Kabelisolation für Innen- und Aussenanwendungen

Autor(en): **Weissenberg, Werner / Philips, Richard**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **99 (2008)**

Heft 7

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-855845

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Kabelisolation für Innen- und Aussenanwendungen

Flammwidrige Niederspannungsleitung mit wasserbeständigen Eigenschaften

Konventionelle Niederspannungsleitungen für den Innenbereich, die flammwidrig sein müssen, nehmen Wasser auf, wenn sie darin liegen. Sie dürfen also nicht im Aussenbereich eingesetzt werden, wo sie in Rohren verlegt teilweise jahrelang im Wasser liegen können. Denn dann kann der Isolationswiderstand unter die 0,5 MΩ fallen, ein Mindestwert, wie er von der Niederspannungsinstallationsnorm verlangt wird. Eine neue Isolierung aus modifizierten Polyolefin-Compounds mit Aluminiumtrihydrat ist hingegen flammwidrig und zeigt auch bei höheren Temperaturen mit der Zeit keine kritische Wasseraufnahme, kann also sowohl im Innen- als auch im Aussenbereich eingesetzt werden.

Werner Weissenberg, Richard Phillips

Niederspannungsleitungen in der Schweiz, in Anlagen für Aussenbeleuchtungen angewendet, lösten Sicherungen aus. Untersuchungen zeigten, dass hier Niederspannungsleitungen in FRNC-Ausführung[1], also flammwidrig nach IEC 60332-3-24, halogenfrei, die nur für trockene Innenräume ausgelegt sind, im Aussenbereich eingesetzt worden waren. Die betroffenen Leitungen waren in Rohren verlegt, und Teilstücke davon lagen jahrelang im Wasser. Messungen an den isolierten Leitungen zeigten kritische Isolationswiderstände von nur noch 0,09 MΩ. In der internationalen Norm IEC 60364-6-61 und auch in der äquivalenten nationalen Norm der Schweiz, der Niederspannungsinstallationsnorm (NIN 6.1.3.3.1), ist zur Sicherheit von elektrischen Anlagen ein Isolationswiderstand für Neuanlagen bei einer Prüfgleichspannung von 500 V von mindestens 0,5 MΩ gefordert.

Für Innen- und Aussenanwendung sind die Sicherheitsanforderungen gleich. Die werkstoffspezifischen Forderungen und die Prüfmethoden sind hingegen unterschiedlich. Während in Innenräumen nach den Sicherheitsvorschriften der Schweiz, der SEV TP20B/3C-d vom Februar 1997, die Wasserbeständigkeit Stufe 1 vorgeschrieben wird, d.h. lediglich sporadischer Wasserkontakt, wie er beispielsweise bei Anschlussleitungen für Haushaltsapparate und Verlängerungskabel erlaubt ist, gilt für Aussenbereiche wie in Erde verlegte Leitungen, die möglicherweise dauerhaft im Wasser liegen, die Wasserbeständigkeit Stufe 2 mit einer Prüfzeit von 100 Tagen.

Zur Vermeidung von Anwendungsfehlern wurde eine neue Niederspannungsleitung mit einer Isolation aus modifizierten Polyolefin-Compounds entwickelt, die für den Einsatz in Innenräumen und für die Aussenanwendung geeignet ist.

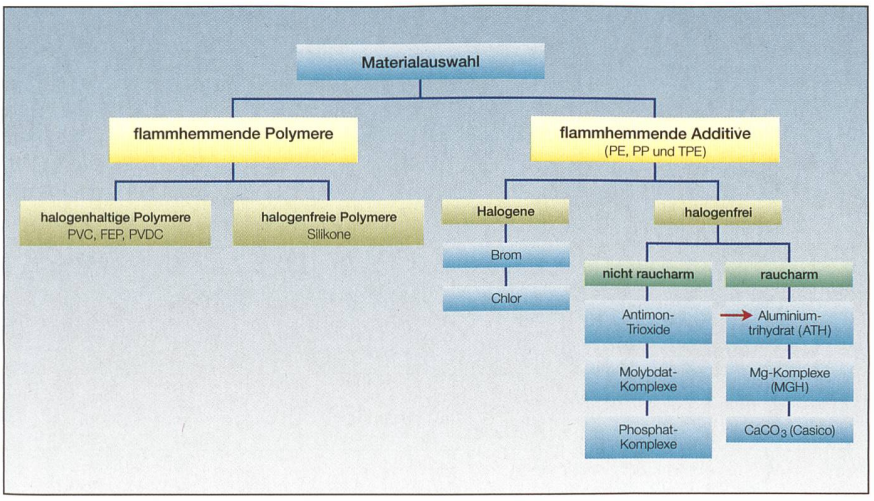


Bild 1 Übersicht von flammwidrigen polymeren Isolier- und Mantelwerkstoffen.

