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: 88 (1997)

Heft: 7

Artikel: Unterschätzte Dauerkraft der Verbundisolatoren : neue Erkenntnisse über das Langzeitverhalten von zugbeanspruchten Verbundisolatoren

Autor: Lumb, Clive / Papailiou, Konstantin O.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902190

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: 09.12.2025

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

Entgegen landläufiger Meinung besitzen Verbundisolatoren nicht nur eine hohe Zugfestigkeit, sondern auch eine beachtliche Dauerkraft, die selbst bei längerer Belastungsdauer nicht unterschritten wird. Somit kann man Verbundisolatoren ähnlich dimensionieren wie Langstabisolatoren aus Porzellan. Im vorliegenden Aufsatz werden neue Resultate zum mechanischen Langzeitverhalten von Verbundisolatoren zusammen mit den relevanten Begriffen aus der massgebenden IEC-Norm und den darin definierten Prüfungen vorgestellt.

Unterschätzte Dauerkraft der Verbundisolatoren

Neue Erkenntnisse über das Langzeitverhalten von zugbeanspruchten Verbundisolatoren

■ Clive Lumb
und Konstantin O. Papailiou

Verbundisolatoren bestehen aus einem glasfaserverstärkten Stab sowie, in den meisten Fällen, aus einer Silikonbeschirmung. Ihr detaillierter Aufbau und ihre Funktionsweise sind unter anderem in [1] beschrieben. Eine Übersicht über die vielfältigen Anwendungen von Verbundisolatoren im elektrischen Netz findet man in [2].

Das Prinzip der Verbundisolatoren kennt man seit über 30 Jahren. Vielerorts hat man sehr früh solche Komponenten versuchsweise eingesetzt und dabei mehrheitlich positive Betriebserfahrungen gemacht. Ein echter Erfolg liess aber vorerst auf sich warten. Erst in den 90er Jahren hat die Akzeptanz der Verbundisolatoren sprunghaft zugenommen und ihnen in der Folge weltweit zu einem breiten Einsatz im Netz verholfen. Dieser Durchbruch der neuen Isolatoren – nach dem aufgrund von Betriebssicherheitsüberlegungen verständlichen Zögern der Netzbetreiber bei der Verwendung solcher neuer Produkte und Technologien – hat aus verschiedenen Gründen stattgefunden:

Zum einen wurden die klaren Vorteile von Verbundisolatoren, wie zum Beispiel ihr sehr gutes Verschmutzungsverhalten, ihre Unempfindlichkeit gegen Bruch, ihr niedriges Gewicht, ihre kompakte, platzsparende Bauweise usw., erkannt. Die Anwender lernten, wie diese Vorteile optimal genutzt werden können, wenn ihre Eigenschaften bereits bei der Planung, beispielsweise von Freileitungen, berücksichtigt werden. Zum anderen konnten die Herstellkosten dieser Isolatoren durch eine industrielle Fertigung erheblich reduziert werden. Mit den zunehmenden Stückzahlen liessen sich auch die Materialkosten drastisch senken. Das Preisniveau der Verbundisolatoren reduzierte sich so auf jenes herkömmlicher Porzellanisolatoren, was für ihren Erfolg von entscheidender Bedeutung war. Im weiteren war es förderlich, dass den Anwendern die internationale Norm IEC 1109 [3], die in fast zehnjähriger intensiver Arbeit in der Cigré [4] und in der IEC entstanden war, rechtzeitig zur Verfügung gestellt werden konnte.

So sehr aber diese Norm geholfen hat, die Dimensionierung, die Auswahl und die Prüfung von Verbundisolatoren für alle Beteiligten auf eine sichere Basis zu stellen, so hat sie im Laufe der Zeit auch neue Probleme aufgeworfen. Wie fast bei jeder Norm ergaben sich auch bei dieser nach ihrer Entstehung neuere Erkenntnisse, die zwar in den Fachgremien bekannt waren und diskutiert wurden, aber

Adresse der Autoren
Clive Lumb, Sediver, F-03270 Saint Yorre, und Dr. *Konstantin O. Papailiou* Sefag AG, Werkstrasse 7, 6102 Malters

den Praktiker in der Anwendung nicht erreichten. Dies führte dann oft zu Missverständnissen. Ein solcher Fall ist die Behandlung des Langzeitverhaltens von Verbundisolatoren unter Zugbelastung in der zitierten IEC-Norm [3]. Es ist das Ziel dieser Veröffentlichung, die neuesten Erkenntnisse auf diesem Gebiet – sie stammen mehrheitlich aus der internationalen Gremientätigkeit der beiden Autoren – einem breiteren Publikum bekanntzumachen.

