

**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:** 90 (1999)

**Heft:** 21

**Artikel:** Grenzflächen bei Silikon-Verbundisolatoren : Messungen bestätigen die guten Eigenschaften von Verbundmaterialien

**Autor:** Papailiou, Konstantin O.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-902001>

### **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:** 15.04.2026

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

# Grenzflächen bei Silikon-Verbundisolatoren

## Messungen bestätigen die guten Eigenschaften von Verbundmaterialien

Aus ökonomischen und betrieblichen Gründen werden Silikon-Verbundisolatoren seit über 30 Jahren in der Energietechnik eingesetzt. Um die Zuverlässigkeit und Langlebigkeit der Isolatoren abschätzen zu können, verdienen vor allem ihre verschiedenen Grenzflächen besondere Beachtung. Sowohl die Praxis als auch Versuche im Labor haben gezeigt, dass die guten Isoliereigenschaften von Silikon auch von Silikon-Verbundisolatoren erreicht werden und dass die Lebensdauer der Isolatoren durch diese Verbundtechnik nicht verkürzt wird.

Bauteile in Verbundtechnik spielen in der Stromversorgung seit eh und je eine wichtige Rolle. Der Hauptgrund liegt darin, dass bei diesen Bauteilen eine separate Auslegung und somit eine bessere Ausnutzung der einzelnen Komponenten des Verbundes möglich ist. Das klassische Beispiel für eine erfolgreiche Anwendung des Verbundkonzeptes in der Energietechnik sind die Aluminium/Stahl-Seile, bei denen bekanntlich die Aluminiumdrähte primär die Stromleitung übernehmen, wogegen die Stahl-drähte die mechanischen Lasten tragen. Ähnlich erfolgversprechend hat sich in den letzten Jahren der Einsatz von Verbundisolatoren im Netzbau entwickelt, da bei dieser Bauart von Isolatoren eine getrennte Optimierung von elektrischen und mechanischen Funktionen möglich ist [1] und mit Silikon ein Isoliermaterial mit fast idealen Eigenschaften gefunden werden konnte [2].

Ein Verbundisolator (engl. Composite Insulator) ist laut Norm [3] aus mindestens zwei verschiedenen Isolierstoffen aufgebaut. Er besteht aus dem Kern und der Schirmhülle sowie den Metallarmaturen. Der Kern ist die innere Isolierung und ist so ausgelegt, dass die mechanische Stabilität des Isolators garantiert werden kann. Die Schirmhülle ist die äussere Isolierung, welche den erforderlichen Kriechweg bereitstellt und den Kern vor Umwelteinflüssen schützt.

Adresse des Autors  
Dr. Konstantin O. Papailiou  
Sefag AG, 6102 Malters

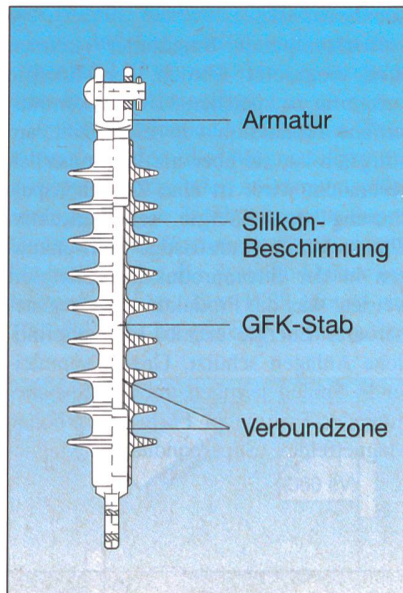


Bild 1 Prinzipzeichnung eines Silikon-Verbundisolators

### Grenzflächen von Verbundisolatoren

Ein Verbundisolator besitzt konstruktionsbedingt Grenzflächen, welche oft als mögliche Schwachstellen eingeschätzt werden. Die sichere Beherrschung von deren Dimensionierung und Fertigung (auch in der Serienproduktion) ist eine entscheidende Voraussetzung für das störungsfreie Betriebsverhalten des Isolators.

Diese Grenzflächen (engl. Interfaces) werden in der Norm [3] wie folgt definiert:

«Eine Grenzfläche ist die Fläche zwischen den verschiedenen Materialien oder Bestandteilen des Verbundisolators. In den meisten Verbundisolatoren kommen verschiedene Grenzflächen vor, nämlich:

- Grenzflächen zwischen Glasfasern und Harz
- Grenzflächen zwischen Füllstoff und Polymer
- Grenzflächen zwischen Kern und Schirmhülle
- Grenzflächen zwischen verschiedenen Teilen der Schirmhülle, zwischen den einzelnen Schirmen oder zwischen Isoliermantel und Schirmen
- Grenzflächen zwischen Schirmhülle, Kern und Metallarmaturen.»

Die Grenzflächen kann man zusätzlich unterscheiden zwischen äusseren (sichtbaren) und inneren (nicht sichtbaren) Grenzflächen sowie zwischen makroskopischen und mikroskopischen Grenzflächen (Bild 2).

