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: 87 (1996)

Heft: 23

Artikel: Belastungsgrenzen präziser festlegen : Untersuchungen zur thermischen Grenze der Stromtragfähigkeit metallischer Diffusionssperren in Mittelspannungskabeln

Autor: Sarbach, Ewald

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902389

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: 04.12.2025

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

Die Lebensdauer von polymerisolierten Kabeln lässt sich erhöhen, wenn der Zutritt von Wasser zur Isolation verhindert wird. Dies kann mit metallischen Diffusionssperren erreicht werden. Sie müssen aber so dimensioniert sein, dass sie gleichzeitig die im Fehlerfall auftretenden hohen Ströme sicher ableiten können. Der vorliegende Artikel zeigt, wie die Belastungsgrenzen solcher Kabelschirme noch präziser bestimmt werden können.

Belastungsgrenzen präziser festlegen

Untersuchungen zur thermischen Grenze der Stromtragfähigkeit metallischer Diffusionssperren in Mittelspannungskabeln

■ Ewald Sarbach

In polymerisolierten Kabeln (XLPE, EPR) kann die Wasserbäumchenbildung nur dann verhindert werden, wenn das Eindringen von Wasser durch metallische Sperren unterbunden wird [1]. Es ist daher sehr erwünscht, nicht nur bei Hochspannungskabeln, sondern auch bei Mittelspannungskabeln Diffusionssperren einzubauen. Sie lassen sich mit den ohnehin notwendigen Schirmen, welche primär als elektrischer Berührungsschutz dienen, aber auch Ströme bei Erdschluss, Doppelerdschluss und Erdkurzschluss führen müssen, kombinieren.

Häufig besteht der Schirm in Mittelspannungskabeln aus Kupferdrähten und einem anliegenden Kupferband (Querleitwendel), welches die Einzeldrähte leitend verbindet. Diese Ausführung ist selbstverständlich nicht diffusionsdicht. Wenn statt der Kupferdrähte ein Kupferschichtenmantel, verklebt mit dem Aussenmantel, verwendet wird, ergibt sich eine diffusionsdichte Ausführung. Sie hat aber den Nachteil, dass bei Muffen und Endverschlüssen die Verbindungen Schirm zu Schirm oder Schirm–Erde schwieriger herzustellen sind; die Verklebung erschwert das Freilegen des Schirms und erfordert einen unerwünschten Arbeitsaufwand. Wird statt eines Schichtenmantels ein längsverklebter oder verschweisster Kupferbandschirm (ohne Verklebung mit Mantel) verwendet, können beim Biegen des Kabels Falten im Schirm entstehen. Diese Probleme treten nicht auf, wenn statt eines Kupferbandschirmes ein Aluminiumbandschirm eingesetzt wird.

IEC-Standard 986 – es handelt sich nicht um eine Vorschrift, sondern um ein Hilfsmittel (Anleitung) mit dem Titel «Guide aux limites de température...» –

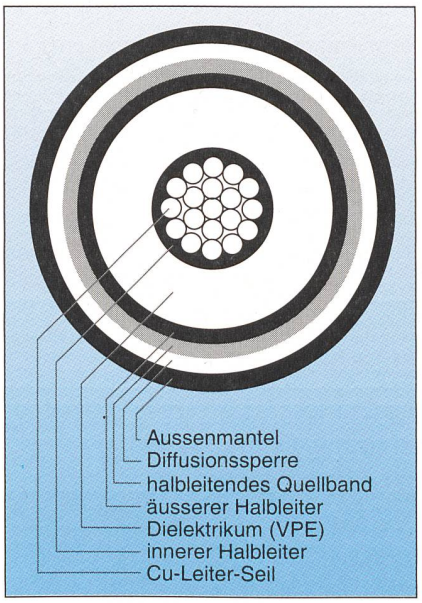


Bild 1 Querschnitt durch ein Kabel mit Diffusionssperre

Adresse des Autors
Ewald Sarbach, Dipl. Ing. ETHZ, Studer Draht- und Kabelwerk AG, 4658 Däniken SO