Isolierung

Isolierstoffe zeichnen sich durch einen hohen spezifischen Widerstand aus, der um 10 bis 20 Zehnerpotenzen grösser ist als der von Metallen. Dadurch können sie spannungsführende Teile gegeneinander oder gegen Erde isolieren. Der Widerstand, den der Isolationsstrom auf seinem Weg durch den Isolierstoff überwindet, ist der Isolationswiderstand. Dieser ist abhängig vom Isolierstoff selbst, seinen Zusätzen, der Isolierdicke, der Leiteroberfläche (-querschnitt), der Leitungslänge und von der Temperatur sowie dem Feuchtegehalt in der Isolierung. In den oben genannten Fällen war eine halogenfreie FRNC-Ausführung angewendet worden, ein Polyolefin-Compound mit geringer Rauchentwicklung durch den Zusatz von Aluminiumtrihydrat (ATH, siehe Bild 1). Bei hohen Temperaturen wie bei einem Brand wird das ATH in einer endothermen Reaktion dehydriert und gibt Wasser zur Brandlöschung frei.

$$2\,Al(OH)_3 + \text{hohe Temperatur} \Rightarrow Al_2O_3 + 3\,H_2O \qquad (1)$$

Anderseits nimmt diese Isoliermischung aber auch leicht Wasser auf. Liegt solch eine Leitung längere Zeit im Wasser, wird durch Diffusionsprozesse nach dem Fick'schen Gesetz in Abhängigkeit von Tem-

articles spécialisés

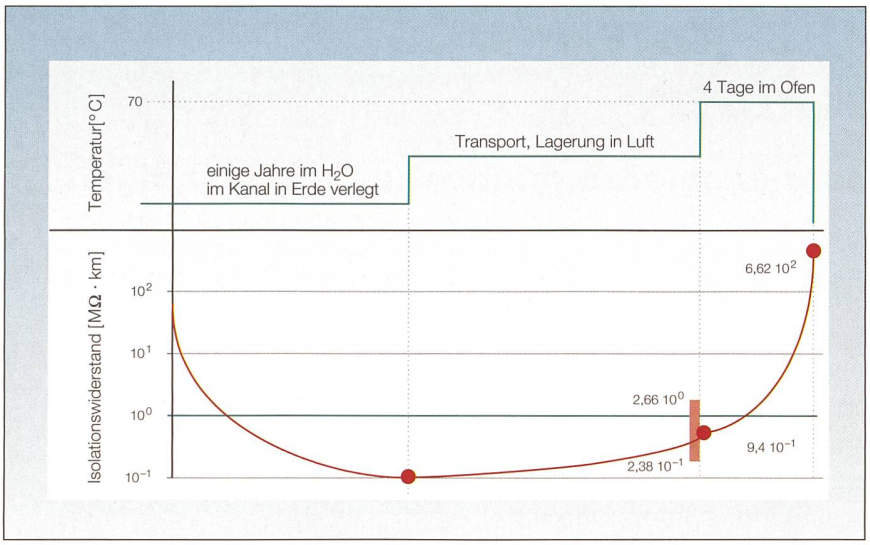


Bild 2 Diffusionsprozesse bei Lagerung im Wasser und Trocknung im Labor.

peratur und Zeit Wasser in die Leitung gelangen. Der durch die Fläche df (radial von aussen nach innen) diffundierende Wasseranteil s · df ist proportional dem Konzentrationsgefälle dc/dx (c ist die im Volumen befindliche Molekülzahl, x die Richtung des Konzentrationsgefälles):

$$s(x) \cdot df = D\,(dc/dx) \cdot df \qquad (2)$$

Der Proportionalitätsfaktor D heisst Diffusionskoeffizient und ist für Wasser

$$D_{H_2O} = D^0_{H_2O} \exp -\Delta Hm/RT \qquad (3)$$

Zum Nachweis der Diffusionsprozesse in den Niederspannungsleitungen wurden folgende Versuche durchgeführt: Muster der Leitungen, die einige Jahre im Wasser lagen, hatten kritische Isolationswerte (Bild 2). Nach einer 4-stündigen Trocknung im Labor bei einer Körpertemperatur der Leitung von 70 °C wurden bereits wieder gute Isolationswerte von $>10^2$ MΩ · km erreicht. Der Isolationswiderstand wird dabei immer auf die Bezugslänge 1 km umgerechnet. Es zeigte sich umgekehrt auch, dass die Isolationswerte in Leitungen nach dem Ausgraben bei anschliessender Lagerung nur in Luft wieder angestiegen, aber nach einer 9-stündigen Lagerung im Wasser bei einer Temperatur von 20 °C wieder auf Werte des Isolationswiderstands unter 10^{-1} MΩ · km abgefallen sind.

