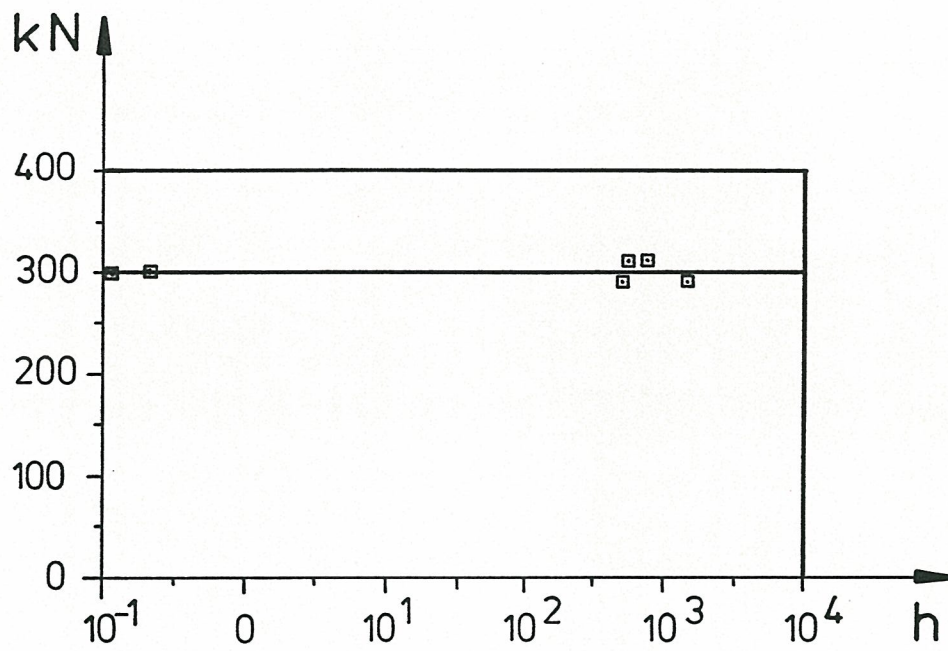
Äquipotentiallinien



Optimaler Feldlinienverlauf
mit Schutzarmaturen



Anordnung von Schutzarmaturen





Kriterien	Herkömmliche Isolatoren	SILCOSIL- isolatoren
Betriebsprobleme	Mehr	Weniger
Reinigungsarbeit	Mehr	Weniger
Betriebsunterbrüche	Mehr	Weniger
Einteilig	Nein	Ja
Zwischenarmaturen	Mit	Keine
Kompaktbauweise	Weniger	Besser
Kriechweglänge	Grösser	Kleiner
Störlichtbögenschäden	Mehr	Weniger
Fremdschichtverhalten	Schlecht	Sehr gut
Wasser perlt	Nein	Ja
Hydrophie als Langzeiteffekt	Nein	Ja
Leitende Errosionsprodukte	Ja	Nein
Sandverschleiss	Hoch	Niedrig
Transportschäden	Hoch	Niedrig
Beschussicherheit	Hoch	Niedrig
Gewicht	Hoch	Gering
Dynamische Belastung	Klein	Hoch
Biegebelastung	Gering	Hoch
Höhere Fahrgeschwindigkeiten	Begrenzt	Ja
Doppelkettenbruch	Gefährdet	Besser
Kleinserien	Weniger	Ja
Umbaumöglichkeiten	Weniger	Mehr



Silikonbeschirmte Kunststoffisolatoren für die Mittel- und Hochspannungs- technik

1. Inhaltsverzeichnis
2. Allgemeines
3. Eigenschaften
4. Anwendungsbeispiele
5. Der R-GFK-Stab
6. Metallarmaturen
7. Silikonbeschirmung
8. Verbundzone
9. Mechanik
10. Betriebserfahrungen mit Silikon-
und EPDM-Verbundisolatoren
11. Bemessung, Prüfung
12. Schutzarmaturen
13. Schlussfolgerung

Malters, im September 1989, Wermelinger Anton / Standartfassung

Der Anforderungskatalog an Isolatoren in der Elektrotechnik ist umfangreich. Silicium als natürliches Element spielt in der Mittel- und Hochspannungs-Isoliertechnik wissenschaftlich gesehen, auf interessante Weise, eine dominierende Rolle. Intensive Entwicklungsarbeit auf diesem Gebiet hat zu Isolatoren mit speziellen Eigenschaften geführt.