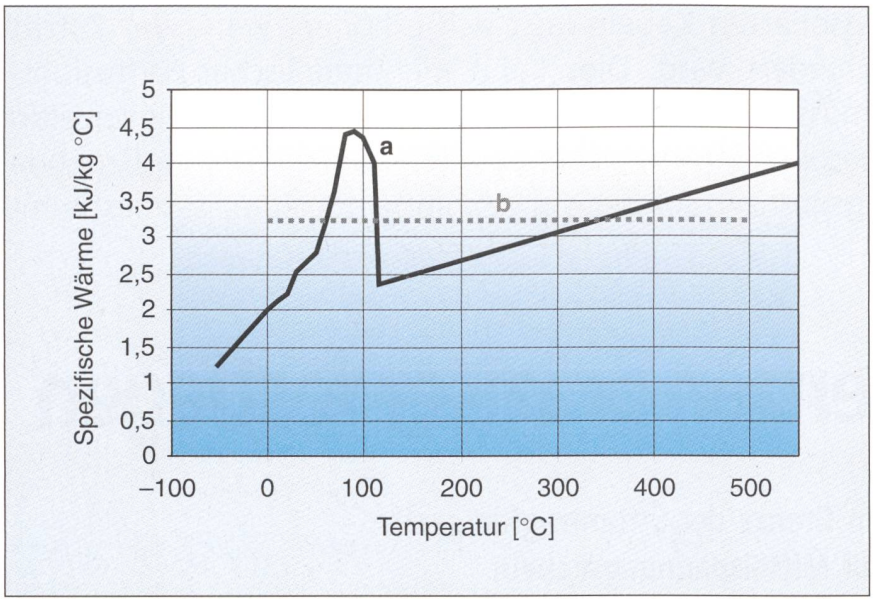


Bild 2 Spezifische Wärme des an der Diffusionssperre anliegenden Kunststoffs

a effektive spezifische Wärme
b für Berechnung verwendeter Mittelwert

erwähnt zum Beispiel für Schirme, dass die Temperatur für HDPE (High Density Polyethylene), welches am Schirm anliegt, 180 °C nicht überschreiten soll. IEC 986 deckt zeitlich den Bereich bis fünf Sekunden Kurzschlussdauer ab. In modernen Netzen ist die Kurzschlussdauer selten mehr als 1,5 s, meistens jedoch ≤ 1 s. Diese kurzen Zeiten machen es möglich, höhere Temperaturen zuzulassen – ganz im Sinne von IEC 986, welche in der Einleitung darlegt, dass die Begrenzung in erster Linie durch die elektrische Integrität, welche selbstverständlich gewährleistet sein muss, gegeben ist. Wenn dünne Schirme, beispielsweise mit einer Wandstärke von 0,2 oder 0,3 mm, verwendet werden und wenn durch konstruktive Massnahmen die Wärmeableitung erleichtert wird, ergeben sich sehr kurze Zeiten, während denen die Grenzschichten mit den höchsten Temperaturen beansprucht werden. Dadurch kann die zulässige Belastungsgrenze allenfalls höher als die oben erwähnten 180 °C angesetzt werden. Messungen und Rechnungen, welche im vorliegenden Aufsatz dargelegt werden, erlauben, die zulässige Belastungsgrenze von Aluminiumdiffusionssperren präziser festzulegen.

Berechnung der Erwärmung von Kabelschirmen

Im ersten Teil dieses Artikels wird die Temperatur von Diffusionssperren, welche gleichzeitig als stromtragende Schirme dienen, sowie die Temperatur ihrer Umgebung in Funktion von Zeit und Ort – während und nach einem kurzzeitigen Stromfluss in der Diffusionssperre – berechnet (nichtadiabatische Erwärmung der Diffusionssperre). Von den vielen durchgeführten Rechnungen wird hier beispielhaft ein ausgewählter Fall beschrieben. In einem zweiten Teil wird die Berechnung der Erwärmung von Kabelschirmen auch nach IEC 949, Teil «nichtadiabatische Rechnung», durchgeführt und eingehend mit Versuchsergebnissen verglichen.

Berechnung der Erwärmung mit einer Finite-Elemente-Methode

Für die vorliegende Problemstellung genügt es, wenn man nur einen kleinen Ausschnitt des Kabels rund um die Diffusionssperre betrachtet. Dadurch kann bei den Rechnungen die Krümmung des Schirms vernachlässigt werden. Weiter wird vorausgesetzt, dass in Achsial- und Tangentialrichtung des Kabels kein Wärmetransport stattfindet. Das Modell kann so auf eine Kette von finiten Elementen in der Radialrichtung x des Kabels reduziert werden. Jedes finite Element hat die gleiche Länge dx. Die Sperre ist innen und aussen von Kunststoffelementen umgeben (Bild 1). Diese besitzen unter sich alle sehr ähnliche thermische Eigenschaften. Deshalb kann sich die Modellierung auf eine Strecke von der Mitte der Diffusionssperre bis zum Rand der Sperre ($d/2$) und darüber hinaus bis zu einer Distanz a in den Kunststoff hinein beschränken.

Für die Modellierung ergibt $(d/2)/dx$ die Anzahl n_M der finiten Elemente für Metall und a/dx die Anzahl n_K der finiten Elemente für Kunststoff. Jedem finiten Element i kann die Temperatur T_i zugeordnet werden. Diese aktuellen Temperaturen werden in einem Vektor $\boldsymbol{T}$ der Dimension $n = n_M + n_K$ gespeichert. Für jedes finite Element i der Länge dx gilt:

$$Q_{zu,i} = Q_{sp,i} + Q_{ij} \qquad (1)$$

wobei $Q_{zu,i}$ die zugeführte Wärmemenge, $Q_{sp,i}$ die im Element i gespeicherte Wärmemenge und Q_{ij} die zu den Nachbarelementen links und rechts abgeführte Wärmemenge bedeuten. Die pro Flächeneinheit des Schirms während eines Aufheizschrittes dt *zugeführte Wärmemenge* ist für Metall:

$$Q_{zu,i} = j_{eff}^2 \cdot dx \cdot dt \cdot \rho \qquad (2)$$

wobei ρ den spezifischen elektrischen Widerstand und j_{eff} die Stromdichte bedeuten. Letztere ist für Kunststoff immer und für Metall ausserhalb der Aufheizzeit Null. Die während des Aufheizschrittes dt im Element i *gespeicherte Wärmemenge* ist:

$$Q_{sp,i} = K_I \cdot (T_i - T_{i\,alt}) \qquad (3)$$

mit $K_I = c \cdot \delta \cdot dx$, wobei c die spezifische Wärme und δ die Dichte des jeweiligen Materials bedeuten. $T_{i\,alt}$ ist die Temperatur des Elementes i vor dem durchgeführten Aufheizschritt dt. Die während des Auf-

	Kunststoff	Aluminium
Dichte δ [kg/mm³]	$0{,}945 \cdot 10^{-6}$	$2{,}7 \cdot 10^{-6}$
spezifische Wärme c [J/(kg K)]	3150	920
Wärmeleitfähigkeit λ [J/(s mm K)]	$0{,}25 \cdot 10^{-3}$	$230 \cdot 10^{-3}$
spez. elektrischer Widerstand ρ [Ω mm²/mm]		$0{,}038 \cdot 10^{-3}$

Tabelle I Für Berechnungen verwendete Stoffwerte von Kunststoff und Aluminium

i (Effektivwert) [kA]	Stromdichte [A/mm²]	Δt [s]	Simulationszeit [s]	max. Temp. (ca.) [°C]	Bild
15,5	537	0,1	1	278	3
8,0	277	0,4	5	228	4
5,0	173	1,0	10	169	5

Tabelle II Parameter für Erwärmungsrechnungen

heizschrittes dt zum Nachbarelement j *abgeführte Wärmemenge* ist:

$$Q_{ij} = K_2 \cdot (T_i - T_j) \quad (4)$$

mit $K_2 = \lambda \cdot dt/dx$, wobei λ den Koeffizienten der Wärmeleitung bedeutet. Aus diesen Formeln ergibt sich ein lineares Gleichungssystem der Ordnung n

$$\boldsymbol{A} \cdot \boldsymbol{T} = \boldsymbol{b} \quad (5)$$

welches bei jedem Rechenschritt mit dem Zeitschritt dt nach der Unbekannten $\boldsymbol{T}$ aufgelöst wird.

