

# Allgemeines

Verfasser: Toni Wermelinger, Ruswil im April 2009

*Isolatoren beabstanden, mechanisch und elektrisch isolierend, spannungsführende Komponenten gegenüber Erde. Verbundisolatoren bestehen meistens aus zwei Metallarmaturen, einem Glasfaserstab und Silikonkautschuk zur Beschirmung. Der Glasfaserstab ist ein chemischer Verbund, bestehend aus einer Vielzahl von durchgehenden Glasfasern und der Harzmatrix. Die Metallarmaturen übernehmen die mechanischen Verbindungsfunktionen, erdseitig und hochspannungsseitig. Die inneren Grenzflächen sind mittels eines Haftvermittlers irreversible vulkanisiert. Die Kriechstrecke ist der äussere Oberflächenweg zwischen den beiden Armaturen. Die Durchschlagstrecke ist der innere Abstand der Armaturen zueinander. Die Überschlagstrecke ist der äussere kürzeste Abstand zwischen den blanken Armaturen. Die Verbindung der Metallarmatur mit dem Glasfaserstab erfolgt durch Radialpressen, wobei die Armatur plastisch und der Glasfaserstab elastisch deformiert werden. Die form – bzw. kraftschlüssige Rückstellkraft des Stabes ergibt bei definierter Oberflächenrauheit eine hochwertige mechanische Verbindung, wonach Längskräfte in Querkkräfte umgelagert werden. Diese Oberflächenrauheit ist beispielsweise ein signifikantes Qualitätsmerkmal.*

*Silikonverbundisolatoren bieten gegenüber herkömmlichen Isolatoren erhebliche Vorteile, so sind sie bis zu 10 Mal leichter. Das hervorragende Fremdschichtverhalten senkt die Betriebskosten der Netzbetreiber, dank hydrophober Oberfläche, die Kriechstromverluste sind minimal. Verbundisolatoren sind in variablen Längen, einteilig, d.h. ohne Zwischenarmaturen herstellbar. Gegen Steinschlag, Beschuss oder Vandalismus sind sie unempfindlich, so auch beim Transport und während der Montage.*

*Hinter dem einleitend so einfach geschilderten Aufbau eines Verbundisolators steckt analytisch betrachtet ein Hightechprodukt mit einem hochkomplexen Anforderungsprofil. Die elektrischen, chemischen und mechanischen Fertigungs- und Betriebsparameter wirken interdisziplinär überlagert und sind somit sehr schwer zu definieren bzw. zu beherrschen. Hinzu kommen unvorhersehbare Vorkommnisse, wie beispielsweise Vogelschäden. Neben vielen anderen Design-, Fertigungs- und Betriebsparametern sind nachstehend einige Themen sensibilisiert. Bei der Eintrittszone des Glasfaserstabes in die Metallarmatur ist eine Konzentration von heiklen Einflussgrössen stets präsent und dies einerseits während der Fertigung und andererseits in Betrieb. Mechanisch beginnt dort die Kraffteinleitung von reiner Zugkraft in einen Queranteil, dort gibt es Materialanhäufungen und verschiedenartige Grenzflächen und wiederum dort sind in Betrieb die kritischen Feldstärken oder der Lichtbogenfussbrennpunkt. Hinsichtlich Materialanhäufung ist zu beachten, dass sich Silikonkautschuk, als Duroplast, während der Verfestigung verglichen mit dem Erstarren in der*

*Thermoplastverarbeitung völlig anders verhält. Bei der Vulkanisation von Duroplast handelt es sich um chemische Reaktionen, während bei Thermoplast nur der Aggregatzustand ändert. Materialanhäufung unterliegt extrem nichtlinearen Temperaturgradienten während der Vulkanisation, begründet durch die schlechte Wärmeleitfähigkeit von Silikon. So konnten im Versuch, in den kritischen Zonen, bei Peroxidvernetzung Flüssiggase entnommen und die Zusammensetzung durch Ionenchromatographie, mit der Firma PanGas, ermittelt werden. Ausdiffundierte Flüssiggase hinterlassen nachweislich Hohlräumchen, die als Voraussetzung für Teilentladung (TE) gelten. Eine ähnliche Voraussetzung kann auch bei schlechter Haftung entstehen. Wer vorige Kriterien beherrscht, beherrscht die Isolatorfertigung! Bei innerer TE werden freie Masseteilchen (Ionen) im Frequenztakt an die Hohlraumwände geschleudert und abgebremst. Die durch kinetische Energie entstehenden punktuellen Überhitzungen können Spaltprodukte bilden und es können unter gegebenen Feldstärken und eindiffundierendem Wasser Säuren entstehen, welche den Stab bis zum Bruch zerfressen. Symptombekämpfung wird mit der Verwendung säureresistenterer Glassorten praktiziert. Äussere TE, sprich Korona, kann einerseits zu Radiostörspannungen und zu Oberflächenerosion am Isolator führen. Dasselbe bewirken auch Mikrolichtbögen an verschmutzten Stellen, bei hohen Feldstärken. Andererseits können die unterschiedlichen Temperaturlängenausdehnungskoeffizienten der Metall-, GFK-Paarung im Armierungsbereich die mechanischen Werte beeinflussen, insbesondere bei Minustemperaturen, weil der GFK-Koeffizient grösser ist. Bei Abnahmen wäre es sinnvoll, die mechanischen Werte bei tiefen Minustemperaturen an Prüflingen nachzuweisen, Es macht wenig Sinn, Stückprüfungen bei erhöhten Isolator-Temperaturen ab Maschine zu machen. Bei Isolatoren, welche jemals über den Glaserweichungspunkt erwärmt wurden, ist die Verspannkraft erlahmt und somit die Zugfestigkeit des Isolators reduziert. Zur Beurteilung des Langzeitverhaltens der Haftung von Silikon an Armatur und Glasstab sind zusätzlich stichprobenartige Kochtests nach DIN zu empfehlen und der Nachweis von TE-Freiheit im Armaturbereich.*