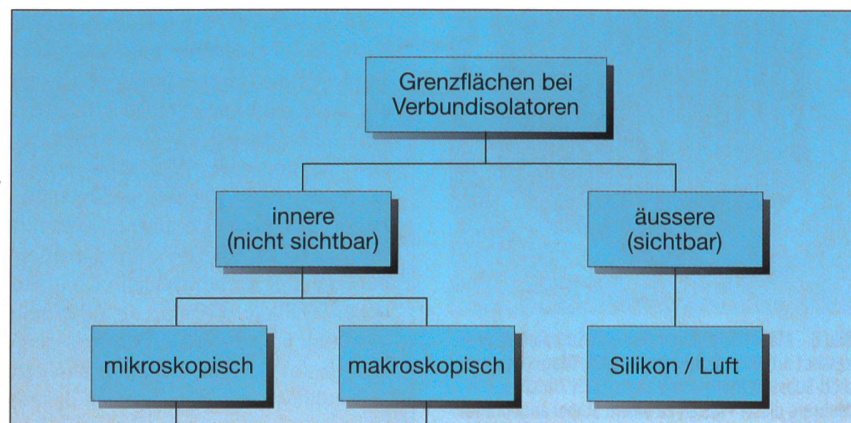


Bild 2 Ordnungsschema der Grenzflächen bei Verbundisolatoren

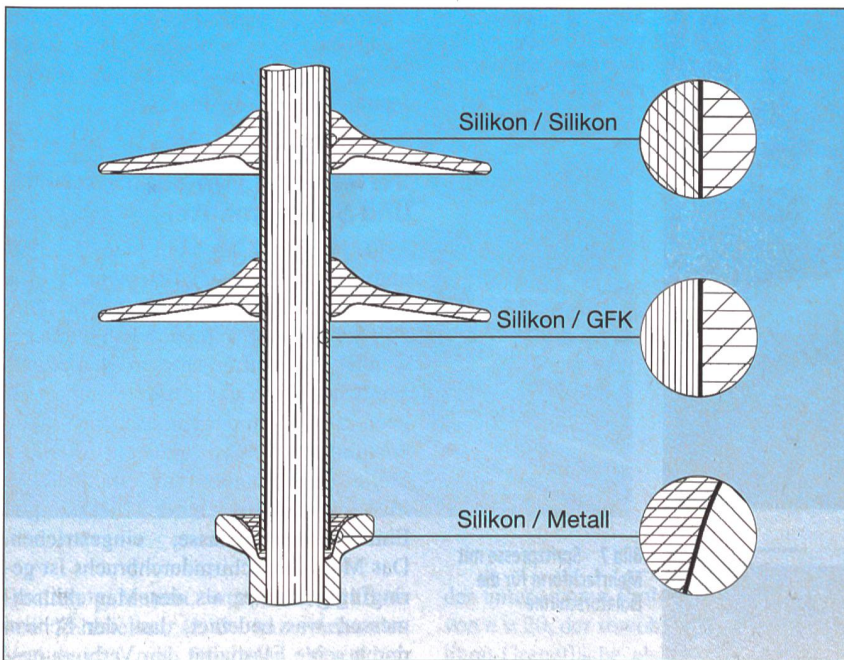


Bild 3 Innere, makroskopische Grenzflächen von Verbundisolatoren

Verständlicherweise wurde zunächst die äussere, die Silikon/Luft-Grenzfläche von Verbundisolatoren am ausführlichsten untersucht, ist sie doch entscheidend verantwortlich für das Betriebsverhalten der Isolatoren. Vor allem ihre Hydrophobie- und Alterungseigenschaften sind Bestandteil von vielen Arbeiten [4]. Diese haben dazu verholfen, dass Silikon für den Freilufteinsatz so weit optimiert wurde, dass heute Silikonverbundisolatoren weltweit generelle Akzeptanz genießen und vor allem bei Anwendungen mit

hoher Verschmutzung sehr oft zum Einsatz kommen [5].

Aber auch die inneren, mikroskopischen Grenzflächen Glasfaser/Epoxidharz und Füllstoff/Silikon werden von spezialisierten Zulieferfirmen so gut beherrscht, dass heute Silikon und glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) als ausgereifte Werkstoffe betrachtet werden können.

Zunehmend an Bedeutung haben dagegen in den letzten Jahren Untersuchungen über das elektrische Verhalten der inne-

ren, makroskopischen Grenzflächen von Verbundisolatoren gewonnen [6,7]. Das sind im einzelnen die Silikon/GFK-, die Silikon/Metall- und die Silikon/Silikon-Grenzflächen (Bild 3).

### Fertigungskonzepte von Verbundisolatoren

Über die Silikon/GFK- und die Silikon/Metall-Grenzfläche wurde unter anderem in [6] ausführlich berichtet. Dieser Aufsatz dagegen befasst sich primär mit den Silikon/Silikon-Grenzflächen, wie sie bei Verbundisolatoren in modularer Bauweise auftreten. Damit dies besser verständlich wird, werden in Bild 4 schematisch die beiden prinzipiellen Fertigungskonzepte von Verbundisolatoren in Erinnerung gerufen [8].