Parameter für Rechenbeispiel

Die in den Berechnungen für das nachfolgend beschriebene Beispiel verwendeten Stoffwerte sind in Tabelle I angegeben. Alle Parameter sind temperaturabhängig, am stärksten abhängig ist die spezifische Wärme des der Sperre anliegenden Kunststoffes. Sie ist im Bild 2 dargestellt; ebenfalls eingezeichnet ist der für die Berechnung verwendete, temperaturunabhängige Mittelwert. Es hat sich gezeigt, dass die Temperaturabhängigkeiten der Parameter einen relativ grossen Einfluss auf die Berechnung haben, besonders dann, wenn bis zur Schmelztemperatur der Sperre gerechnet wird. Dennoch ergeben die Rechnungen und speziell eine Ort-Zeit-Darstellung über die Temperaturausbreitung wertvolle Hinweise.

Für das im Bild 1 dargestellte Kabel mit einer Sperrendicke von 0,3 mm Al und einem mittleren Zylinderdurchmesser der Sperre von 30,6 mm wurden mit den Werten nach Tabelle II Rechnungen durchgeführt und in den Bildern 3–5 dargestellt. Die Bilder illustrieren einerseits die Aufteilung des Rechenbereichs in die finiten Elemente (x-Koordinaten der Gitterpunkte) und in die berechneten Zeitschritte dt (Zeitskala). Jeder Gitterpunkt stellt die Temperatur $T(t)$ des entsprechenden Elementes dar; sie kann aus der Darstellung direkt abgelesen werden (siehe Bild 5).

Resultate und Auswertung

Ein Stromstoss von 15,5 kA, 0,1 s verursacht eine Erwärmung des Kabelmantels auf ungefähr 278 °C (Bild 3). Nach einer Sekunde ist die Temperaturerhöhung in der Kunststoffschicht bis auf eine Entfernung von 1 mm vom Metall feststellbar. Das Metall hat zu diesem Zeitpunkt noch eine Temperatur von rund 119 °C.

Ein Stromstoss von 8 kA, 0,4 s verursacht eine Erwärmung des Kabelmantels auf ungefähr 228 °C (Bild 4). Nach einer Sekunde wird die Temperaturerhöhung in der Kunststoffschicht bereits am Rand des simulierten Kunststoffstreifens von 1 mm festgestellt. Nach 5 s zeigt die Simulation eine gleichmässige Verteilung der Wärme (am Rande des Simulationsgebiets wurde der Wärmeabfluss als Null angenommen), und die Temperatur ist im Kunststoff auf rund 77 °C angestiegen. In der Realität – und auch bei einer grösseren Simulations-

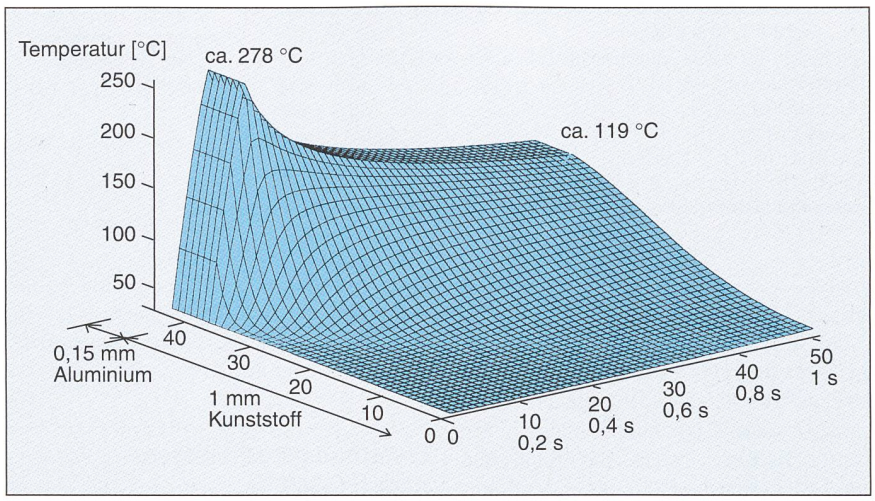


Bild 3 Ort-Zeit-Darstellung der Temperaturverteilung
Effektivwert des Stromes: 15,5 kA; Zeitdauer: 0,1 s; Dicke der Diffusionssperre: 0,3 mm; mittlerer Durchmesser der Diffusionssperre: 30,6 mm

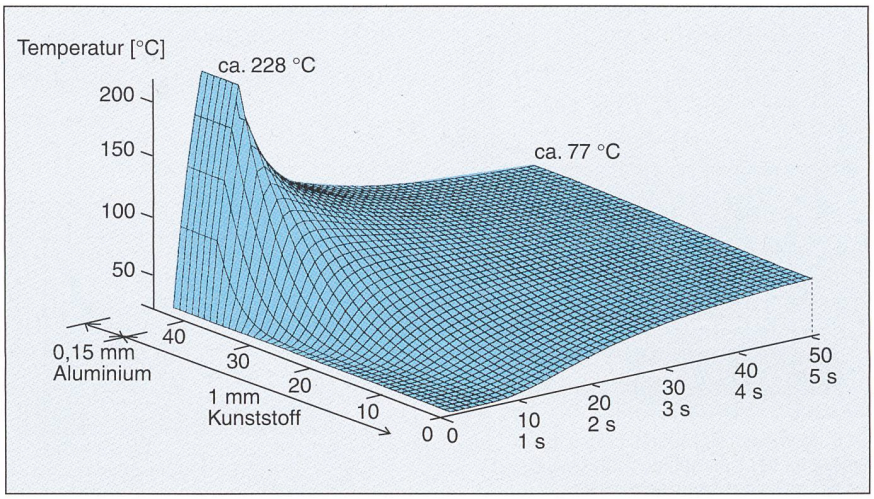


Bild 4 Ort-Zeit-Darstellung der Temperaturverteilung
Effektivwert des Stromes: 8,0 kA; Zeitdauer: 0,4 s; Dicke und Durchmesser der Diffusionssperre: wie Bild 3