Aus diesen Erkenntnissen wurde eine Isolation entwickelt, die für Innen- und Aussenanwendungen gleichermassen geeignet ist. Dazu wurden modifizierte Polyolefin-Compounds mit ATH eingesetzt, die wasserbeständige Eigenschaften haben: d.h., der Diffusionskoeffizient für Wasser D_{H_2O} (siehe Gleichung 3) wurde so geändert, dass bei Wasserlagerung der Leitung keine kritische Wasseraufnahme erfolgt, auch nicht bei höheren Temperaturen.

Prüfung der Wasserbeständigkeit

Geprüft wurde die neu entwickelte Leitung[2)] ohne Innenmantel nach der gültigen Sicherheitsvorschrift für Niederspannungsleitungen mit Spezialisolation TP20B/3C-d, die von der Arbeitsgruppe «Spezialisolation» des Technischen Komitees 20B, Isolierte Leiter, des Schweizerischen Elektrotechnischen Komitees (CES) ausgearbeitet wurde. Die darin aufgeführten Prüfmethoden entsprechen den in den IEC- und Cenelec-Normen festgelegten Verfahren.

Zur Prüfung der Wasserbeständigkeit wurden mindestens 2 Prüflinge von 5 m Länge einer vollständigen Leitung ohne Innenmantel ringförmig gebogen und in ein Prüfgefäss gelegt. In das Gefäss wurde Leitungswasser von 23 ± 5 °C gefüllt, bis die gebogenen Probestücke vollständig bedeckt waren und nur die Kabelenden ausserhalb des Wassers blieben. Die Proben lagerten entsprechend der Prüfung nach Stufe 2 mindestens 100 Tage im Wasser. In zeitlichen Abständen wurde der Isolationswiderstand gemessen (Bild 3).

In einem Parallelversuch wurden Leitungen gleicher Fertigung und gleichen Designs bei verschärften Bedingungen, nämlich in Salzwasser (1% NaCl) bei einer Wassertemperatur von 60 °C, ebenfalls 100 Tage beansprucht. Auch unter diesen Bedingungen wurde die Wasserbeständigkeit Stufe 2 nachgewiesen (Bild 4).

An den Prüfstücken wurde nach 100 Tagen Lagerung in Salzwasser bei 60 °C der Ableitstrom bei Raumtemperatur gemessen. Die gemessenen Werte waren um einige Zehnerpotenzen besser als die Anforderung von max. 1 µA/Vm. Abschliessend, nach den 100 Tagen Lagerung in Salzwasser, wurden Spannungsprüfungen an den Prüfstücken durchgeführt. Diese Spannungsprüfungen (3500 V, 15 min) erfolgten bei 90 °C im Salzwasser, also bei härteren Bedingungen gegenüber der Sicherheitsvorschrift für Niederspannungsleitungen mit Spezialisolation (TP20B/3C-d, Ziffer 3.1.1.1.), die eine Prüfung bei Raumtemperatur fordert, und wurden ohne Durchschlag bestanden.

Mechanische Eigenschaften

Für die Verlegung, die Montage und den Betrieb ist zu prüfen, bei welcher tiefsten Temperatur die Leitung noch gebogen werden kann, ohne Schaden zu nehmen. Deshalb wurden an der neu entwickelten Leitung Kältebiegeprüfungen[3)] durchgeführt. Dazu wurden 5 m lange Prüfstücke mit einer Vorrichtung nach Bild 3.2.1 der Normvorschrift TP20B/3C-d 24 Stunden in einem Kühlschrank bei –30 °C abgekühlt und danach um einen Dorn von 90 mm Durchmesser gewickelt. Danach wurden die aufgewickelten Probestücke auf Raumtemperatur abgekühlt und am Ende der Prüfung