Bei der sogenannten modularen Bauweise (A) wird auf dem vorgängig gepressten GFK-Kern (Vollstab oder Rohr) im Extrusionsverfahren ein Silikonmantel von üblicherweise 3 mm Wanddicke aufgebracht. Die unabhängig davon gefertigten Schirme werden anschliessend auf diesen Silikonmantel plaziert und aufvulkanisiert. Im Gegensatz dazu wird im sogenannten einteiligen Verfahren (B) die gesamte Schirmhülle um den GFK-Kern, der in einer zweiteiligen Form positioniert ist, in einem oder bei längeren Isolatoren in mehreren Schritten (man spricht dann vom «Step by Step»-Verfahren) vergossen oder verpresst und in der Form ausvulkanisiert. Die Wahl des Verfahrens hängt im wesentlichen von der Losgrösse der herzustellenden Isolatoren

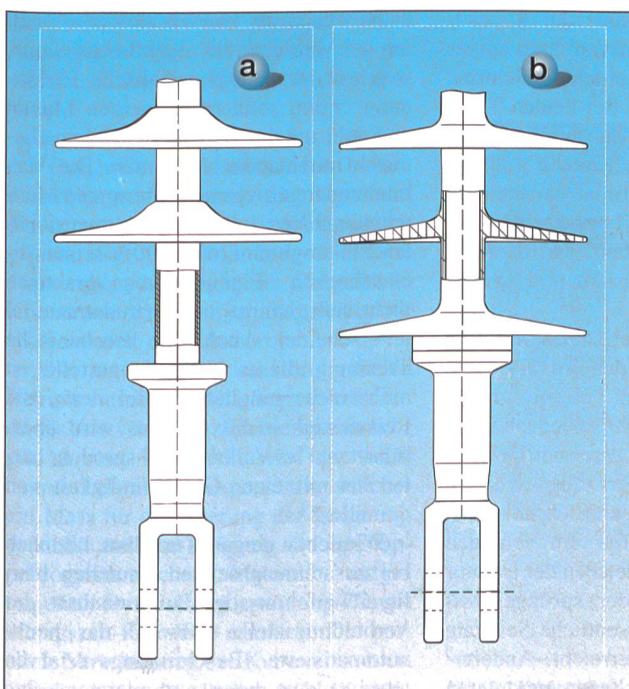


Bild 4 Prinzip der unterschiedlichen Fertigungskonzepte von Verbundisolatoren  
a: Modulares Konzept  
b: Einteiliges Konzept

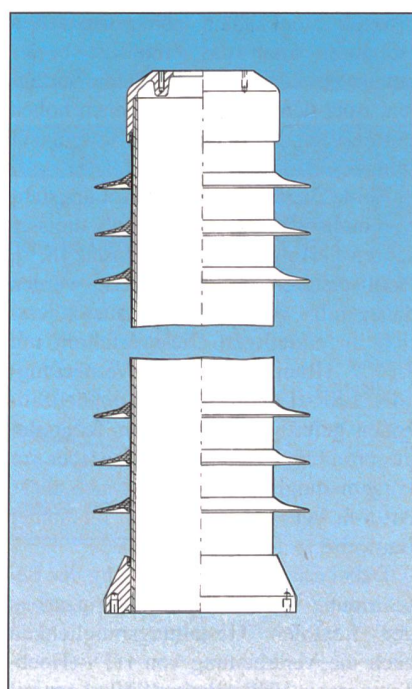


Bild 5 Prinzipzeichnung eines Verbundhohlisolators in modularer Bauweise

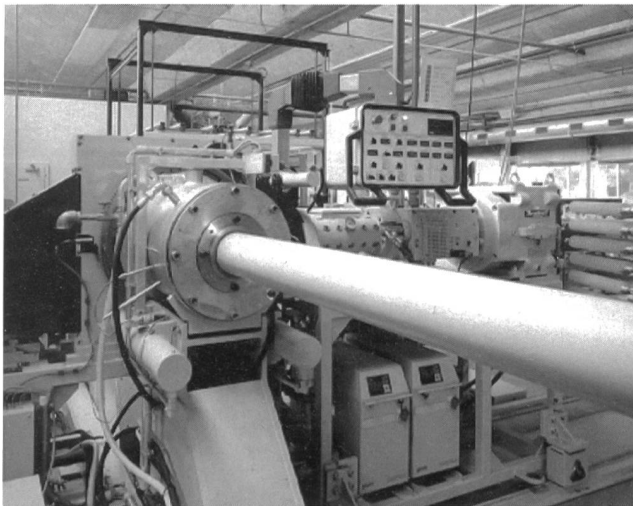


Bild 6 GFK-Rohr von etwa 300 mm Durchmesser beim Extrudieren mit HTV-Silikon



Bild 7 Spritzpresse mit Mehrfachform für die Isolatorschirme

ab. Bei kleinen bis mittleren Losgrößen ist das modulare Verfahren günstiger; bei grossen Stückzahlen von baugleichen Isolatoren kann das einteilige beziehungsweise das «Step by Step»-Verfahren, trotz den damit verbundenen hohen Formkosten, wirtschaftlich interessant sein.

