

Dr. Bodo Brühl

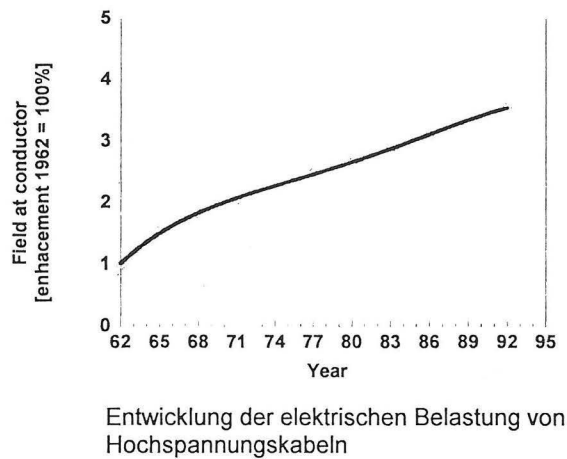
Leiter Technik Isolierkomponenten

Micafil AG

## Kurzfassung

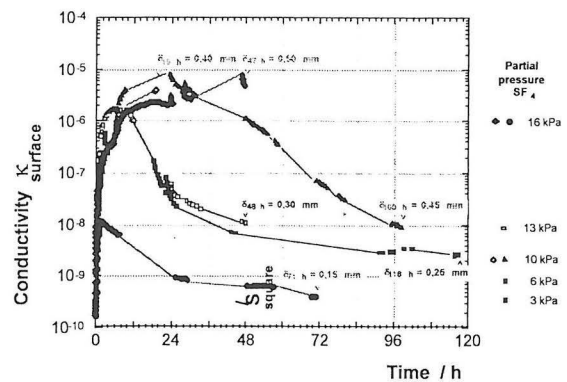
Isolationssysteme für Kabelanwendungen unterliegen zunehmend dem Druck auf der Kostenseite bei gleichzeitig steigenden technischen Anforderungen. Um unter diesen Randbedingungen für den Kunden zufriedenstellende Lösungen zu erreichen, stellt den Hersteller derartiger Isolationssysteme vor eine Reihe anspruchsvoller Herausforderungen - sowohl bei der Herstellungstechnologie wie auch bei der Auswahl geeigneter Werkstoffe. Für die klassischen Kabelendverschlüsse wie auch Kabelmuffen im Bereich der gehobenen elektrischen Spannungsebene bilden Epoxidharze immer noch die bevorzugte Basis. Anhand einiger ausgewählter Anwendungsbeispiele werden die werkstoffspezifischen Aspekte vorgestellt (dielektrisches Verhalten und elektrische Festigkeit, mechanisches Kurzzeit- und Langzeitverhalten, thermische Eigenschaften) und hinsichtlich ihres Einflusses auf die Anwendungen erörtert. Neue Entwicklungen werden aufgezeigt.

Der Trend zur Erhöhung der elektrischen Belastbarkeit von kunststoffisolierten Kabeln für den Hochspannungsbereich wird sich weiter fortsetzen. Während die elektrische Isolation des Kabels von den Kabelherstellern, basierend auf deren langjährigen Erfahrungen, weitgehend in house vorangetrieben werden, kommen bei den Zubehörteilen verstärkt Zulieferer zum Zuge.



### Kabelendverschlüsse

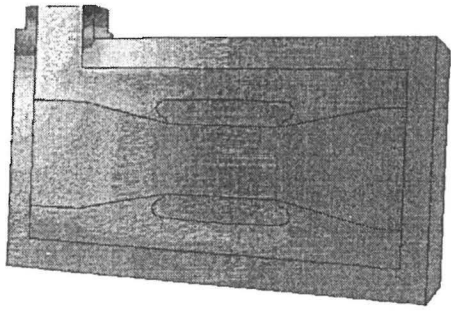
Der Abgang von einer elektrischen Schaltanlage wird mit Kabelendverschlüssen realisiert. Aus Gründen der Kompatibilität werden Abmessungen von den unterschiedlichen Herstellern von Schaltanlagen häufig in Abstimmung zu einschlägigen internationalen Standards gewählt. Dies schränkt den Spielraum für Entwicklungen ein, bietet aber für Hersteller der eigentlichen Kabelendverschlüsse die Möglichkeit, in größere Stückzahlen gehen zu können, was aus Sicht einer Kostenminimierung Vorteile bietet. Von der Materialseite her bleiben übliche EP-Systeme im Einsatz. Für höchste Ansprüche hinsichtlich elektrischer Eigenschaften, insbesondere wenn SF<sub>6</sub>-Zersetzungsprodukte in die vom Kabelendverschluß abgeschlossenen



Gasräume dringen können, ist weiterhin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gefülltes Epoxydharz die beste Wahl, während zunehmend mehr kostengünstigere quarzmehlgefüllte EP-Systeme verwendet werden. Allerdings muß dabei stets berücksichtigt werden, daß quarzmehlgefüllte EP-Systeme einen um mehrere Größenordnungen höheren Sprung in der elektrischen Leitfähigkeit durch SF<sub>6</sub>-Zersetzungsprodukte zeigen.