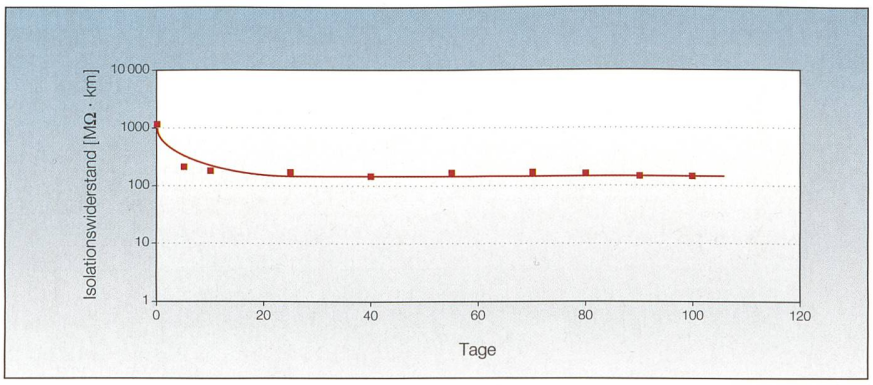


Bild 3 Isolationswiderstand in Wasser.
Isolationswiderstand der Leitung Wilbaflex 07ZZC4Z-K 6 x 1,5 mm² (FRNC; EMV) mit einer Isolierung aus modifizierten Polyolefin-Compounds mit Aluminiumtrihydrat nach 100 Tagen Wasserlagerung bei 20 °C.

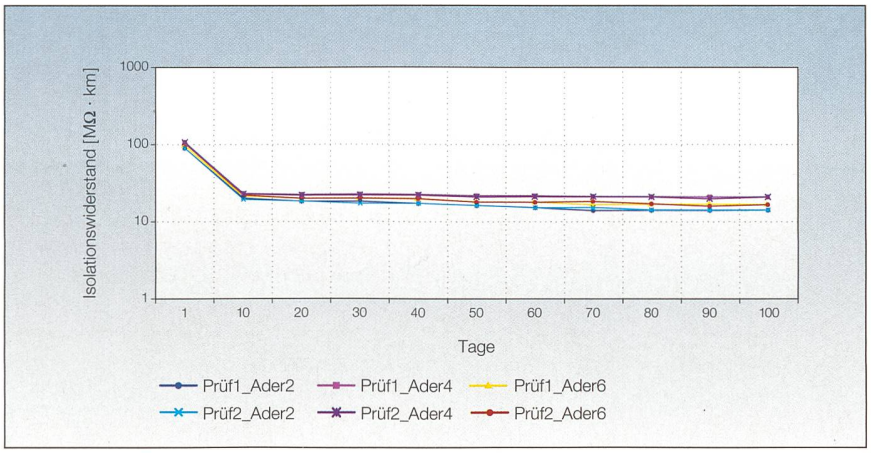


Bild 4 Isolationswiderstand in Salzwasser.
Isolationswiderstand nach 100 Tagen im Salzwasser bei 60 °C.

Bild 5 Prüfstück, gewickelt.

auf eventuell entstandene Risse untersucht. An den Prüfstücken waren selbst nach diesen extremen Beanspruchungen keine Risse entstanden (Bild 5).

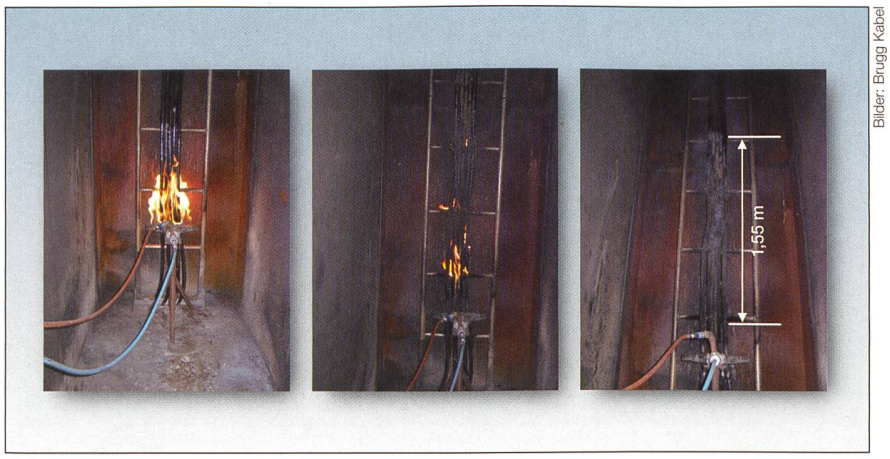
Brandverhalten

Das Brandverhalten wurde nach der Norm IEC 60332-3-24 mit der Flachbrennermethode überprüft. Die Leitungen werden 20 Minuten den Flammen ausgesetzt. Die Prüfung gilt als bestanden, wenn die Brandspuren (Verkohlung, Verformung etc.) bis max. 2500 mm vom Austrittspunkt der Flammen vertikal in die Höhe steigen.

Die Ergebnisse der Versuche zeigten, dass die Leitungen mit der neuen Isolierung sogar ohne Innenmantel, also nur mit einem Aussenmantel, die Anforderungen des Brandtests erfüllt haben (Bild 6).