Beide Verfahren sind bei Langstab-Verbundisolatoren seit mehr als dreissig Jahren erfolgreich im Einsatz [8, 9]. Hohlisolatoren in Verbundweise wurden dagegen bis vor kurzem fast ausschliesslich im einteiligen Giessverfahren mit RTV (Raum-Temperatur-Vernetzung) oder LSR-(Liquid-Silicon-Rubber-)Silikon gefertigt. Durch einen Technologiesprung im Extrusionsprozess ist es vor kurzem möglich geworden, auch diese Art von Verbundisolatoren in modularer Bauweise zu fertigen (Bild 5).

Dabei erlaubt die Unterteilung der Beschirmung in Mantel und Schirm neben der flexiblen Gestaltungsmöglichkeit auch die Verarbeitung von HTV-(Hoch-Temperatur-Vernetzungs-)Silikon auf

hochproduktiven Verarbeitungsmaschinen. Während der 3 mm dicke Mantel des GFK-Stabes oder -Rohres der Silcosil-Isolatoren im Extrusionsverfahren aufgebracht wird (Bild 6), werden die Schirme spritzgepresst (Bild 7). Bei beiden Techniken kann das Silikon durch exakte Temperatur-, Druck- und andere wichtige Prozessparameter optimal zu einem hochwertigen Isolierteil verarbeitet werden. Mittels dieser Verfahren wird zudem eine hohe Qualitätskonstanz und -sicherheit erreicht.

Diese Technologie erlaubt somit eine grosse Flexibilität in den Ausführungsformen der Isolatoren bei minimalem Werkzeugeinsatz. Für verschiedene GfK-Stab- oder Rohrdurchmesser wird jeweils nur ein Extrusionswerkzeug und ein Spritzpresswerkzeug, natürlich mit mehreren Einsätzen, benötigt. Im Vergleich zu Technologien, bei welchen der Isolator komplett gegossen oder spritzgepresst wird, wird so eine wesentliche Senkung der Werkzeugkosten erreicht. Andererseits lassen sich durch den modularen

Aufbau fast beliebige Kriechwege bei gleicher Schlagweite eines Isolators realisieren. Das ist vor allem bei hoher Verschmutzung von Bedeutung.

### Verbindung von Silikonschirm und Silikonmantel

Durch Feinabstimmung der Material- und Prozesseigenschaften wurde eine optimale Technologie der Verbindung von Schirm zu Mantel geschaffen. Dabei werden die Schirme auf den Mantel aufgebracht, indem sie einzeln im aufgeweiteten Zustand an der vorgesehenen Stelle positioniert werden. Zuvor wird diese Stelle des Mantels mit einem RTV-Silikonkautschuk, einer fließfähigen Einkomponentenmasse, eingestrichen. Das Mass des Schirmdurchbruchs ist geringfügig kleiner als der Manteldurchmesser, was bedeutet, dass der Schirm durch seine Elastizität den Verbindungsspalt voll auffüllt.

Die chemische Reaktion, die zur Haftung der (vulkanisierten) Schirme auf dem (vulkanisierten) Mantel führt, verläuft wie folgt:

Das RTV-Vulkanisat besteht aus losen Silikon-Kettenmolekülen. Es ist flüssig mit einer Viskosität zwischen fließfähig und pastös. Mit der Luftfeuchtigkeit reagieren die Endgruppen der Moleküle zu einem räumlich vernetzten Gebilde. Dabei wird das Vulkanisat in festen Kautschuk umgewandelt. Während der Vernetzung verbindet sich das Vulkanisat mit freien Silanolgruppen der hochdispersen Kieselsäure, welche zu 10–25% im HTV-Silikon von Mantel und Schirmen als Füllstoff zur mechanischen Verstärkung enthalten ist. Es handelt sich also nicht um ein Verkleben im eigentlichen Sinne, welches nur eine physikalische Verbindung ergibt, sondern es werden Mantel und Schirme durch das RTV-Silikon chemisch miteinander verbunden. Die Verbindungsfuge zwischen Schirm und Mantel vulkanisiert zu einem dreidimensionalen Silikongummi, das sich in seinen dielektrischen Eigenschaften praktisch nicht vom Schirm- und Extrudatmaterial unterscheidet. Auch eine mechanische Trennung dieser Verbindungsstelle ist nicht mehr möglich, es sei denn, die Reissfestigkeit des Silikons wird überschritten. Das Vulkanisationsprodukt härtet aus mit einer Geschwindigkeit von 4 mm in 24 h.

Wie schon eingangs erwähnt, bestehen bei zusammengesetzten Bauteilen häufig Zweifel an der Funktionalität der Verbindungsstelle. Obwohl das hochautomatisierte Beschirmungsverfahren (Bild 8) eine hohe und gleichmässige

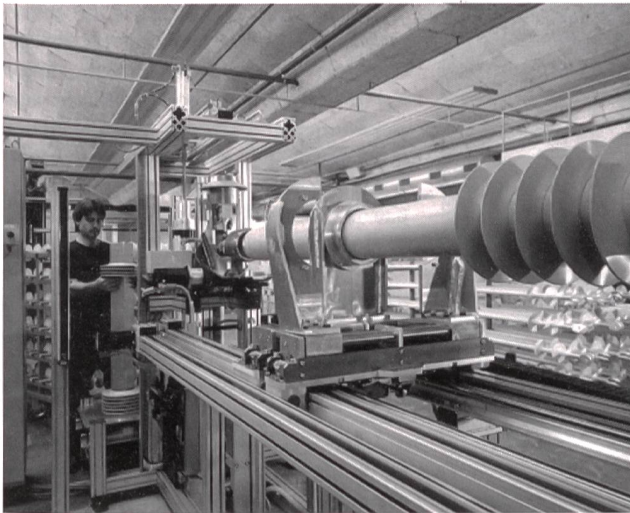


Bild 8 Automatische Beschichtungsanlage für Verbundisolatoren

den inzwischen dreissigjährigen störungsfreien Betrieb von Langstab-Verbundisolatoren in modularer Bauweise eindrücklich dokumentiert [8].