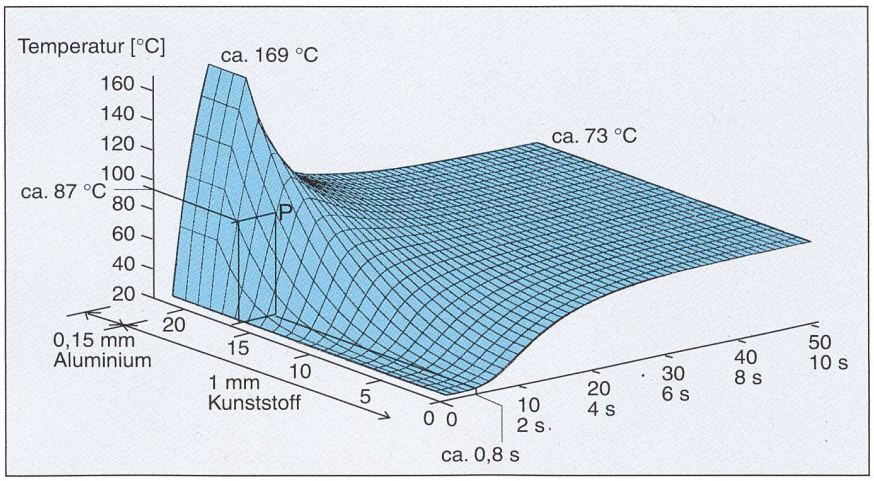


Bild 5 Ort-Zeit-Darstellung der Temperaturverteilung
Effektivwert des Stromes: 5,0 kA; Zeitdauer: 1,0 s; Dicke und Durchmesser der Diffusionssperre: wie Bild 3

spezifische Wärme des Schirms	$\sigma_1 = 2{,}5\ 10^6$ J/K · m³
spezifische Wärme der anliegenden Materialien	$\sigma_2 \approx \sigma_3 = 3{,}3\ 10^6$ J/K · m³
therm. Widerstand der anliegenden Materialien	$\rho_2 \approx \rho_3 = 3{,}5$ K · m/W
Dicke des Schirms	δ = 0,2 und 0,3 mm
Kontaktfaktor	F = 1 (guter Kontakt)
Die Werte für β und K sind IEC 949,	K = 148 A s$^{1/2}$/mm²
Tabelle I, entnommen.	β = 228 K

Tabelle III Für Erwärmungsrechnungen nach IEC 949 verwendete Stoffgrössen

breite – würde dieser Temperaturanstieg geringer ausfallen.

Ein Stromstoss von 5 kA, 1 s verursacht eine Erwärmung des Kabelmantels auf ungefähr 169 °C (Bild 5). Nach einer Sekunde wird die Temperaturerhöhung in der Kunststoffschicht bereits am Rand des simulierten Kunststoffstreifens von 1 mm festgestellt. Nach 10 s zeigt die Simulation eine gleichmässige Verteilung der Wärme (kein Abfluss), und die Temperatur ist im Kunststoff auf rund 73 °C angestiegen. In der Realität würde dieser Temperaturanstieg geringer ausfallen.

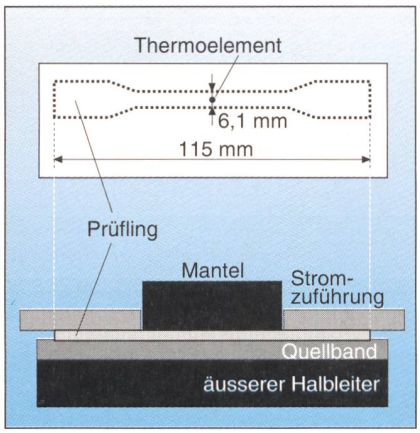


Bild 6 Modellaufbau zur Bestimmung der Temperatur des Kabelschirms (Diffusionssperre) und der zulässigen Schirmerwärmung

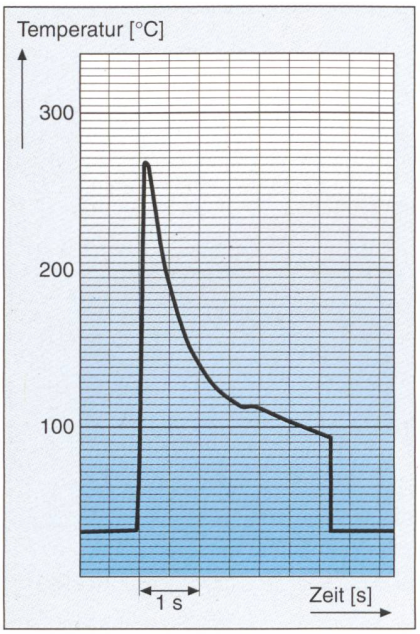


Bild 7 Temperaturverlauf in Diffusionssperre

Effektivwert des Stromes während einer Zeitdauer von 0,1 s: 597 A/mm²; Dicke der Sperre: 0,2 mm

Erwärmungsrechnungen nach IEC 949

In IEC 949 [3] ist eine Rechenmethode für Schirme aufgeführt, welche ebenfalls nichtadiabatische Erwärmungseffekte berücksichtigt. Den Rechnungen liegen folgende Formeln zugrunde:

$$\theta_f = (\theta_i + \beta) \cdot \exp[(I_{AD}^2 \cdot t)/(K^2 \cdot S^2)] - \beta \quad (6)$$

$$I_{AD} = I_{SC} / \varepsilon \quad (7)$$

$$\varepsilon_f = 1 + 0{,}61 M\sqrt{t} - 0{,}069 (M\sqrt{t})^2 + 0{,}0043 (M\sqrt{t})^3 \quad (8)$$

$$M = \frac{\left(\sqrt{\frac{\sigma_2}{\rho_2}} + \sqrt{\frac{\sigma_3}{\rho_3}}\right)}{2\sigma_1 \delta \cdot 10^{-3}} F \quad (9)$$

Mit Hilfe von Formel (6) lässt sich die Endtemperatur θ_f des Schirms berechnen, nachdem während einer Zeitdauer t ein Kurzschlussstrom I_{SC} durch den Schirm geflossen ist. Mit den Formeln (7) bis (9) werden nichtadiabatische Effekte berücksichtigt (Wärmeabfluss in die Umgebung des Schirms, quantifiziert durch den Faktor M). Die für Berechnungen verwendeten Stoffwerte (Mittelwerte) der im Kabel eingesetzten Materialien sind in Tabelle III angegeben. Die Ergebnisse solcher Rechnungen werden weiter unten mit entsprechenden Messungen verglichen. Als Ausgangstemperatur θ_i wurden 20 °C eingesetzt.