Die Dauerkraftkurve von Verbundisolatoren nach IEC 1109/92

In der heute gültigen IEC 1109/1992 sind im wesentlichen drei Prüfungen zur Ermittlung der mechanischen Festigkeit von Verbundisolatoren vorgesehen: Im Annex *A* wird im Rahmen einer *Bauartprüfung* auf das Langzeitverhalten von Verbundisolatoren eingegangen und werden die dazugehörenden Versuche beschrieben. Am selben Ort wird auch darauf hingewiesen, dass die Zugfestigkeit von Verbundisolatoren aufgrund von Kriechvorgängen mit der Zeit abnimmt; diese Abnahme könne man als linear mit dem Zehnerlogarithmus der Zeit der Lastanwendung annehmen. Grafisch dargestellt wird dieser Sachverhalt durch die Gerade *a* in Bild 1. Der Wert F_{Br} bedeutet die im Zugversuch (1-min-Prüfung) ermittelte mittlere *Bruchkraft* von drei Prüflingen. Die Norm verlangt weiterhin, dass die Neigung der Geraden *a* maximal 8% pro Zeitdekade betragen darf. Dies ist experimentell mit einer 96-Stunden-Dauerprüfung von weiteren drei Prüflingen – belastet mit 60% der vorher ermittelten mittleren Bruchkraft F_{Br} – zu überprüfen, wie in Bild 1 angedeutet wird.

Weiter wird in der Norm die sogenannte *Nennkraft* (engl.: *SML* = specified mechanical load) eingeführt. Sie ist definiert als die Kraft, die nach einer 96-h-Dauerprüfung mit 70% der (vom Hersteller angegebenen) Nennkraft des Isolators in einem anschliessenden 1-min-Zugversuch gehalten wird, und ist in der *Typenprüfung* zu bestimmen (Bild 2). Schliesslich ist eine *Stückprüfung* vorgesehen mit einer *Stückprüfkraft* (engl.: *RML* = routine mechanical load), die 50% der Nennkraft beträgt und bei jedem Isolator vor der Auslieferung im Zugversuch nachgewiesen werden muss.

So wichtig es in der Zeit der Normerstellung war, auf diese Besonderheit des mechanischen Langzeitverhaltens von Verbundisolatoren hinzuweisen, so sehr hat diese Darstellung die Anwender irritiert und oft zu überflüssigen Überdimensionierungen geführt. Zwei Gründe sind im wesentlichen dafür verantwortlich:

Erstens suggeriert der lineare Abfall der Dauerkraftkurve in der Norm, dass diese Bruchkraft eines Verbundisolators mit der Zeit kontinuierlich abnimmt. Dabei wird gedanklich oft übersehen, dass diese Kurve die Lebensdauer bis zum Bruch eines Verbundisolators lediglich für den Fall angibt, dass er *dauernd* mit einer bestimmten Zugkraft belastet wird. Und zweitens impliziert der lineare, unbegrenzte Kurvenabfall, dass nach einer endlichen – wenn auch recht langen – Betriebszeit die Zugfestigkeit des Verbundisolators praktisch auf Null absinken würde, was zur absurden Schlussfolgerung führt, dass ein Verbundisolator, der im Lager «vergessen» worden ist, eines fernen Tages von sich aus in zwei Teile zerfallen wird. Dass dies nicht stimmen kann, sagt nicht nur der gesunde Ingenieurverstand, sondern belegen auch die nachfolgenden experimentellen Tatsachen und theoretischen Überlegungen.