### Praxisnahe Prüfkörper für Hohlisolatoren

Da es sich bei den vorangegangenen Untersuchungen primär um Modellordnungen handelte, wurden eigene Versuche konzipiert und ausgeführt, welche im folgenden vorgestellt werden. Insbesondere wurde dabei der Hohlkörperisolator in modularer Bauweise mit HTV-Silikon betrachtet. Eventuelle Fehlerstellen an der Vulkanisationsgrenze zwischen der Silikonbeschichtung des Glasfaserkernes und dem aufvulkanisierten Silikonschirm beim modular aufgebauten Langstabisolator beeinträchtigen in keiner Form Eigenschaften und Lebensdauer des Isolators. Das belegt die langjährige Erfahrung. Der Einfluss solcher Fehlerstellen beim Hohlisolator unter Spannung sollte durch nachfolgend beschriebene Versuche mit bewusst provozierten Fehlerstellen ermittelt werden.

Qualität garantiert, wurde der Einfluss von Fehlstellen (z. B. unzureichendes Vulkanisat) mit folgenden Versuchen simuliert.

### Grundlagenuntersuchungen an einer Silikon/Silikon-Grenzfläche

Zunächst sollen in diesem Zusammenhang neuere Ergebnisse aus der Grundlagenforschung vorgestellt werden. Untersuchungen an einfachen Modellordnungen zeigten ein sehr gutes Verhalten der Silikon/Silikon-Grenzfläche [10]. Unter anderem wurde die Durchschlagsspannung an einem plattenförmigen Prüfkörper aus Silikonelastomer, an dem Spitzenelektroden aus Aluminiumfolie befestigt wurden (Bild 9), sowohl für die Silikon/Silikon-Grenzfläche als auch für das Einstoffsystem (nur Silikon, SIR) in Abhängigkeit von der Schlagweite gemessen. Bild 10 zeigt die Messergebnisse.

Es wurde dabei festgestellt, dass sich die Durchschlagsfeldstärken der beiden Anordnungen nicht wesentlich voneinander unterscheiden. Bei Schlagweiten grösser als 10 mm, wie sie in der Praxis vorkommen, hat sogar die Grenzfläche eine etwas höhere Spannungsfestigkeit als die einteilige Silikonprobe.

Aber auch das für den störungsfreien Betrieb entscheidende Langzeitverhalten dieser Art von Grenzfläche scheint sehr gut zu sein. In Bild 11 wird der sogenannte Lebensdauerexponent  $n$ , welcher ein Mass für die Alterung der Isolierung darstellt, aus der Steigung der im doppeltlogarithmischen Massstab aufgetragenen Durchschlagsspannung/Durchschlagszeit-Kennlinie ermittelt. Die parallele Verschiebung der Kurven resultiert aus den unterschiedlichen Schlagweiten

der untersuchten Proben. Der hohe Wert von  $n = 20$ , der sowohl für die Silikon/Silikon-Grenzfläche als auch für das Silikon ohne Grenzfläche errechnet wurde, berechtigt zu der Annahme, dass das bekannt gute Alterungsverhalten von Silikon auch auf die Grenzfläche übertragen werden kann. Diese Tatsache wird durch

Bild 9 Elektrodenanordnung (aus [10])

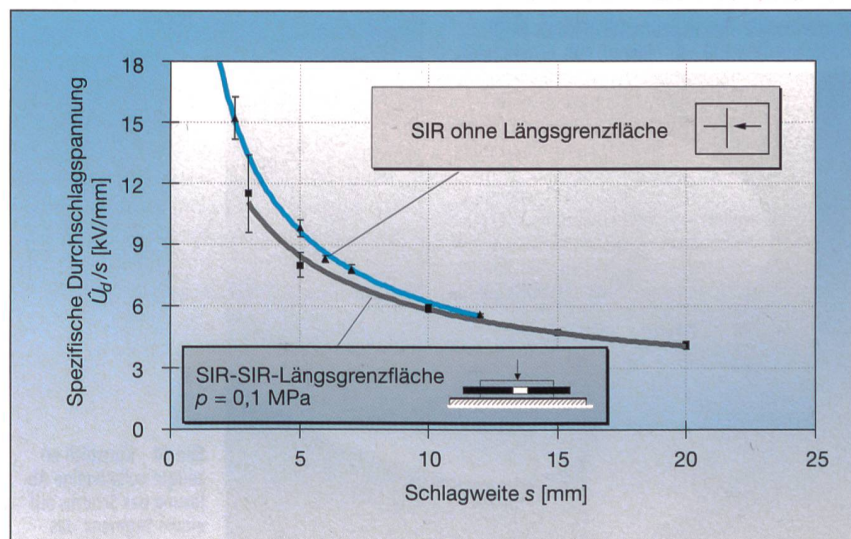
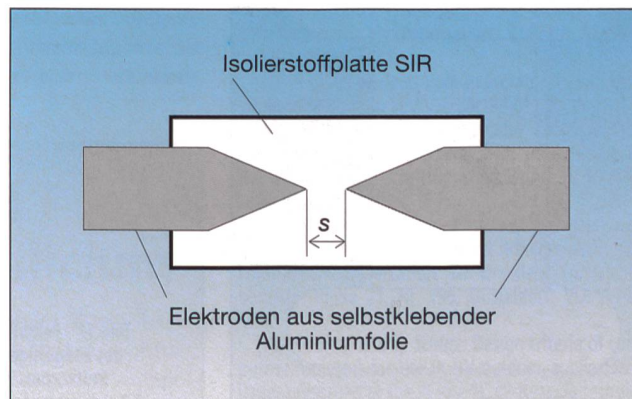