Im allgemeinen unterscheiden wir Keramik- und Kunststoffisolatoren und im speziellen:

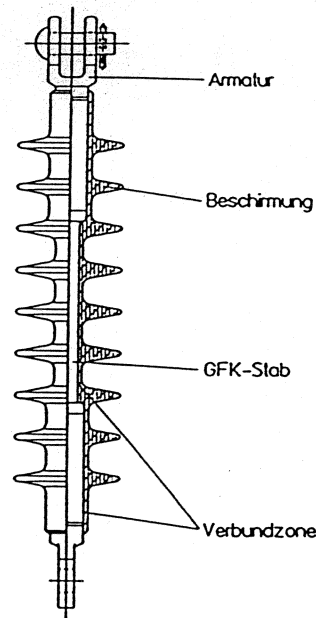
- Porzellanisolatoren
- Glasisolatoren
- Kunststoffverbundisolatoren
- Kunststoff-Gießharzisolatoren

Nicht durchschlagbare Vollkernisolatoren aus Glas können nach dem heutigen Stand der Technik nicht hergestellt werden.

Kunststoffgiessharz-Isolatoren aus zykloliphatischem Harz sind aufgrund ihrer vergleichsweise geringen UV-Beständigkeit und niedrigen Kriechstromfestigkeit für Freiluftanwendungen umstritten.

Kunststoffverbund-Isolatoren gewinnen aufgrund der vorteilhaften Technologie zunehmend an Bedeutung.

Die vorliegenden Bilder zeigen den prinzipiellen Aufbau von Verbundisolatoren:



Die folgenden Beschichtungswerkstoffe werden von verschiedenen Herstellern verwendet:

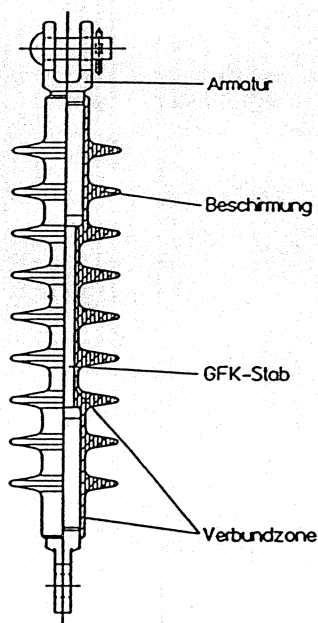
- Silikonkautschuk
- EPDM
- Teflon

Teflon (PTFE) ist ein fluorhaltiges Polymer (feste C-F-Bindungen). EPDM ist ein unpolares gesättigtes Elastomer (C-H-Bindungen). Der elektrisch hochwertige Silikonkautschuk differenziert sich zu EPDM und Teflon durch einzigartige Oberflächenqualitäten. Auf die Eigenschaften von Silikonkautschuk werde ich in diesem Vortrag noch speziell eingehen.

Die Firma SEFAG fertigt ausschliesslich silikonbeschirmte Verbundisolatoren. SEFAG-Silikon-Verbundisolatoren tragen den Markennamen SILCOSIL.

SILCOSIL 77

Als Einleitung in den produktbezogenen Teil dieses Vortrages können wir zusammenfassen:

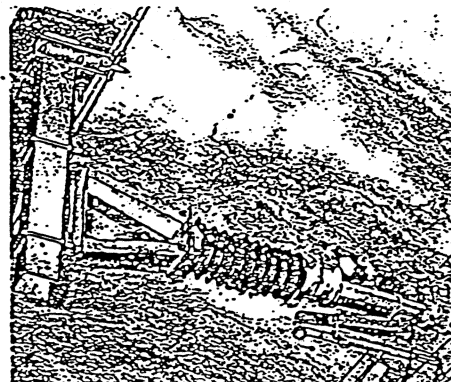
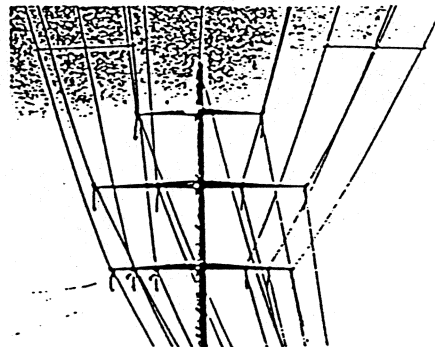