Neues Modell für das Langzeitverhalten von Verbundisolatoren

Ein neues Modell, welches in seinen Grundzügen zuerst in [5] vorgestellt wurde, wird im folgenden erweitert. Wie eingangs erwähnt, übernimmt in einem Verbundisolator ein Vollstab aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) die zum Teil beachtlichen mechanischen Lasten. Dieser selbst ist ein Verbundwerkstoff, der aus hochwertigen, in einer Giessharz- oder (seltener) Polyestermatrix eingebetteten Glasfasern besteht. Aufgrund des Herstellungsverfahrens – es ist meistens ein Poltrusionsverfahren – sind die Glasfasern uniaxial ausgerichtet und erstrecken sich über die gesamte Stablänge, die wenige Zentimeter oder bis zu vier Meter oder mehr bei Höchstspannungsisolatoren betragen kann.

Das mechanische Verhalten dieses GFK-Stabes unter einer Dauerzuglast kann mit zum Teil ähnlichen Mechanismen, wie sie die Leitungsbauer vom Kriechen der Aluminium-Stahl-(Verbund-)Seile her kennen, erläutert werden. Da die Giessharzmatrix des Stabes sehr stark fliesst, die Glasfasern sich dagegen kaum plastisch deformieren (spröder Werkstoff), findet innerhalb einer recht kurzen Zeit nach Aufbringen der äusseren Zugbelastung eine fast vollständige Übernahme der Last durch die Glasfasern statt. Da deren Zugfestigkeit einer gewissen statistischen Streuung unterliegt, werden einige schwächere Glasfasern brechen. Während einer gewissen Zeit werden die Bruchstellen mechanisch «kurzgeschlossen», indem über die innere Reibung der Giessharzmatrix die

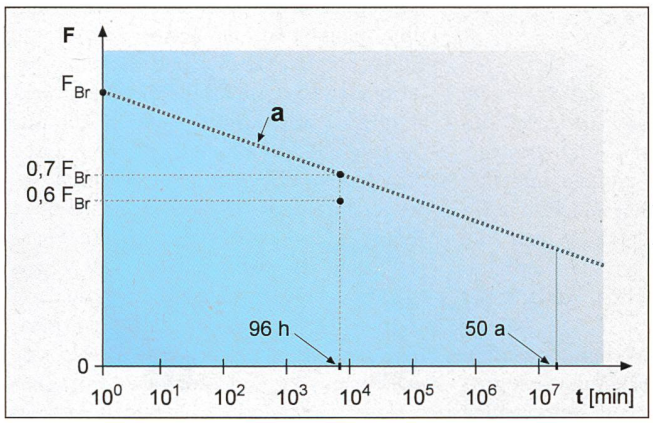

Bild 1 Ermittlung der Dauerkraftkurve eines Verbundisolators nach Norm

- *t* Belastungsdauer
- *F* Zugkraft
- F_{Br} im Zugversuch ermittelte mittlere Bruchkraft von drei Prüflingen (1-min-Prüfung)
- *a* Bruchkraft als Funktion der Belastungsdauer; maximale Neigung nach Norm: 8% pro Zeitdekade; siehe auch Text

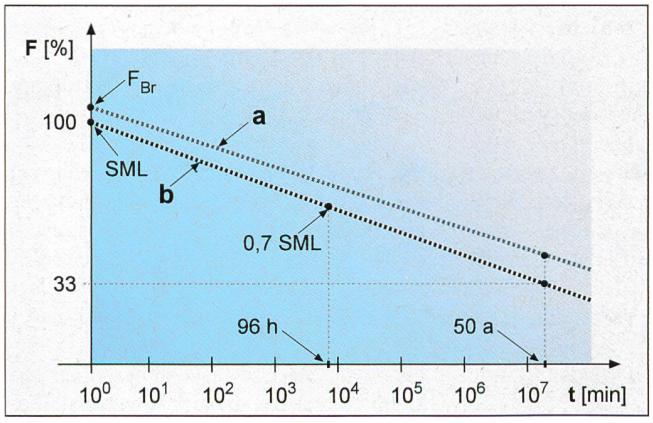

Bild 2 Ermittlung der Nennkraft (SML) eines Verbundisolators

- *t* Belastungsdauer
- *F* Zugkraft
- *a* siehe Legende zu Bild 1
- *b* Haltekraftkurve als Funktion der Belastungsdauer; maximale Neigung nach Norm: 8% pro Zeitdekade
- *SML* vom Hersteller spezifizierte Nennkraft (specified mechanical load)