Bild 10 Abhängigkeit der spezifischen Durchschlagsspannung von der Schlagweite (aus [10])

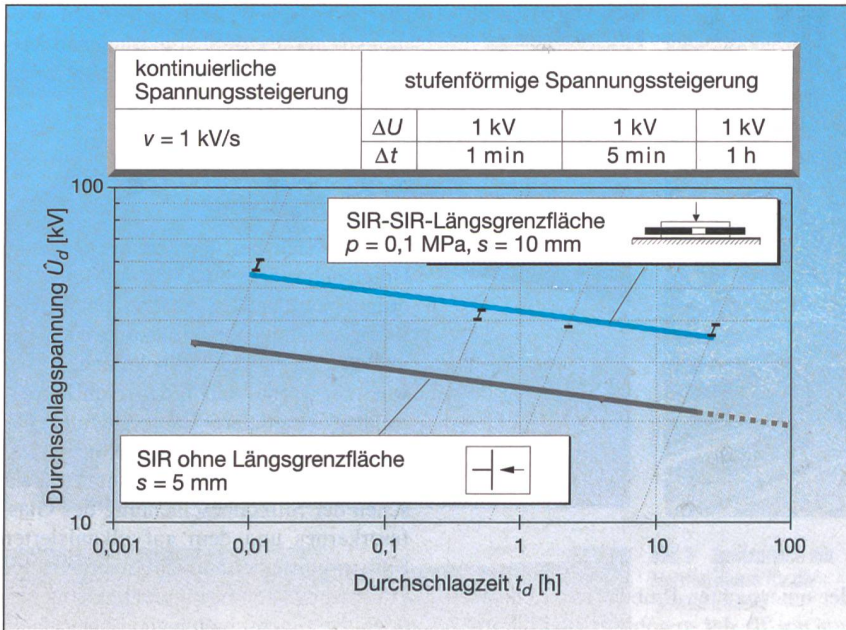


Bild 11 Vergleich der Lebensdauerkennlinie der Silikon/Silikon-Grenzfläche mit dem Silikoneinstoffsystem (aus [10])

Hierzu wurden praxisnahe Probekörper entwickelt, bei denen die als kritisch erachtete Grenzschicht (Silikonmantel/Schirm) möglichst hoch elektrisch belastet wurde. Bild 12 zeigt eine Zeichnung des daraus entstandenen Probekörpers.

Diese Zeichnung verdeutlicht den Aufbau des Probekörpers. Die innenliegenden Aluminium-Halbkugelelektroden erzeugen eine extreme Feldbelastung an der Vulkanisationsgrenzschicht zwischen Silikonmantel und aufvulkanisiertem Schirm. Mit Hilfe numerischer Feldberechnungen wurde nun die Position des Schirms am Prüfkörper so variiert, dass die auftretenden Feldstärken in tangentialer Richtung in der Grenzschicht maximiert wurden. Die endgültige Schirmposition wurde am Ort der maximalen Feldstärke gewählt. Bild 13 zeigt das Feldbild dieser Anordnung.

Nachdem nun die Position am Prüfkörper mit der maximalen elektrischen Belastung festgelegt war, wurden verschiede-