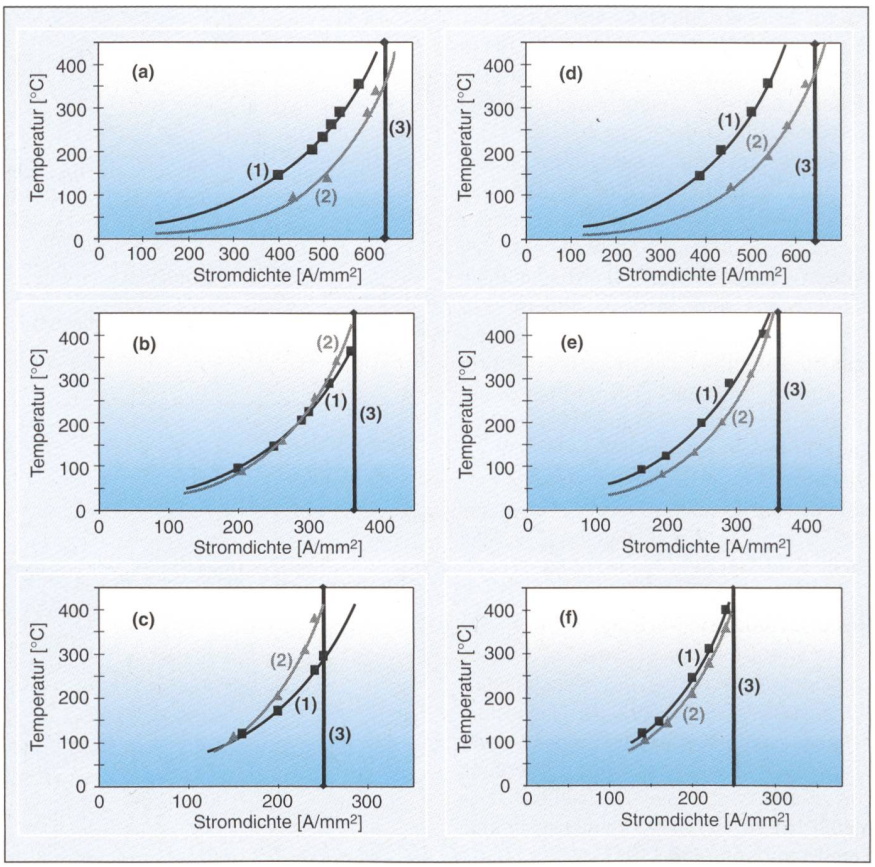


Bild 8 Maximale Temperaturen von Diffusionssperren in Abhängigkeit der Stromdichte

1 nach IEC nicht adiabatisch gerechnet
2 Punkte: an Modellaufbau gemessene Werte; Kurve: Interpolation der Messwerte
3 Beschädigungsgrenze (siehe Text)

a d = 0,2 mm; t = 0,1 s
b d = 0,2 mm; t = 0,4 s
c d = 0,2 mm; t = 1,0 s
d d = 0,3 mm; t = 0,1 s
e d = 0,3 mm; t = 0,4 s
f d = 0,3 mm; t = 1,0 s

wobei d die Dicke der Diffusionssperre und t die Dauer der Strombelastung bedeuten.

Erwärmungsmessungen

Messmethode

In [2] ist eine Versuchsreihe beschrieben, durchgeführt an Kabeln mit einer Diffusionssperre aus Aluminium mit 0,2 mm Wandstärke, für 0,2 und 1 s Kurzschlussstromdauer. Eine stufenweise Stromerhöhung und eine visuelle Inspektion nach jedem Versuch erlaubten, die zulässige Stromgrenze zu ermitteln.

Prüfungen an Kabeln (Kabellänge von etwa 15 m pro Prüfling) sind sehr aufwendig, so dass sich die Frage nach Modellversuchen stellt. Modellversuche können nicht alle Fragen beantworten, aber sie können Kabelversuche ergänzen und wertvolle Informationen liefern, ähnlich wie die oben dargestellten Berechnungen. Für Ströme im Zeitbereich 0,1 bis ungefähr 1 s spielt wegen der im Verhältnis zu den Isolationsabmessungen kleinen Eindringtiefe der Wärme in einem Zeitbereich bis einige Sekunden die Zylinderform eine vernachlässigbare Rolle, so dass Modellversuche an ebenen Platten, mit einem dem Kabel entsprechenden Aufbau, durchgeführt werden konnten (Bild 6).

Um möglichst trägheitsfrei die Temperatur des Schirmelements (Diffusionssperre) zu messen und den Fehler so tief wie möglich zu halten, war es angezeigt, sehr dünne Thermoelemente, Dicke 30 µm, zu verwenden. Bei den hohen Stromdichten (bis 600 A/mm²) war es zudem notwendig, das Thermoelement elektrisch vom Schirmelement zu isolieren. Als Isolation diente eine 4 µm dicke Papierzwischenlage. Für den kürzesten Stromimpuls (Zeitdauer = 0,1 s) ist der grösste Fehler zu erwarten. Er kann rechnerisch wie auch grafisch abgeschätzt werden. Wie aus Bild 7 ersichtlich, ist die Temperaturkurve am Kulminationspunkt abgerundet, müsste aber spitz sein (Bild 3). Der Schnittpunkt der extrapolierten, ansteigenden und abfallenden Kurven liegt bei rund 300 °C, das heisst der Fehler in der gemessenen Temperatur für $t = 0{,}1$ s beträgt etwa 25 °C oder, bezogen auf den Temperaturanstieg, ungefähr 9%.