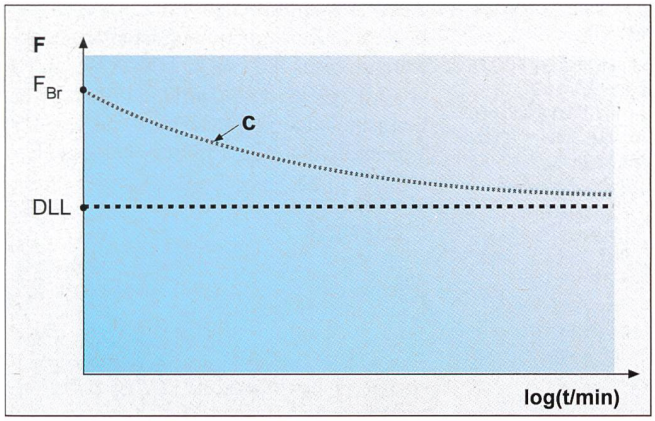

Bild 3 Realistischer Verlauf der Dauerkraftkurve eines Verbundisolators

t Belastungsdauer
F Zugkraft
F_{Br} im Zugversuch ermittelte mittlere Bruchkraft von drei Prüflingen (1-min-Prüfung)
DLL Grenzkraft (damage limit load)
c realistische Dauerkraftkurve

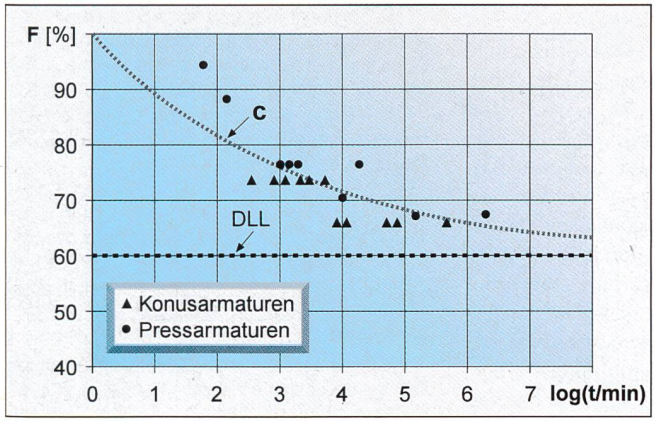

Bild 4 Resultate aus Dauerkraftversuchen für Verbundisolatoren mit verschiedenen Armaturen

t Belastungsdauer
F Zugkraft
c realistische Dauerkraftkurve
DLL Grenzkraft (damage limit load)

Last der gebrochenen Fasern auf die Nachbarfasern übertragen wird; es ist ein Verhalten, das man auch bei Drahtbrüchen – zum Beispiel durch Ermüdung – bei Freileitungsseilen antrifft. Dadurch werden die Nachbarfasern höher belastet, und von ihnen werden anschliessend wiederum einige brechen.

Aufgrund solcher Überlegungen scheint es nun plausibel, dass sich dieses «Spiel» wiederholen wird, bis alle Glasfasern gebrochen sind (Bruch des Isolators).

Nun haben aber mehrere voneinander unabhängige Untersuchungen gezeigt, dass die Dauerkraftkurve von richtig konstruierten Verbundisolatoren in einer Darstellung nach Bild 1 nicht linear ist [5–7]. Man stellt fest, dass die gemessenen Kurven am Anfang relativ steil abfallen, sich aber nach langen Zeiten asymptotisch einem unteren Grenzwert, der sogenannten *Grenzkraft* (engl.: *DLL* = damage limit load), nähern. Dies bedeutet, dass ein Verbundisolator «unendlich» lange einen bedeutenden Teil seiner ursprünglichen Bruchkraft F_{Br} beibehält (Bild 3).