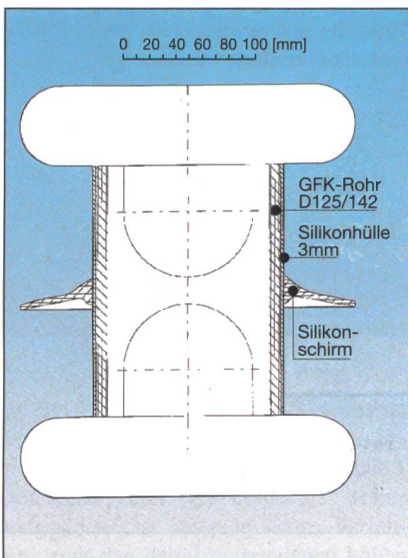


Bild 12 Prinzipzeichnung des Hohlisolatorprobekörpers

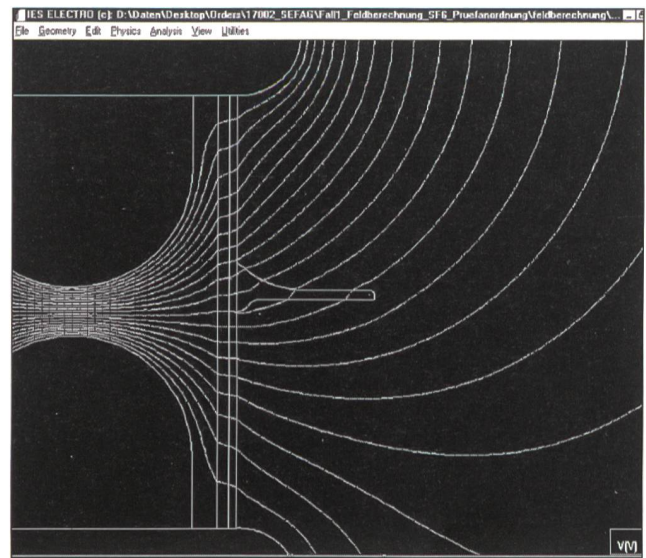


Bild 13 Feldbild des endgültigen Prüfkörpers in 5% Äquipotentialliniendarstellung

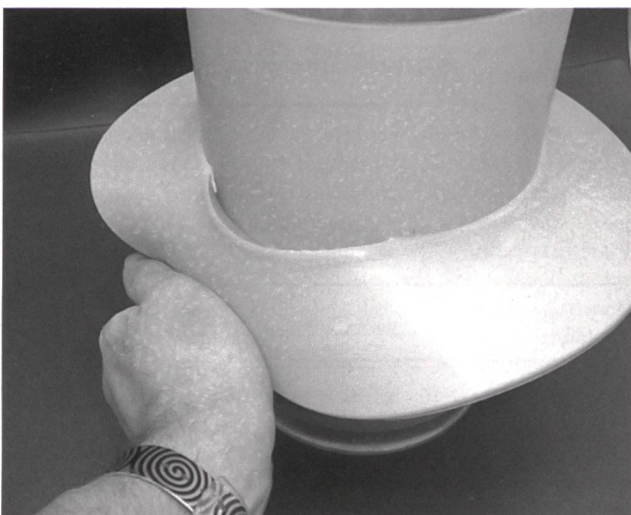


Bild 14 Künstlich erzeugte vollständige Ablösung des Schirms auf einem Segment, das etwa 20% des Umfangs einnimmt

dene Prüfkörper mit künstlich erzeugten massiven Fertigungsfehlern innerhalb der Grenzschicht hergestellt. Zu diesen Fertigungsfehlern zählten unterschiedliche Arten von Ablösungen des Schirms an der Vulkanisationsgrenzschicht. In Bild 14 ist ein Beispiel für diese künstlich erzeugten Ablösungen zu sehen.

Die praktische Erprobung von absichtlich beschädigten Prüflingen und ihr Vergleich mit intakten Prüflingen als Referenz sollte die Auswirkungen der Beschädigungen auf den Betrieb unter elektrischer Beanspruchung zeigen. Dabei wurden elektrische Beanspruchungen angewendet, die weit oberhalb jeder üblichen Dimensionierung, selbst für Prüfspannung, liegen. Um bei diesen extrem

hohen Belastungen Entladungen im Inneren der Prüfkörper zu unterdrücken, wurde der Hohlisolator mit SF<sub>6</sub> unter Überdruck gefüllt.

Die Hochspannungsprüfungen wurden im Hochspannungslabor der ETH Zürich (Bild 15) durchgeführt. Die einzelnen Prüflinge wurden mit Wechselspannungen bis zu 160 kV<sub>eff</sub> belastet. Alle Prüflinge wurden bis zum Überschlag belastet. Während der Prüfungen wurde der Teilentladungspegel gemessen. Es zeigte sich, dass zwischen den künstlich beschädigten Prüflingen und den intakten Referenzprüfkörpern kein signifikanter Unterschied in Teilentladungspegel oder Überschlagsspannung festzustellen war.

Bis zu einer Spannung von 100 kV traten keine Teilentladungen (Grundstörpegel 0,15 pC) auf. Oberhalb von 100 kV traten, wie durch die vorhergehende Feldberechnung prognostiziert, äussere Gleitentladungen an der Silikonoberfläche auf. Die Feldstärken in der Grenzschicht Silikon/Silikon von 14,1 kV/cm bei einer angelegten Spannung von 100 kV<sub>eff</sub> stellen Werte dar, die bei üblicher Geräte-dimensionierung (rund 2 kV/cm) einer mindestens fünffachen Überbeanspruchung entsprechen. Dabei bleiben auch extrem beschädigte Prüflinge immer noch teilentladungsfrei. Ein negativer Einfluss der Vulkanisationsgrenzschicht,

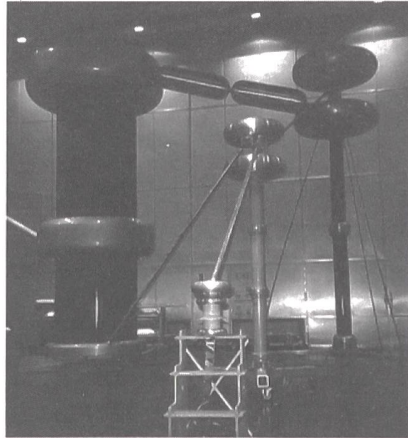


Bild 15 Prüfaufbau im Hochspannungslabor der ETH Zürich

selbst bei in der Praxis auszuschliessender extremer Beschädigung, ist also nicht zu erkennen.