Wichtig für den Einsatz der Kabel ist aber nicht die genaue Kenntnis der maximalen Temperatur, sondern primär der Zustand des Schirms und der anliegenden Materialien nach Kurzschlussbelastungen. Die Grenze der noch zulässigen Strombelastung ergibt sich durch das Kriterium, dass auch nach mehreren Stromstössen die Betriebssicherheit nicht beeinträchtigt sein darf. Bis zur sogenannten Beschädigungsgrenze muss die Diffusionssperre (Schirm) vollständig intakt bleiben. Die Diffusionssperre verklebt dabei möglicherweise leicht mit den anliegenden Materialien, was jedoch bedeutungslos ist. Die Versuche an den Kabeln ergaben [2], dass sich auch keine Veränderungen an der Überlappungsstelle zeigten; diese blieb unverändert intakt.

Stromdauer [s]	Wandstärke δ [mm]	Temperatur θ_f in °C für I_{SC} = 230 A/mm²		Stromdichte in A/mm² für θ_f = 250 °C	
		Messung	Rechnung nach IEC 949	Messung	Rechnung nach IEC 949
0,1	0,2	–	–	584	512
0,1	0,3	–	–	574	470
0,4	0,2	114	124	306	312
0,4	0,3	116	165	300	274
1,0	0,2	310	238	216	239
1,0	0,3	314	350	213	203

Tabelle IV Vergleich der Messungen mit nichtadiabatischen Berechnungen nach IEC 949

Messresultate

Bild 8 zeigt die Ergebnisse von Messungen der Maximaltemperatur für Diffusionssperren mit 0,2 und 0,3 mm Wandstärke für Kurzschlussdauern von 0,1, 0,4 und 1,0 s. Zur Ermittlung der Stromdichte wurde jeweils der mittlere Effektivwert des Stromes über die ganze Zeitdauer bestimmt und durch den Schirmquerschnitt dividiert. Nach jedem Versuch wurden die Messproben auf allfällige Beschädigungen untersucht; aus diesen Ergebnissen wurden die in Bild 8 eingezeichneten Beschädigungsgrenzen ermittelt.

In Bild 8 wurden auch entsprechende Resultate nach IEC 949 eingetragen. Der Vergleich zwischen den Versuchsergebnissen und den nichtadiabatischen Rechnungen nach IEC 949 zeigt, dass die Abweichungen, je nach berechneter Grösse, bedeutend sein können. Berechnet man von einer bestimmten Temperatur (z.B. $\theta_f = 250$ °C) ausgehend die Stromdichte, so ist die Übereinstimmung von Rechnung und Messung grob befriedigend; berechnet man jedoch von der Stromdichte ausgehend die Temperatur, so sind die Abweichungen zum Teil hoch (Tabelle IV).

Stromdauer [s]	Stromdichte [A/mm²]	Max. Temperatur in °C Rechnung	Messung
0,1	537	278	217[a]
0,4	277	228	196
1,0	173	169	152

Tabelle V Vergleich von Messungen mit nichtadiabatischen Berechnungen, welche mittels der Finite-Elemente-Methode durchgeführt wurden

[a] Messfehler berücksichtigt

Wenn man also eine Kabelkonstruktion optimieren will, sind umfangreiche Versuche unumgänglich. Die spezifischen Stoffwerte der anliegenden Materialien sind temperaturabhängig; besonders stark abhängig ist die spezifische Wärme (Bild 2). Ein Vergleich der Messwerte mit den Resultaten aus den oben beschriebenen Berechnungen der nichtadiabatischen Erwärmung mittels der Finite-Elemente-Methode zeigt eine etwas bessere Übereinstimmung (Tabelle V). Für eine präzise Übereinstimmung müsste allerdings die Temperaturabhängigkeit aller Stoffwerte berücksichtigt werden.