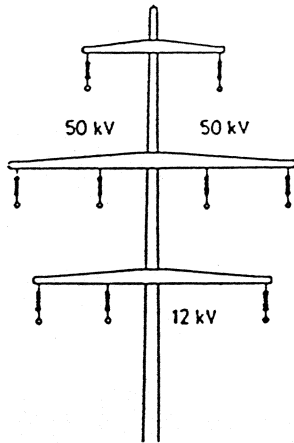
Die - Einvergussbeschirmung - beim Silcosil-Isolator qualifiziert sich zu mehrteiligen Systemen durch hohe Dichtigkeit und hoher Teilentladungsfestigkeit. Silcosil-Verbundisolatoren bestehen aus einem hochwertigen, freiluftbeständigen Silikonkautschuk, einem stranggepressten R-Glasfaserverstärkten Epoxydharz-Stab sowie speziell für diese Anwendung von der SEFAG entwickelte Metallarmaturen. Der Silikonkautschuk ist mit dem armierten R-GFK-Stab durch ein spezielles Verfahren irreversibel chemisch verbunden wie auch mechanisch verankert. Die kraftschlüssigen Verbindungen der Metallarmaturen mit dem R-GFK-Stab werden mit dem SEFAG-Armierungssystem für die gesamte Lebensdauer des Isolators sichergestellt.

SILCOSIL-Verbundisolatoren zeichnen sich insbesondere durch folgende Eigenschaften aus:

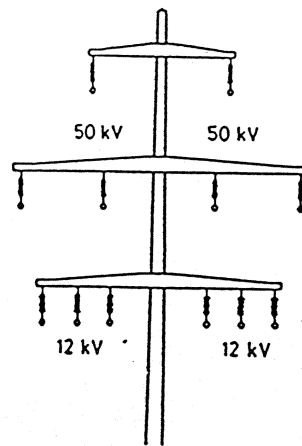
- In beliebigen Längen als einteiliger Isolator
- Keine Zwischenarmaturen
- Geringere Mastbauhöhe, Kompaktbauweise
- Variable Kriechweglänge
- Keine Beschädigung bei Störlichtbögen
- Hervorragendes Fremdschichtverhalten auch bei Salz und anderen Verunreinigungen
- Perlbildung von Wasser dank Hydrophobie
- Erhebliche Reduktion von Reinigungsarbeit
- Geringerer Verschleiss in Sandsturmgebieten
- Keine Bruchschäden dank gummielastischer Oberfläche
- Hohe Beschussicherheit
- Geringes Gewicht, Faktor 5 bis 10 im Vergleich zu Porzellan
- Dynamisch belastbar auf Zug, Druck und Biegung
- Ideal für höhere Fahrgeschwindigkeiten
- Durch hohe Elastizität kein Doppelkettenbruch
- Auch Kleinserien für spezifische Problemlösungen

SILCOSIL-Verbundisolatoren werden bei Fahrleitungen für elektrische Bahnen, als Hänge-, Abspann- und Stützisolatoren und Phasenabstandhalter bei Mittel- und Hochspannungsfreileitungen eingebaut.