Diese experimentell erhärtete Tatsache lässt sich erklären, wenn man berücksichtigt, dass die Eigenschaften der Glasfasern statistisch stark variieren. Die im Schnitt rund 800 000 einzelnen Glasfasern eines GFK-Stabes von zum Beispiel 16 mm Durchmesser weisen nicht nur unterschiedliche Zugfestigkeiten auf. Auch der Faserquerschnitt F und in gewissen Grenzen der Elastizitätsmodul E der Faser schwanken von Faser zu Faser. Wenn man nun bedenkt, dass die gesamte Zugkraft auf die einzelnen Fasern entsprechend den Dehnsteifigkeiten $DS = E \cdot F$ verteilt wird – das heisst, je grösser die Dehnsteifigkeit einer Faser ist, desto mehr Kraftanteile muss sie tragen –, dann besteht eine grosse Wahrscheinlichkeit, dass bei der Umverteilung der Last von einer statistisch «schwachen», gebrochenen Faser zu den Nachbarfasern die Mehrlast auf eine Nachbarfaser fällt, welche statistisch stärker ist als der Durchschnitt der Fasern und somit diese ohne weiteres *auf die Dauer* tragen kann, ohne zu brechen. Liegt die gesamte Anfangslast unterhalb eines bestimmten Grenzwertes, eben der Grenzkraft *DLL*, dann brechen aufgrund dieses Modells praktisch keine Fasern, auch wenn die Last beliebig lange am Isolator anliegt. Konservative Schätzungen weisen darauf hin, dass diese Grenzkraft mit mindestens 50% der Nennkraft angesetzt werden kann.

Das hier skizzierte Modell über das mechanische Langzeitverhalten von Verbundisolatoren gilt genaugenommen allerdings nur für jenen Bereich des GFK-Stabes, der sich ausserhalb der Metallarmaturen befindet, da es von einem uniaxialen Spannungszustand ausgeht. Dies trifft aber in der Umgebung der Armaturen nicht zu. Tatsächlich ereignen sich in der Realität die Brüche bei Verbundisolatoren fast ausschliesslich im Bereich der Armaturen. Dies ist verständlich, denn dort herrscht ein komplexer, dreiachsiger Spannungszustand, primär hervorgerufen durch die Überlagerung der Radialkräfte, die erforderlich sind, um die Metallarmatur auf dem GFK-Stab zu fixieren. Das ist auch der Grund, warum Stäbe gleicher Zugfestigkeit, je nach Armaturaufbringtechnik, bei unterschiedlichen Belastungen versagen können [1, 6]. Das wird in Bild 4 demonstriert, in welchem neben der realistischen Dauerkraftkurve *c* die entsprechenden, in Langzeitversuchen an Verbundisolatoren mit gleichem Stabdurchmesser (16 mm), aber unterschiedlichen Armaturarten experimentell ermittelten Werte der effektiven Bruchkraft eingetragen sind. Man stellt unter anderem fest, dass die vor allem früher verwendeten Konusarmaturen zu deutlich niedrigeren Werten führen als die heute üblichen Pressarmaturen.

Zugfestigkeit von vorbeanspruchten Verbundisolatoren

Ein letzter Punkt soll im folgenden noch diskutiert werden, um allfällige letzte Zweifel an der beschriebenen Methodik zu beseitigen. Es soll gezeigt werden, dass die mechanische Bemessung von Verbundisolatoren heute dank langjähriger internationaler Forschung auf sicheren Füssen steht. Im Zentrum steht dabei die vom Isolatorhersteller garantierte Nennkraft, die sogenannte *SML*. Im Absatz A 4.5 der zitierten IEC-Norm 1109/92 [3] steht expressis verbis, dass die mechanische Haltekraftkurve (engl.: mechanical withstand-time curve; entsprechend *b* in Bild 2) des Isolators die Zeitdauer definiert, während welcher eine bestimmte Belastung auf den Isolator angebracht werden kann, und dass mit einer hohen Wahrscheinlichkeit nach einem anschliessenden Zugversuch (1-min-Belastung nach Absatz 6.4 der Norm) kein Versagen unterhalb der Nennkraft (*SML*) stattfindet. Aus Unwissenheit wird diese Kurve oft dahingehend interpretiert, dass die Bruchkraft eines Verbundisolators im Betrieb während seiner Einsatzzeit ständig abnimmt. Dass dem aber nicht so ist, zeigt das Bild 5. Diese Abbildung wurde gewonnen, indem zunächst im üblichen Einminuten-Zugversuch die mittlere Zugfestigkeit des Isolators ermittelt wurde. Anschliessend wurden weitere Prüflinge des gleichen Isolatortyps 96 Stunden lang mit 70% der ermittelten mittleren Zugfestigkeit belastet, so dass