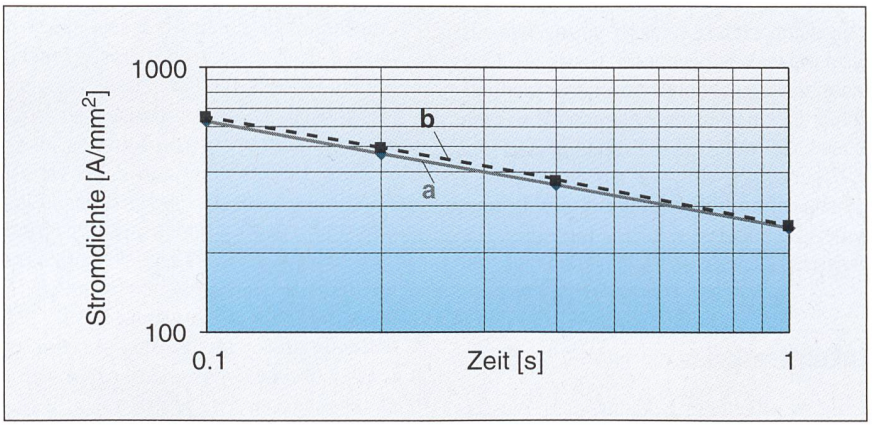


Bild 9 Zulässige Stromdichte in Abhängigkeit von der Stromdauer

Ausgangstemperatur: 20 °C

a Dicke des Aluminiumschirms: 0,3 mm *b* Dicke des Aluminiumschirms: 0,2 mm

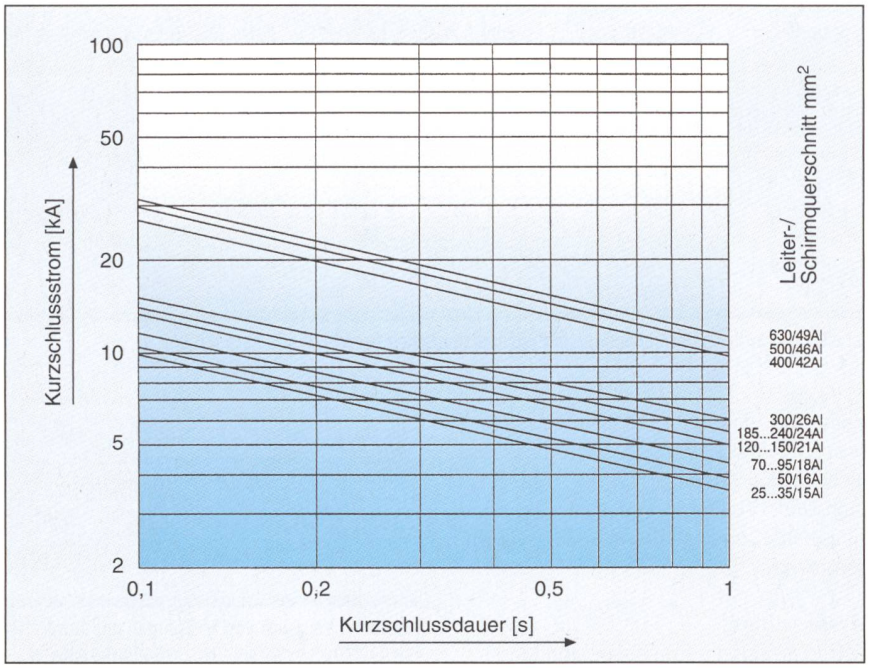


Bild 10 Zulässiger Kurzschlussstrom im Aluminiumrohrschirm
Ausführung Tri-Delta ohne Spickelleiter sowie Einleiterkabel; Anfangstemperatur der Leiter: 60 °C

Zulässige Grenze der Strombelastung

Die zulässige Grenze der Strombelastung lässt sich nur durch Versuche ermitteln. Auch ihre Optimierung, zum Beispiel durch die Wahl eines günstigeren Anpressdruckes durch den Aussenmantel, lässt sich nur experimentell bewerkstelligen. In den Bildern 9 und 10 sind die gesammelten Erfahrungswerte für Diffusionssperren, wie sie seit vier Jahren im Einsatz sind, zusammengestellt. Sie stammen alle aus Versuchen, bei denen die Schirme die Belastungen mit den angegebenen Strömen oder Stromdichten ohne Beschädigung überstanden haben. Die zulässige Stromdichte in Abhängigkeit der Stromdauer ist in Bild 9 dargestellt, der zulässige Kurzschlussstrom in Bild 10.

Die Versuche ermöglichen auch, die Korrekturfaktoren für unterschiedliche Ausgangstemperaturen präzise anzugeben. Ist die Ausgangstemperatur 60 °C statt 20 °C, so muss die Stromdichte gegenüber der aufgeführten um ungefähr 2,5% gesenkt werden. Wenn also mit einem Korrekturfaktor von 0,97 gerechnet wird, wie auf Bild 10 angegeben, befindet man sich auf der sicheren Seite. Der Korrekturfaktor für eine Ausgangstemperatur von 90 °C beträgt 0,95.

Zukunftsaspekte

Es ist allgemein bekannt, dass Wasserbäumchenbildung in Polymeren sich nur verhindern lässt, wenn der Zutritt von Wasser unterbunden wird [1]. Neuere Untersuchungen [3, 4] bestätigen, dass selbst bei hoher elektrischer Beanspruchung – sofern ein kritischer Wert, der aber weit über der Betriebsspannung liegt, nicht überschritten wird – kaum eine Alterung stattfindet.

In [4] fand man bei Alterungsversuchen für Kabel mit Wasserzutritt zur XLPE-Kabelisolation einen Lebensdauerexponenten von $N = 13$ und bei Ausschluss von Wasser von $N = 400$, also fast keine Alterung oder, in anderen Worten, nur eine kleine Verringerung der dielektrischen Festigkeit mit der Zeit. Wenn es also gelingt, bei Mittelspannungskabeln ohne Mehrkosten Diffusionssperren einzubauen, welche im Fehlerfall eine genügende Stromtragfähigkeit aufweisen, ist ein echter Durchbruch gelungen.

Verdankung

Der Autor dankt den Herren Prof. Dr. Helmut Hager und Silvio Donati herzlich für ihre Mithilfe bei Berechnungen und Messungen.

Literatur

[1] *T. Heizmann* und *W. Zaengl:* Vor-Ort-Diagnose von polymerisolierten Mittelspannungskabeln. Bull. SEV/VSE 85(1994)23, S. 27–37.

[2] *E. Sarbach:* Zulässiger Kurzschlussstrom im Aluminium-Rohrschirm. Triplex-News Nr. 7 der Studer Draht- und Kabelwerk AG, 4658 Däniken SO.

[3] *E. Dorison* et al.: High voltage cross-linked polyethylene insulated cables in the French national grid – experience in the field – potential utilization at higher voltages. Cigré Paris, Session 1994, paper 21–107.

[4] *F. Peschke* et al.: Extension of XLPE cables to 500 kV based on progress in technology. REE (Revue de l'Electricité et de l'Electronique), numéro spécial, août 1996, volume 1.

Détermination plus précise des limites de charge

Etudes relatives à la limite thermique du courant admissible sur les barrières de diffusion métalliques dans les câbles moyenne tension

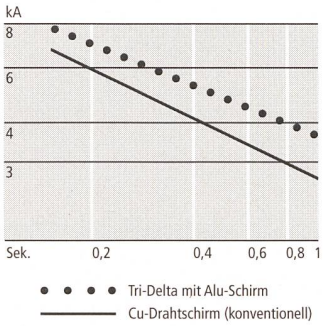
On peut prolonger la durée de vie utile des câbles isolés aux polymères en empêchant la pénétration de l'eau jusqu'à l'isolement. Ceci peut être réalisé au moyen de barrières de diffusion métalliques (fig. 1) qui doivent cependant être dimensionnées de manière à pouvoir conduire fiablement les courants élevés présents en cas de défaillance. Cet article montre comment on peut déterminer avec une précision encore plus grande les limites de charge de tels blindages.