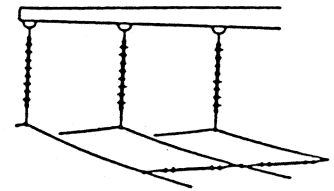




ORIGINAL CONFIGURATION
OF 50/12 kV OHL ON CON-
CRETE POLES



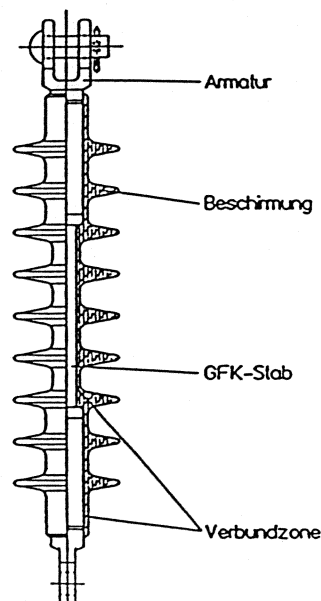
COMPACTED CONFIGURATION
WITH TWO 12 kV CIRCUITS
WITH COMPOSITE PHASE
SEPARATORS



ARRANGEMENT OF COMPOSITE
PHASE SEPARATORS AT 12 kV
CIRCUIT

Als Ergänzung möchte ich erwähnen, dass SILCOSIL-Verbundisolatoren auf den Grundlagen und Erfahrungen von Silikon-Kabelendverschlüssen aufgebaut sind. Silikon-Kabelendverschlüsse werden seit Jahrzehnten weltweit eingesetzt.

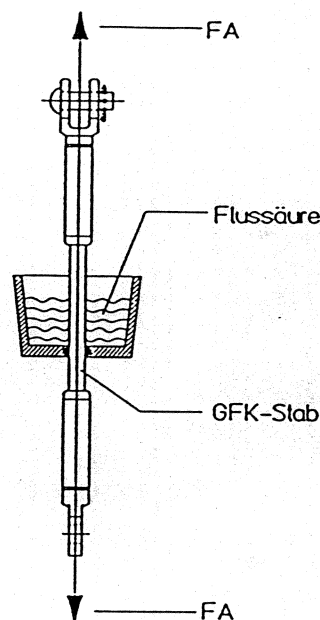
Als Hauptthema betrachten wir nun die wesentlichen Komponenten eines SILCOSIL-Verbundisolators genauer:



Der R-Glasfaserverstärkte Epoxydharz-Kunststoffstab



Der GFK-Stab besteht aus einer Vielzahl unidirektional ausgerichteter Glasfasern, die mit der Epoxydharzmatrix chemisch gebunden sind. Im Vergleich mit allgemein handelsüblichen GFK-Stäben zeichnen sich die von uns verwendeten stranggepressten GFK-Stäbe durch eine homogene Werkstoffstruktur aus. Der hohe Qualitätsstandard dieser Stäbe wird vom Herstellverfahren bestimmt. Glasfaserkapillaren werden in qualitätssichernder Hinsicht berücksichtigt (ca. 0,14 % der Fasern sind Kapillaren). Beim Strangpressen können die qualitätsbeeinflussenden Parameter optimal geregelt werden. Resultierend sind mechanisch hohe Werte und eine gleichmäßige Durchschlags- und Teilentladungsfestigkeit.



Versuchs-Nr.	Glassorte	Standzeit bis Bruch des GFK-Stabes in h
1	E	5
2	E	4,5
3	ECR	16
4	ECR	17
5	R	> 36 kein Bruch
6	R	> 36 kein Bruch

Wir untersuchten GFK-Stäbe mit unterschiedlichen Glassorten auf die chemische Beständigkeit. Als Angriffsmedium verwendeten wir Flussäure. Die mechanische Vorspannung der Stäbe betrug während des Versuches 170 N/mm².

E-Glas und ECR-Glas haben nach den eingetragenen Stand-Zeiten zum Bruch geführt. Beim R-Glastyp wurde der Versuch nach über 36 Stunden abgebrochen. Am R-GFK konnte auch nach dem Versuch unter dem Mikroskop keine Ätzung festgestellt werden. Im Vergleich zu E- und ECR-Glas ist R-Glas vom Element Bor frei. Säure kann Bor aus Glas lösen. Als Folge entstehen im Glasaufbau hohe mechanische Molekularspannungen, die zum Glasbruch führen können. SILCOSIL-Verbundisolatoren sind mit R-Glas-GFK-Stäben bestückt, also von Bor frei.