Zusammenfassung

Zur Vermeidung von Anwendungsfehlern und für eine einfachere Lagerhaltung wurden neue Niederspannungsleitungen mit einer Isolierung in halogenfreier FRNC-Ausführung entwickelt, die für den Einsatz in Innenräumen und für die Aussenanwendung geeignet sind. Durch den Einsatz von modifizierten Polyolefin-Compounds mit ATH, die wasserbeständige Eigenschaften haben, konnten alle in den nationalen und internationalen Normen enthaltenen Anforderungen sowohl für die Wasserbeständigkeit als auch für das Brandverhalten mit Sicherheit erfüllt werden. Labortests und die bisherigen Betriebserfahrungen bestätigen, dass die Niederspannungsleitungen sowohl für die Anwendung in Innenräumen mit hohen Anforderungen an die Brandsicherheit als auch für Aussenanlagen geeignet sind.



Bilder: Brugg Kabel

Bild 6 Brandversuch.

Angaben zu den Autoren

Dr.-Ing. *Werner Weissenberg* ist seit 1968 in der Forschung und Entwicklung von Starkstromkabeln und -garnituren tätig. Er begann im Kabelwerk Meissen und war seit 1992 im Kabelwerk Berlin der Siemens AG, später Pirelli Kabel und Systeme, in den Bereichen Forschung und Entwicklung sowie Engineering tätig. Sein Zuständigkeitsbereich umfasste die Produktentwicklung, die Prüftechnik und die Prüfanlagen für Hochspannungskabel und -garnituren bis 500 kV. Seit 2001 ist er Leiter der Technik Energiesysteme im Kabelwerk der Brugg Kabel AG. Er arbeitet aktiv in verschiedenen nationalen und internationalen Gremien wie VDE-ETG Q2 und der IEC TC 20 WG 16 mit.
Brugg Kabel AG, 5201 Brugg,
weissenberg.werner@brugg.com

Dr. *Richard Phillips* schloss 1992 an der EPFL in Lausanne das Studium als Materialwissenschaftler ab und erhielt 1996 den Doktortitel, ebenfalls an der EPFL. Von 1996 bis 2003 arbeitete er in der Plastikindustrie in der Forschung und Entwicklung. Von 2003 bis 2008 setzte er sich als Business Development Manager bei Brugg Cables ein. Zurzeit arbeitet er als Berater für KMUs.

[1] Flame Retardant Non Corrosive, nach IEC 60332-3-24.
[2] Wilbaflex 07ZZC4Z-K 6×1,5 mm² (FRNC; EMV).
[3] Nach der Sicherheitsvorschrift für Niederspannungsleitungen mit Spezialisolation TP20B/3C-d, Ziffer 3.2.1. und Ziffer 4.2.1.

Résumé

Isolement des câbles pour applications intérieures et extérieures

Ligne basse tension réfractaire résistante à l'eau. Les lignes basse tension conventionnelles pour installations à l'intérieur des bâtiments, qui doivent être réfractaires, absorbent l'eau si elles sont immergées. Elles ne doivent donc pas être utilisées à l'extérieur où elles sont posées dans des tuyaux et risquent d'être dans l'eau des années durant. En effet, la résistance d'isolement peut alors tomber sous la limite de 0,5 MΩ, minimum exigé par la norme sur les installations à basse tension. Un nouvel isolant en composé de polyoléfine et trihydrate d'aluminium est en revanche réfractaire et n'absorbe pas l'eau de manière critique, même à température élevée et avec le temps – il peut donc être employé à l'intérieur et à l'extérieur.

Aus Erfahrung die Zukunft gestalten

Mit Smart Meters von Kamstrup erhalten Sie über 40 Jahre Erfahrung

In einem liberalisierten Strommarkt und einer umweltbewussten Gesellschaft ist die Ermittlung von genauen, aktuellen Daten für Laststeuerung, Analysen der Energieeffizienz und des Verbrauchsmusters unabdingbar.

Kamstrup bietet dem Kunden erstklassige verbraucherorientierte technologische Freiheit mit optimaler Datenerfassung. Kamstrup Smart Meters erstellen Daten für verbraucherorientierte Mehrwertleistungen wie Steuerung, elektronische Rechnungsstellung und internetbasierende Dienste.

Lassen Sie sich von uns beraten an den
Powertagen vom 3. bis 5. Juni. Halle 6 Stand J04

Kamstrup

Kamstrup A/S, Schweiz · Steinackerstrasse 10 · 8902 Urdorf · TEL: 043 455 70 50 · FAX: 043 455 70 51 · info@kamstrup.ch · www.kamstrup.ch