## Kabelmuffen

Die Verbindungsstelle innerhalb einer Hochspannungs-Kabelstrecke wird abgeschirmt durch einen Muffenkörper. Dieser übernimmt den mechanischen wie auch



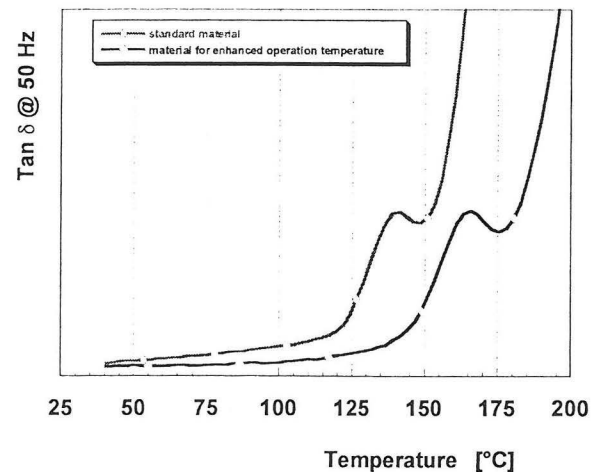
Simulation der Prozeßführung bei Fertigung von Muffenkörpern

den elektrischen Schutz dieser Schwachstelle. In Zusammenarbeit mit einem Kabelhersteller ist bei Micafil ein Muffenkörper aus Epoxydharz entwickelt worden, der in unterschiedlichen Baugrößen von 220 kV bis 400 kV Nennspannung eingesetzt wird.

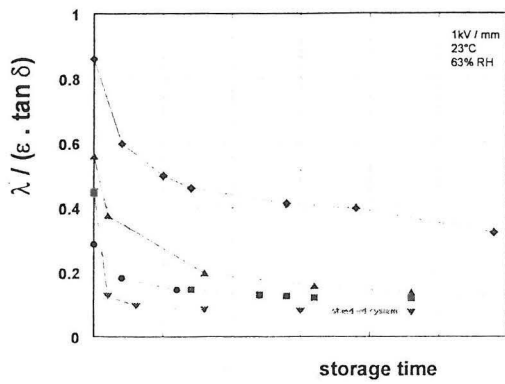
Allein die Beherrschung der Prozeßführung mit der erheblichen

Wärmeentwicklung durch die exotherme Reaktion dieser großvolumigen Bauteile stellt eine besondere Herausforderung an den Hersteller dar. In der Entwicklungsphase konnte von rechnergestützten Simulationen für die Formfüllung sowie den Geliervverlauf nutzbringend Gebrauch gemacht werden.

Die bereits erwähnte Steigerung der spezifischen elektrischen Belastung von elektrischen Hochspannungskabeln spiegelt sich auch in den Anforderungen an die Materialeigenschaften der Muffenkörper wider. Hier gilt es, neben der Erfüllung der eigentlichen elektrischen Isolierfunktion, dem Umstand Rechnung zu tragen, daß sowohl die Erzeugung thermischer Verluste wie auch deren Abführung beherrscht werden müssen. Die Minimierung elektrischer Verlustwärmen kann durch die Anhebung des Glasumwandlungspunktes  $T_g$  hinreichend gut und günstig realisiert werden. Der in der Regel mit höherem  $T_g$  einhergehende Zähigkeitsverlust muß durch aufwendige Materialoptimierungen kompensiert werden, damit es nicht zum mechanischen Versagen des Muffenkörpers kommt.