Wichtige Daten von R-GFK-Stäben

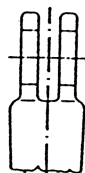
Längsdurchschlag (15 Minuten)	12 kV/mm
Dielektrizitätskonstante ϵ_r	5,1
Diffusionsdurchschlagsfestigkeit (DIN)	HD-Klasse
Zugfestigkeit	1400 N/mm ²
Biegefestigkeit	1100 N/mm ²
Warmfestigkeit nach Martens	110° C
Linearer Ausdehnungskoeffizient, längs	$8 \cdot 10^{-6} \text{mm/mm}^\circ\text{C}$
Wasseraufnahme, 4 Tage, 23°C	0,1 %

Metallarmaturen

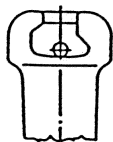
Die Metallarmaturen übernehmen die lösbaren gelenkigmechanischen Funktionen zwischen spannungs- bzw. erdseitigen Komponenten und dem Isolierteil. Diese können aus feuerverzinkten Guss- oder Schmiedeteilen, aber auch aus rostbeständigem Stahl, Aluminium oder Kuprodukt usw. bestehen. Die Anschlussgeometrie, ob Gabel - Lasche, Klöppel - Klöppelpfanne bestimmt der Anwendungsfall. Wir bevorzugen aus fertigungstechnischen Gründen das Gabel - Lasche - System.



Lasche



Gabel

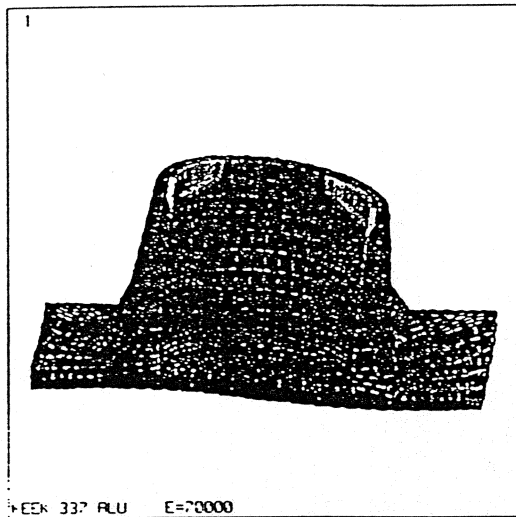


Klöppelpfanne

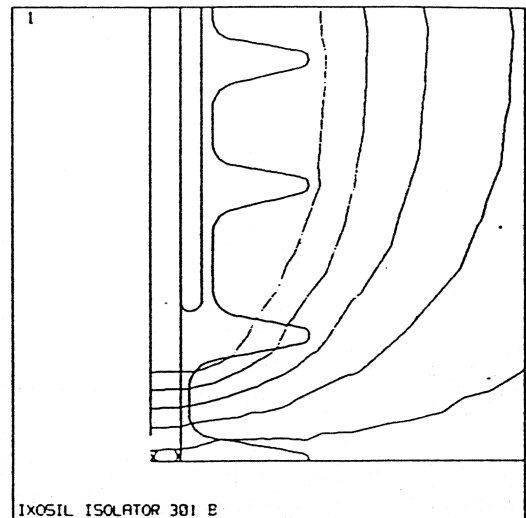


Klöppel

Auf Kundenwunsch übernehmen wir die Abmessungen der Armaturen gemäss vorhandener Angaben. Alternativ bietet SEFAG AG als Dienstleistung die berechnungsorientierte Optimierung bezüglich der Disziplinen Festigkeit, Gewicht und elektrischer Feldstärke.



ANSYS 4.3A
 JAN 16 1999
 8 11 29
 PLOT NO. 2
 POST1 STRESS
 STEP=1
 ITER=1
 SICE (AVG)
 DMX = .057922
 SMN = .157733
 SMX =78.683
 XV =-3
 YV =1
 ZV =.2
 DIST=95.238
 XF =43.75
 YF =42
 PRECISE HIDDEN
 5
 15
 20
 25
 30
 40
 45
 50
 55