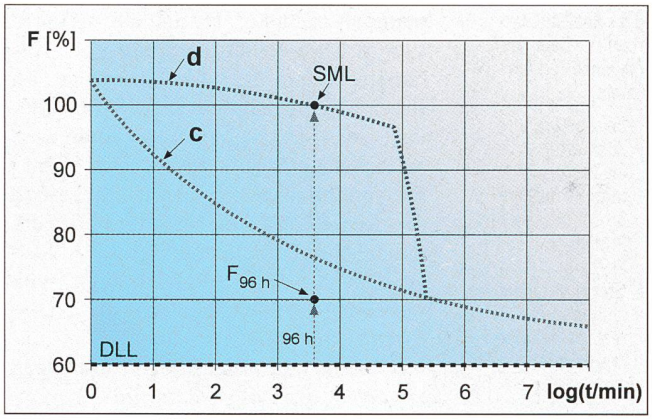

Bild 5 Verifizierung der Nennkraft

Zusammenhang zwischen der Nennkraft *SML*, der Dauerkraftkurve und der Bruchkraft eines vorbelasteten Verbundisolators

t Belastungsdauer
F Zugkraft
c Dauerkraftkurve
F_{96h} 96-h-Vorbelastung mit 0,70 *SML*
SML vom Hersteller spezifizierte Nennkraft
d Restfestigkeitskurve
DLL Grenzkraft

diese Last-Zeit-Koordinate zwar in der Nähe, aber noch unterhalb der Dauerkraftkurve des Isolators – die schon in Bild 3 gezeigt wurde – liegt. Anschliessend wurden die Prüflinge bis zum Bruch belastet, der bei ungefähr 99% der früher ermittelten Einminuten-Bruchkraft erfolgte. Somit kann man im Rahmen der statistischen Streuung und der Messgenauigkeit der Versuchsanordnung festhalten, dass die Bruchkraft eines Verbundisolators nicht abnimmt, solange seine mechanischen Belastungen im Betrieb unterhalb der Dauerkraftkurve liegen. Diese wiederum besitzt, wie oben erläutert, einen unteren Grenzwert, die Grenzkraft *DLL* (ca. 50% der Nennkraft). Ähnliche Ergebnisse wurden schon früher in [8] veröffentlicht; die dort im sogenannten Restfestigkeitsversuch (engl.: strength retention test) ermittelten Werte liegen zwischen 93% und 102% der Kurzzeit-(1-min-)Zugfestigkeit, Kurve *d*, Bild 5. Ausserdem wurde in einem unveröffentlichten IEC-Arbeitsgruppenreport berichtet [9], dass man bei der Ermittlung der Zugfestigkeit von Verbundisolatoren, die zwölf Jahre im Betrieb gestanden waren, praktisch die gleichen Werte wie bei neuen, gleichartigen Isolatoren festgestellt hatte.