Verlauf der dielektrischen Verlustfaktors für EP-Systeme in Abhängigkeit der angelegten Temperatur



Verhalten von EP-System bei Feuchtelagerung

Sowohl die Entstehung der dielektrischen Verlustwärmern wie auch deren Wärmeabfuhr wird maßgeblich durch den eingesetzten Füllstoff bestimmt. Das Verhältnis der Wärmeleitung zur Entstehung der Wärme – beschrieben durch den dielektrischen Verlustfaktor und die Dielektrizitätskonstante - kann als Merkmal für die Eignung von Formstoffen

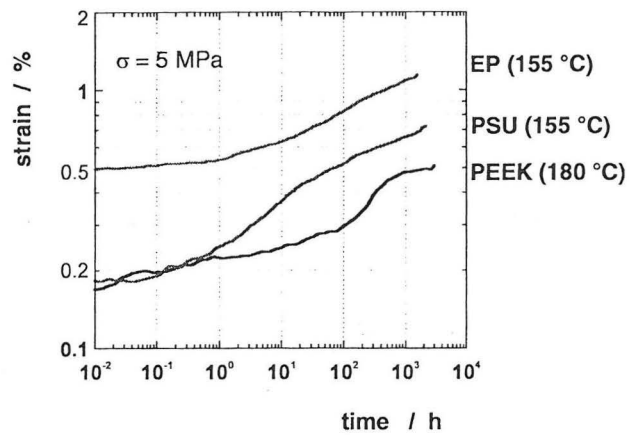
herangezogen werden. Von den Randbedingungen des Einsatzes derartiger Muffenkörper kommt der Feuchtigkeit eine erhebliche Bedeutung zu. Erst eine Beobachtung der jeweiligen Formmassen in Anhängigkeit einer Feuchteinwirkungsdauer kann über die Eignung als Material für hochbeanspruchte Muffenkörper entscheiden.

## Materialentwicklungen

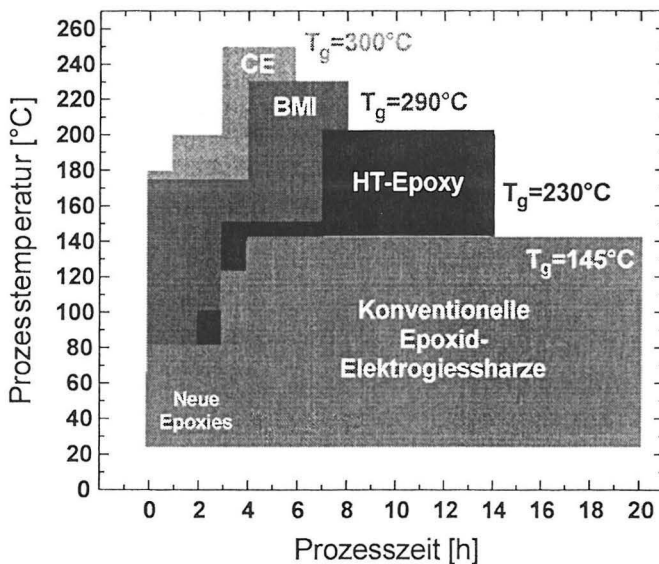
Bei der Betrachtung von neuen Trends in der Werkstoffentwicklung steht für Verarbeiter von Duromeren Systemen die Verringerung der Zykluszeiten im Vordergrund. Daher genießen Thermoplaste grundsätzlich große Aufmerksamkeit. Wenngleich deren mechanische und elektrischen

Festigkeitswerte durchaus mit EP Systemen zu vergleichende Niveaus erreichen, steht den Thermoplasten weiterhin

die Begrenztheit an erzielbaren Querschnitten im Wege, damit die mechanischen Lasten von Teilen, wie sie für Kabelanwendungen notwendig sind, ertragen werden können.



Kriechkurven mineralisch gefüllter Isoliersysteme auf Basis Epoxidharz EP, Polysulfon PSU und Polyetheretherketon PEEK



Aber auch die Entwicklung neuer Epoxidharz-Systeme steht nicht still. Es gibt mittlerweile erfolgversprechende Ansätze für die Bereitstellung neuer Harzsysteme, die sogar eine Verkürzung der Prozeßzeit bei gleichzeitiger Anhebung der Einsatztemperatur in Aussicht stellen.

Vergleich der Prozesszeiten konventioneller Elektroharze mit High-Performance Harzen und den neuen niedertemperaturhärtenden Hoch-Tg-Epoxidharzen (Neue Epoxies) /2/

/1/ Brühl, B.; Niemeyer, L. : Monitoring of electrical properties of particulate filled epoxy resins under corrosive stress. EEIC/ICWA, Chicago, 4.-7.10.1993

/2/ Brühl, B.; Förster, St. : Trends für elektrische Isolationswerkstoffe. Informationstagung ETG "Anwendung der Supraleitung und neuer Isolierstoffe in der elektrischen Energieverteilung. Zürich, 21.03.2000.