*Bei einem, vor Jahren, in Betrieb gebrochenem Isolator (nicht Sefagprodukt, additionsvernetzt) konnte die EMPA (Eidgenössische Materialprüfungsanstalt der ETH) einerseits stattgefunden TE erkennen und andererseits durch Ionenchromatographie Säuren nachweisen. Im entsprechenden EMPA-Bericht 130589 wurde der Isolatorenbruch durch Säureeinwirkung dokumentiert. So gesehen ist der vorher beschriebene Zerstörungsmechanismus fundiert. Ein anderes, nicht zu unterschätzendes Kriterium sind Glasfasern, die physikalisch bedingt während der Faserherstellung per Zufall zu Nanoröhrchen werden und nicht immer Vollstäbchen sind. Dieses Phänomen wurde bereits vor Jahren erkannt und hat nachweislich zum Durchschlag eines anderen Isolators geführt (Sefagprodukt). Diese Nano-Röhrchen haben die Eigenschaft, durch die Kapillarwirkung mit Flüssigkeit gefüllt zu werden, beispielsweise beim Trennen oder beim Transport usw. (Versiegelung). In diesen Nanoröhrchen kann sich dann*

ein Elektrolyt bilden, als Voraussetzung für einen Leckstrom, der wie vorstehend erwähnt mit einem Durchschlag geendet hat. Aus dem EMPA-Bericht 130985 resultiert die Schlussfolgerung, dass **Sorgfalt** und **Qualität** für die Risikoeinschränkung entscheidend seien und hinsichtlich TE, die Hohlraumfreiheit und gute Haftung dazugehören. In diesem Bericht wird erwähnt, dass aufgrund der Literatur, ein derartiger Bruch keinesfalls ein Einzelfall ist. CIGRE Paris koordiniert diesbezüglich international auf höchster Ebene; speziell die Kommissionsmitglieder sollten gut informiert sein.

Isolatorenbrüche könnten haftpflichtmässig verheerende Folgen haben. Anwender und Hersteller müssen sich dem Produkthaftungsrisiko, im Falle eines Regress, bewusst sein. Nach OR, Art. 41 ist derjenige, der jemandem absichtlich oder fahrlässig einen Schaden zufügt, zum Schadenersatz verpflichtet. Nach Artikel 55 haftet der Hersteller für den Schaden, wenn er nicht nachweisen kann, dass der Schaden auch bei Anwendung der Sorgfaltspflichten eingetreten wäre. Nach Art. 321d kann (muss) der Arbeitgeber im Betrieb Anordnungen und Anweisungen erlassen, zur Erfüllung der Sorgfaltspflichten. Nach Art. 321e ist der Arbeitgeber für das Mass der erforderlichen Sorgfalt verantwortlich, wenn er das Risiko kannte oder hätte kennen sollen und er muss den Bildungsgrad, die Fachkenntnisse und die Fähigkeiten der Arbeitnehmer richtig beurteilen, auch die des CEO. Ergänzungen findet man im Produkthaftpflichtgesetz vom 18. Juni 1993. Die Produkthaftpflicht ist Chefsache, d.h. Sache der Geschäftsleitung und des Verwaltungsrates, denn sie sind vor dem Gesetz verantwortlich. Wer die Sorgfaltspflichten nicht durchgesetzt hat handelt fahrlässig und muss, neben der zivilrechtlichen Schadenswiedergutmachung (versicherbar), strafrechtlich mit einer Verantwortlichkeitsklage (nicht versicherbar) rechnen. Übrigens gilt dies für alle Schwachpunkte, die bei Vertragsabschluss bekannt waren, wie beispielsweise den vorstehend erwähnten Vogelfrass!