### Ausblick

In weiterführenden Grundlagenuntersuchungen wurde die Silikon/Silikon-Grenzfläche zwischen Schirm und Strunk einer zeitraffenden Feuchtebelastung ausgesetzt. Dadurch wurde eine elektrolytisch leitfähige Fremdschicht, wie sie unter Freiluftbedingungen vorkommt,

simuliert. Auch bei diesen Tests zeigen die vorliegenden Ergebnisse keinen negativen Einfluss auf die elektrische Festigkeit der Isolatoren.

Neben den oben beschriebenen speziellen Prüfungen für die Silikon/Silikon-Grenzfläche sind in den einschlägigen Normen für Langstabverbundisolatoren [3] und für Verbundhohlisolatoren [11] ausführliche Bauartprüfungen (engl. Design Tests) vorgesehen. Sie bieten den Anwendern die Gewähr, dass gut konzipierte Verbundisolatoren in modularer Bauweise über die erforderliche Zuverlässigkeit und Lebensdauer verfügen, die der rauhe Netzbetrieb erfordert. Damit haben sie sich in den letzten Jahren weltweit zunehmend als echte Alternative zu den klassischen Porzellan- und Gasisolatoren etabliert.

### Literatur

- [1] K. O. Papailiou, W. Fluri und A. Wermelinger: Erfahrungen mit Einsatz von Verbundisolatoren. Bulletin SEV/VSE 81(1990)19, S.11-18.
- [2] K. O. Papailiou: Silikon in der Hochspannungstechnik. Bulletin SEV/VSE 81(1990)15, S. 33-37.
- [3] Composite insulators for a.c. overhead lines with a nominal voltage greater than 1000 V - Definitions, test methods and acceptance criteria. CEI/IEC 1109: 1992.
- [4] H. Büchner, F. Schmuck und A. Zanetti: Kunststoffisolatoren als Alternative. Bulletin SEV/VSE 88(1997)15, S. 25-32.
- [5] K. O. Papailiou: Verbundisolatoren auf dem Vormarsch. Bulletin SEV/VSE 88(1997)15, S. 19-24.
- [6] V. Homburg: Makroskopische Längsgrenzflächen zwischen festen Isolierstoffen. Dissertation TU Braunschweig, Fortschrittsberichte: Reihe 21, Nr. 178, Düsseldorf: VDI-Verlag 1995.
- [7] J. Oesterheld: Dielektrisches Verhalten von Silikonelastomer-Isolierungen bei hohen elektrischen Feldstärken. Dissertation TU Dresden, Fortschrittsberichte: Reihe 21, Nr. 196, Düsseldorf: VDI-Verlag 1995.
- [8] M. Kuhl und A. Schütz: Design criteria of composite insulators for use in HV outdoor applications. Paper presented at the «Cigré SC 22 Jornada tecnica sobre aislante compunto en lineas electricas», Madrid, 29<sup>th</sup> May 1997.
- [9] M. Kocher: Erfahrungen mit Silikonverbundisolatoren in den Tunneln der BLS Lötschbergbahn. Elektrische Bahnen 94(1996)11, S. 321-324.
- [10] H. Ulrich, R. Bärtsch und J. Pilling: Elektrisches Isoliervermögen von Feststoffisolierungen mit makroskopischen Längsgrenzflächen. 43<sup>rd</sup> International Scientific Colloquium, Technical University of Ilmenau, September 21-24, 1998.
- [11] Composite insulators - Hollow insulators for use in outdoor and indoor electrical equipment: Definitions, test methods and acceptance criteria. IEC/TS 61462 (1998-11), Ed. 1, November 1996.

## Surfaces de séparation des isolateurs composites au silicium

Les isolateurs composites au silicium sont utilisés depuis plus de 30 ans dans les techniques de l'énergie pour des raisons économiques et d'exploitation. Afin de pouvoir estimer la fiabilité et la longévité de ces isolateurs, on doit examiner avec un soin particulier leurs différentes surfaces de séparation. La pratique comme les essais de laboratoire ont démontré que les isolateurs composites au silicium conservent les bonnes propriétés d'isolation du silicium et que la durée de fonctionnement des isolateurs n'est pas raccourcie par ces surfaces de séparation. Cet article traite d'abord de l'origine, du comportement électrique et du test des surfaces de séparation des isolateurs composites conformément à la norme. Il évoque ensuite la mise au point d'un bloc d'essai fondé sur la pratique pour contrôler les fonctions de blindages vulcanisés. Les tests effectués n'ont démontré aucune influence lors du détachement ou de la fixation lâche des blindages sur la gaine de silicium sous une sollicitation environ jusqu'à cinq fois supérieure à des conditions courantes d'exploitation.