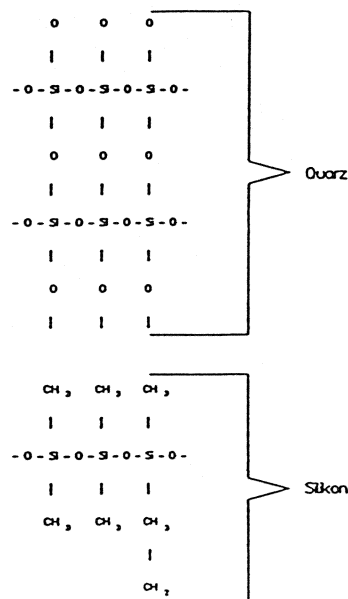


ANSYS 4.3F
 MAR 29 1999
 9:52:54
 POST1 STRESS
 STEP=1
 ITER=1
 TEMP
 SMX =100002
 ZV =1
 DIST=.063267
 XF =.029343
 YF =.046611
 5555
 16667
 27778
 38889
 50000
 61111
 72222
 83333
 94444

Das erste Bild zeigt die örtlichen mechanischen Spannungen; das zweite Bild zeigt die räumlich quantifizierte Feldstärken. Betrachtungen mit Hilfe unseres 3-D-Finite-Elemente-Computerberechnungsprogramms dienen dem Konstrukteur für eine interdisziplinär günstige Entscheidungsfindung bezüglich Dimensionierung der Metallarmaturen.

Beschirmung aus Silikonkautschuk

Grundelement der Polymermatrix von Silikonkautschuk ist die Silizium-Sauerstoffverbindung. Diese lässt auf eine sehr grosse Ähnlichkeit mit dem Charakter der SiO-Bindung in Quarz schliessen.



Die Struktur erklärt einige der ungewöhnlichen chemischen und physikalischen Eigenschaften dieses Elastomers. Die Ursache der Flexibilität liegt im Silikonpolymer selbst und wird nicht durch Zugabe von Weichmachern erzielt. Es kommt also nicht zum Ausschwitzen von Weichmachern und in der Folge zu Verunreinigungen der Umgebung und einer Versprödung des Kunststoffes. Bei druckloser Vulkanisation kommt die Aditionsvernetzung bei Raumtemperatur zur Anwendung. Es entstehen keine Vernetzerspaltprodukte. Man unterscheidet im allgemeinen zwischen RTV- und HTV-Silikon. RTV vernetzt drucklos unter Raumtemperatur. HTV vernetzt unter Druck bei hoher Temperatur. Es gibt auch noch Zwischentypen. Durch Fortschritte in der Chemietechnologie bestehen heute praktisch keine Unterschiede zwischen RTV- und HTV-Silikon bezüglich Kriechstrom- und Lichtbogenfestigkeit. Bei Silikon bleibt die Hydrophobie, d.h. die wasserabstossende Wirkung, als ein sich regenerierender Langzeiteffekt erhalten. Die jahrzehntelangen guten Erfahrungen mit tausenden von Freiluftendverschlüssen mit RTV-Silikon, insbesondere in Gebieten mit hohem Verschmutzungsgrad, speziell im Nahen Osten, sind ein Hinweis für die gute Eignung.

Die folgenden drei Beispiele mögen erläutern:

- Im Versuch, über 1 Jahr, hatte sich eine bis 1 mm dicke Salzsicht auf den SILCOSIL-Isolatoren abgesetzt und alle 15 Sekunden erfolgte ein Aussenüberschlag. Die Isolatoren bestanden nachträglich noch alle Prüfungen.
- Ein Porzellanendverschluss und ein Silikonendverschluss wurden mit grosser Intensität mit Sand bestrahlt, bis das Porzellan ein Loch aufwies. Der Silikonendverschluss bestand seine elektrischen Prüfungen problemlos.
- Tunnelisolatoren aus Porzellan mussten jährlich 2x gereinigt werden. Das elektrische Verhalten von Silcosil-Isolatoren wurde während 7 Jahren periodisch gemessen. Die Messwertänderung, ohne Reinigung, ist bedeutungslos.

Bei den folgenden Kriterien liegen die wesentlichen Unterschiede zwischen Silikon, Teflon und EPDM.