Isolatorenhersteller sind gut beraten, die Sorgfaltspflichten seriös zu studieren und eine angemessene Qualitätssicherung sicherzustellen. Dazu zählen insbesondere die Rückverfolgbarkeit von Fertigungsparametern und speziell die Qualifikation der integrierten Mitarbeiter. Im Tagesgeschäft mit unterschiedlichen Mitarbeitern verschiedenartige Isolatoren mit gleichbleibender Qualität zu produzieren ist für alle aktiv Beteiligten eine höchst respektable Leistung. Nicht selten ignorieren elitäre und rein umsatzverliebte Manager (**analog Bankmanager**) vorige Feststellungen, weil einerseits die Sachverständigkeit völlig fehlt und andererseits auf keinen ganzheitlichen Erfahrungshintergrund zurückgegriffen werden kann, so auch Hochschulingenieure ohne Entwicklungserfahrung. Die Kosten für ebenfalls branchenferne Unternehmensberater könnten durch ein Kommunikationsklima auf Augenhöhe und mit fähigen Vorgesetzten mehr als egalisiert werden (Wissensmanagement). Im EMPA – Bericht wird erwähnt, dass bei einem derart sensiblen Produkt wie einem Isolatoren

hochwertige Technik vor der Ökonomie komme. Realistisch ist sicherlich eine ganzheitliche Sichtweise. Die im hier vorliegenden Aufsatz beschriebene Situation und die Schlussfolgerung im EMPA - Bericht 130985, aber auch die in der Literatur verfügbaren Schadensanalysen, erfordern eine fachlich hochqualifizierte und hochspezialisierte Qualitätssicherung durch einen ausgewiesenen Diplomingenieur mit einschlägigem Know-how, der aufgrund seiner fundierten und interdisziplinären Ausbildung die Risiken professionell argumentieren und Erkenntnisse rückkoppeln kann. Nur so kann in der Fertigung, der Verfahrenstechnik und dem Werkzeugbau das physikalische und chemische Know-how auf angemessenem Niveau professionell umgesetzt werden. Der Qualitätsverantwortliche muss auch in der Lage sein, den Entwicklern wirksame Messtechniken vorzuschlagen und diese aussagekräftig zu positionieren, sowie die Produktionsfachleute permanent zu schulen. Der Gesamt-Produktions-Verantwortliche in der Geschäftsleitung sollte aus den gleichen Gründen ein Ingenieur mit vorzugsweise praktischer Vorbildung sein, damit insbesondere die Entwickler, die Konstrukteure und alle anderen Mitarbeiter fachlich kompetente Ansprechpartner haben. Sie sollten menschlich unparteiische Persönlichkeiten sein und Elementarwissen in Chemie, Maschinenbau und Elektrotechnik, aber auch in der Steuerungs- und Regelungstechnik haben. **Nur auf diesem fachlichen Niveau ist es, hinsichtlich Sorgfaltspflichten, insgesamt verantwortbar, Verbundisolatoren in den Netzbetrieb zu geben.** Eine administrativ qualifizierte Vorzeigequalitätssicherung ist reine Kostenverschwendung und bringt den Stand der Technik nicht zu fachlich qualifizierter Kompetenz. Seit dem erwähnten EMPA – Bericht aus dem Jahr 1991 habe ich stets eine fachlich qualifizierte Qualitätssicherung bzw. Produktionsleitung vorgeschlagen. Dass die gleiche Person gleichzeitig für die Gesamt-Produktion und die Qualitätssicherung verantwortlich ist, ist mit der Befangenheitsphilosophie der üblichen Gewaltentrennung in unserem Rechtsverständnis nicht vereinbar. Einfach formuliert kontrolliert dann der Kontrollierte die Kontrolleure.

Die weltweiten Erfahrungen und das vorhandene Fachwissen lehren, dass Verbundisolatoren mit einem perfekten Design, einer perfekten Fertigung und einem perfekten Controlling perfekt funktionieren.

**Fazit:** Zusammenfassend ist es für Anwender von Starkstromkomponenten aller Art selbstverständlich, dass hinter dem Qualitätsnachweis des Lieferanten ausgewiesene Fachleute, mit höherer Ausbildung des Maschinenbaus bzw. der Elektrotechnik, mit spezifischer Weiterbildung, stehen. Bei Abnahmen ist es ratsam, nicht nur die Produkte, die Prüfkriterien und das Q-System zu begutachten, sondern explizit auch die fachlichen Qualifikationen der am Produkt beteiligten Personen zu hinterfragen, insbesondere die der Q-Verantwortlichen. **Selbst bei exzellenten Beziehungen, zur Prominenz und/oder zum Filz, steht niemand über dem Gesetz, der Pflicht und dem Recht!**