Dans une première partie, les variations de la température dans une barrière de diffusion métallique est calculée par la méthode des éléments finis pour différentes intensités de courant de court-circuit dans des conditions non adiabatiques (formules (1)–(5), fig. 2–5, tableaux I et II). Ces calculs sont comparés à la méthode selon CEI 949 (formules (6)–(8), tableau III), puis aux résultats de mesures (fig. 7–10, tableaux IV et V) effectuées sur un montage modèle (fig. 6). La méthode des éléments finis présente une concordance légèrement meilleure avec les valeurs mesurées que le calcul selon CEI 949 et pourrait être encore améliorée en tenant compte de toutes les influences de la température sur les caractéristiques des matériaux.

Tri-Delta® – das Original!

Tri-Delta®
Das überlegene Mittelspannungs-kabel

- längs- und querwasserdicht
- robust dank hochzähem Mantel
- keine Armierung– weniger Gewicht
- Idealer Ersatz für PPb-Kabel
- wesentlich reduzierte Schirmverluste
- halogenfreie Materialien
- extrem langlebig
- umweltneutrale Entsorgung
- Alu-Rohr-Schirm– höhere Kurzschlussströme im Schirm zulässig



Studer-Kabel Däniken

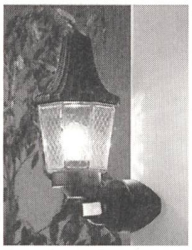
Studer Draht- und Kabelwerk AG
CH-4658 Däniken
Telefon 062 · 288 82 82
Telefax 062 · 288 83 83

Sensorleuchten und Bewegungsmelder
Für Sicherheit und Stromersparnis ...

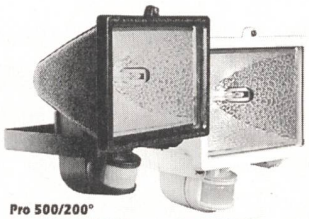
Cerclampe 360°
Deckenmontage
E-No. 913 721 609

Alu-Laterne 200°
E-No. 924 353 009

Alu-Laterne 200°
E-No. 924 353 019



Swiss Lampe 200°
Eckmontage



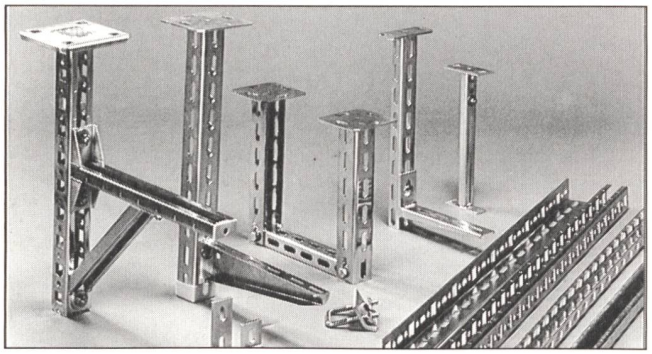
Pro 500/200°
E-No. 924 603 019

Pro 500/200°
E-No. 924 602 019

Bitte senden Sie mir Unterlagen über:
- ❑ Sensorleuchten
- ❑ Bewegungsmelder
- ❑ Katalog «Licht, Automatik und Sicherheit 1996/97»
- ❑ _____

Name _____
Strasse _____
PLZ/Ort _____

M. Züblin AG
Glattalstrasse 501, CH-8153 Rümlang
Tel. 01 / 818 08 09, Fax 01 / 818 08 29



Poutrelles Consoles Profilés LANZ MULTIFIX

pour des accrochages rationnels, cadres, constructions et fixations diverses dans l'industrie, la construction, les installations sanitaires, le chauffage, la ventilation, la climatisation:

- exécutions adaptées à toutes les charges
- en acier zingué; pour une protection maximale contre la corrosion également avec revêtement époxi ou en acier inoxydable
- prix avantageux

Montage rapide et compétitif avec MULTIFIX.
Téléphonez-nous:
lanz oensingen sa 062/388 21 21 Fax 062/388 24 24

☐ Les **poutrelles, consoles et profilés LANZ** m'intéressent. Veuillez me faire parvenir votre documentation.

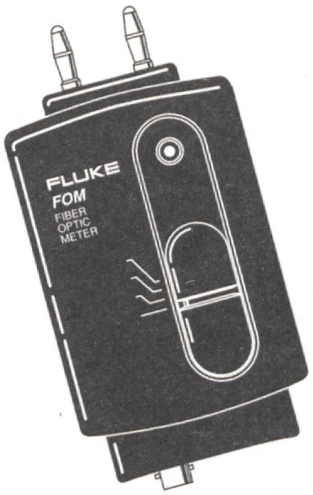
☐ Pourriez-vous me/nous rendre visite, avec préavis s.v.p.?

Nom/adresse: _____

mu3

lanz oensingen sa
CH-4702 Oensingen · Téléphone 062 388 21 21

FLUKE ®



Machen Sie aus Ihrem Digitalmultimeter ein optisches Glasfaser-Pegelmessgerät

Fluke Fiber Optic Meter FOM

- Das kompakte FOM wird mit dem DMM verbunden
- Grosse Auswahl an Lichtquellen und Steckerkabeln zum Prüfen verschiedener Kabeltypen und Längen
- Hochgenaue Messwerte innerhalb von Sekunden
- Ausgang: 1 mV pro 1 dB, Eingangsanschluss: Fixed ST
- Kalibrierte Wellenlängen von 850, 1300 und 1550 nm
- Ein Jahr Garantie

Lichtquellen für verschiedene Kabeltypen und Längen:
FOS-850, FOS-1300 und FOS 850-1300

Erhältlich bei:

FLUKE Authorized Distributor

Distrelec AG	01 944 99 11
EWI El. Wiget GmbH	041 855 16 12
Grieder Bauteile AG	061 976 95 95
Hega-Bugnard AG	01 432 31 70
Logotron AG	055 410 83 21
Otto Fischer AG	01 276 77 03