Kriterien	Silikon	Teflon	EPDM
Hydrophobie als Langzeiteffekt. 'Tropfenbildung'	JA	NEIN	NEIN
Negativ veränderter Oberflächenwiderstand bei Teillichtbögen.	NEIN SiO ₂ *	JA Russ *	JA Russ *
Teilentladungsunempfindlich	JA	NEIN	NEIN

* Russ, unterstützt durch gleichmässige Benetzung, bildet Strompfade und als Folge Oberflächenerosion bzw. noch mehr Russ. SiO₂ ist isolierend.

- Vermerk aus der Dissertation von Dr. Ing. J. Schramm, 1985, Universität Braunschweig:
Sowohl im praktischen Betrieb als auch in Laboruntersuchungen haben sich Silikonelastomere gegenüber allen anderen Schirmmaterialien als überlegen erwiesen.

Silikonkautschuk ist glimm- und ozonbeständig, selbstlöschend und hat eine hochwertige Beständigkeit gegen atmosphärische Einflüsse und UV-Strahlung.

NB: Um die wasserabstossende Wirkung von Silikon bei Porzellanisolatoren zu nutzen, wird empfohlen, diese nach der periodischen Reinigung mit einem feinen Silikonölfilm zu belegen.

Spezifische Eigenschaften von Silikonkautschuk

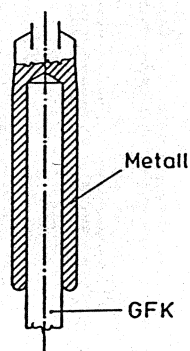
Durchschlagsfestigkeit	23 kV/mm
Spez. Durchgangswiderstand trocken	$10^{15} \Omega \text{ cm}$
Spez. Durchgangswiderstand nass	$9 \cdot 10^{12} \Omega \text{ cm}$
Oberflächenwiderstand	$9 \cdot 10^{12} \Omega$
Dielektrizitätskonstanz bei 50 Hz	2,9
Kriechstromfestigkeit	3,5 kV
Weiterreisswiderstand	18 N/mm
Shore-A-Härte	25
Farbe	grau

Verbundzone

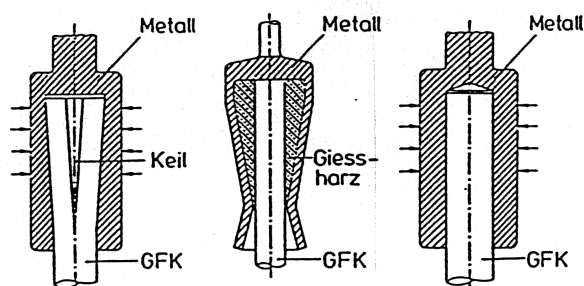
Silikon haftet von sich aus nicht auf anderen Substraten. Vor dem Giessen der Silikonbeschirmung wird die Verbundfläche mit einem auf Silikonbasis funktionierenden Haftvermittler gleichmässig benetzt. Dadurch entsteht beim SILCOSIL-System keine Schicht zwischen dem armierten Epoxydharzstab und der Silikonbeschirmung. In elektrischer und mechanischer Hinsicht treten somit keine Grenzflächen- und Zwischenschichtprobleme auf. Die Metallarmatur erhält im Bereich der Krafteinleitung ebenfalls die Beschirmung. Es kann somit keine Feuchtigkeit in den Isolator eindringen. Die hohe Elastizität des aus einem Guss bestehenden Silikonmantels lässt unterschiedliche Längen- und Querausdehnungen der verwendeten Materialien zu. Die Hydrolysebeständigkeit von der Stirnseite her ist gewährleistet.