Vorschlag zur Bemessung von Verbundisolatoren

Dass das vorher Gesagte im vollen Einklang mit der gültigen IEC-Norm 1109 [3] steht, wird im Bild 5 gezeigt. Dort ist neben der am Anfang dieses Aufsatzes vorgestellten realistischen Dauerkraftkurve für Verbundisolatoren *c* auch der Ablauf des in Absatz 6.4 der Norm vorgesehenen Typenprüfung zur Verifizierung der Nennkraft *SML* eingetragen. Dabei muss der vom Isolatorhersteller garantierte Wert der Nennkraft im Einminuten-Zugversuch gehalten werden, und zwar an einem Prüfling, welcher vorher mit 70% der Nennkraft 96 Stunden lang belastet worden ist. Der so ermittelte Nennkraftwert liegt dann auf der oben erklärten Restfestigkeitskurve *d*. Weiter wird in Bild 5 angenommen, dass die mittlere Bruchkraft F_{Br} des Isolators mindestens um 5% höher ist als der vom Hersteller als einzige mechanische Kenngrösse garantierte und durch die Typenprüfung direkt überprüfbare Wert der Nennkraft *SML*. Da bei den meisten Herstellern dieser Unterschied aus konstruktiven und sicherheitsbedingten Überlegungen mindestens 15 bis 20% beträgt, liegt die tatsächliche Dauerkraftkurve des Verbundisolators so hoch, dass für die übliche Dimensionierung die Zeitabhängigkeit der Bruchkraft von Verbundisolatoren praktisch ausser acht gelassen werden kann. Man kann dann – wie bereits in [5] gezeigt wurde – einen Verbundisolator tatsächlich mit einer ähnlichen Sicherheitsfaktor-Philosophie bemessen wie einen herkömmlichen Porzellanisolator. In diesem Zusammenhang ist erwähnenswert, dass in der Norm DIN VDE 0210 [10] die gleichen Sicherheitsfaktoren für Langstabisolatoren aus Porzellan wie für Verbundisolatoren vorgeschrieben sind.

Literatur

[1] *K. O. Papailiou, W. Fluri und A. Wermelinger:* Erfahrung mit Einsatz von Verbundisolatoren. Bull. SEV/VSE 81(1990)19, S. 11–18.

[2] *K. O. Papailiou:* Verbundisolatoren auf dem Vormarsch – Anwendungen von Silikonverbundisolatoren in der Schweiz. Bull. SEV/VSE 88(1997)07, S. 19–24.

[3] Composite insulators for a.c. overhead lines with a nominal voltage greater than 1000 V – Definitions, test methods and acceptance criteria. IEC 1109, first edition, 1992–03.

[4] Technical basis for minimal requirement for composite insulators. Cigré Working Group 22.10, Electra No. 88, May 1983.

[5] *L. Paris, L. Pargamin, D. Dumora and R. Parraud:* Rating of composite suspension insulators related to the long term mechanical strength of rods. IEEE Winter Meeting, paper 94 WM 051-3 PWRD.

[6] *C. H. de Toureil et al.:* Mechanical evaluation of non-ceramic insulators. CEA Report No. 122 T 356, September 1988.

[7] *D. de Decker and C. Lumb:* Mechanical Strength of Composite Suspension Insulators. Proc. of SEE Intnl. Workshop on Non-Ceramic Outdoor Insulation, April 15–16, 1993, Paris, pp. 7–15.

[8] *T. T. Chiao:* Some interesting mechanical behaviors of fiber composite materials. Proc. of 1st USA/USSR Symp. on fracture of composite materials, Sept. 4–7, 1978, Riga, pp. 385–39.

[9] *C. H. de Toureil:* Comments on the concept of Damage Limit Level (DDL). IEC-Arbeitsgruppendokument No. 36(WG07)86, March 1994.

[10] Bau von Starkstrom-Freileitungen mit Nennspannungen über 1 kV. DIN VDE 0210, Ausgabe 12.85.

Les isolateurs en matière composite sont plus durables qu'on ne pensait

Nouvelles expériences relatives au comportement dans le temps des isolateurs composites soumis à la traction

La norme CEI 1109/1992 actuellement applicable aux isolateurs composites part du principe que la force de rupture de ces éléments diminue linéairement en fonction du logarithme décimal de la durée d'application de la charge (fig. 1). La baisse linéaire de la courbe dans la norme donne cependant l'impression erronée que la force de rupture diminuerait continuellement avec le temps. Des études récentes ont cependant montré que la courbe de résistance des isolateurs composites n'avait pas l'allure de la figure 1 mais se rapprochait asymptotiquement d'une valeur limite inférieure appelée force limite *DLL* (fig. 3). Cela signifie qu'un isolateur composite conserve pendant un temps «illimité» une part importante de sa force de rupture d'origine. L'article étudie les conséquences de cette constatation sur le dimensionnement et l'homologation des isolateurs composites (fig. 2 et 5). Il montre que ceux-ci peuvent être dimensionnés de manière analogue à celle des isolateurs à long fût en porcelaine. Enfin, on verra que la résistance des isolateurs composites à la traction à proximité des armatures dépend largement de la technique de pose de celles-ci (fig. 4).