Mechanik

Während wesentliche elektrische Anforderungen der Silikonbeschirmung zugeordnet sind, werden die mechanischen Funktionen dem R-GFK-Stab und der Metallarmatur zugeordnet. Die folgenden Bilder zeigen angewendete Armierungssysteme verschiedener Hersteller:



Koaxial-Pressstechnik
SEFAG AG



Keiltechnik

Klebtechnik

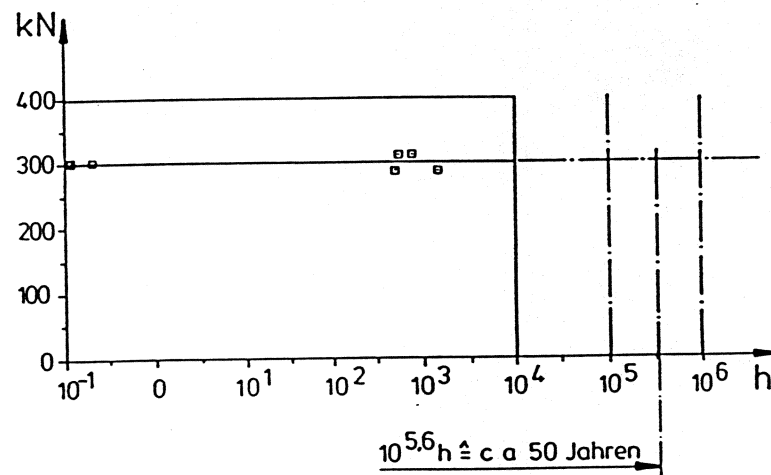
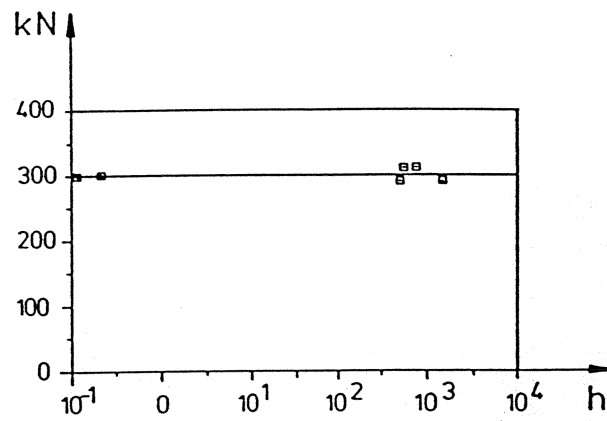
Radial-Pressstechnik

Koaxial-Pressstechnik, Keiltechnik, Klebtechnik, Radial-Pressstechnik

Als Nennkraft bezeichnet man die festgelegte statische Kraft, die ein Isolator bei der Prüfung ohne Beschädigung erreichen muss. Die Stückprüfkraft für Kunststofflangstabisolatoren beträgt (IEC 305) 80 % der Nennkraft. Nach DIN VDE 0210 gilt für Freiluftanwendung:

Nennkraft \cong grösste Kraft x Bemessungsfaktor a
Stückprüfkraft \cong grösste Kraft x Bemessungsfaktor b

wobei der Bemessungsfaktor a = 3,1
der Bemessungsfaktor b = 2,5 beträgt.



Das statische und dynamische Langzeitverhalten verschiedener Fabrikate hat Canadian Electrical Association in einem Grossversuch gegenüber gestellt.

Die Koaxial-Pressetechnik der Firma SEFAG AG liegt im Vergleich mit anderen bekannten Armierungssystemen bezüglich dem Verhältnis "Stabdurchmesser zu Bruchkraft" nachweisbar deutlich höher. Wenn nichts anderes vereinbart, wählen wir als Bruchkraft den 2-fachen Wert der Nennkraft. Die Krafteinleitungsgeometrie wurde in umfangreichen Werksversuchen entwickelt. Das statische und dynamische Langzeitverhalten verschiedener Fabrikate hat Canadian Electrical Association in einem Grossversuch gegenüber gestellt. Der GFK-Stabdurchmesser betrug 20 mm. Die Isolatoren waren während der Versuchsdauer bei ändernder Temperatur vorgespannt. Die Koaxial-Pressetechnik der Firma SEFAG hat mit Abstand die höchsten mechanischen Werte und den kleinsten Abfallraten ergeben. Das nächste Bild zeigt die statischen Versuchsergebnisse. Das darauffolgend die voraussichtliche Bruchkraft nach einer Lebensdauer von 50 Jahren.

Die letztere Aussage ist eine Abschätzung und mit Vorbedacht zu werten.

Die dynamischen Werte liegen ebenfalls überdurchschnittlich hoch und werden zur Zeit ausgewertet.