

Querschnitte bei Kabelanlagen in Funktionserhalt

F. Schmidt, Magdeburg

In verschiedenen Veröffentlichungen wurde bereits auf die Berücksichtigung der Brandtemperaturen bei Kabelanlagen in Funktionserhalt eingegangen [1], [2], [3]. Da jedoch in der Vergangenheit Fragen zu Details auftraten, die bei der Querschnittsermittlung eine Rolle spielen können, soll die zu dem Thema vorhandene Literatur durch diesen Beitrag ergänzt werden.

1 Temperaturbedingte Widerstandserhöhung

Die temperaturbedingte Erhöhung des ohmschen Widerstands bei Kabelanlagen in Funktionserhalt wird bei den Prüfungen nach der DIN 1402-12 [1] nicht berücksichtigt und muss deshalb von dem Planer eingerechnet werden. Welche Temperaturen anzunehmen sind, kann aus dem Anhang A dieser Norm entnommen werden. Hier heißt es:

„... dass Kabelanlagen in Kanälen und beschichtete Kabelanlagen ... zum Zeitpunkt des Funktionsverlustes eine Temperatur von etwa 150 °C aufweisen. Für Kabelanlagen mit integriertem Funktionserhalt ... sind näherungsweise als Leitertemperaturen zum Zeitpunkt des Funktionsverlustes die Brandraumtemperaturen (nach Einheitstemperaturzeitkurve ETK also etwa 830 °C nach 30 Minuten und 980 °C nach 90 Minuten, d. V.) anzusetzen, wenn kein besonderer Nachweis erfolgt.“

In Tafel 1 sind die Temperaturen zusammengefasst. Die temperaturbedingte Widerstandserhöhung hängt sowohl von der Temperaturerhöhung des Leiters als auch vom Anteil der vom Brand betroffenen Leitungslänge ab und berechnet sich zu

$$\Delta R = p \cdot R_k \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta \quad (1)$$

p vom Brand betroffener Anteil von der Gesamtlänge der Leitung

R_k Widerstand des Leiters bei der Anfangstemperatur (angenommen 20 °C)

α Temperaturkoeffizient ($\alpha_{Cu} = 0,00392 \text{ K}^{-1}$; $\alpha_{Al} = 0,0042 \text{ K}^{-1}$)

$\Delta \vartheta$ Temperaturerhöhung gegenüber der Anfangstemperatur von 20 °C nach Tafel 1

Im Brandfall wird der Warmwiderstand der Leitung

$$R_w = R_k + \Delta R$$

und mit (1)

$$R_w = R_k + p \cdot R_k \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta \quad \text{oder}$$

$$R_w = R_k \cdot (1 + p \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta) \quad (2)$$

Autor

Dipl.-Ing. Friedemann Schmidt, Magdeburg, ist Mitarbeiter des TÜV.

Fasst man die Konstanten α_{Cu} und $\Delta \vartheta$ zu einem Parameter k zusammen, so wird $k1 = 0,51$ für Leitungen in Kanälen oder beschichtete Kabel (Endtemperatur 150 °C) $k2 = 3,17$ für Kabelanlagen mit integriertem Funktionserhalt in E 30 (Endtemperatur 830 °C) und $k3 = 3,76$ für Kabelanlagen mit integriertem Funktionserhalt in E 90 (Endtemperatur 980 °C).

Im Bild 1 ist diese Gleichung als folgende normierte Funktion dargestellt:

$$\frac{R_w}{R_k} = p \cdot k + 1 \quad (3)$$

Teilweise geben die Kabelhersteller auch die Temperaturen an, die bei den Brandprüfungen direkt am Leiter gemessenen wurden. Wenn ein solcher Nachweis vorliegt, dürfen diese Temperaturen bei der Widerstandsermittlung

Beispiel 1. Ein 100 Meter langes Kabel mit integriertem Funktionserhalt E 30 verläuft durch mehrere Brandabschnitte. Dabei beträgt der längste Kabelweg innerhalb eines Brandabschnitts 60 Meter. Das bedeutet, dass maximal 60 % der Gesamtlänge von einem Brand betroffen werden ($p = 0,6$). Aus Bild 1 lässt auf der für diesen Fall zutreffenden Geraden 2 mit $p = 0,6$ der Wert $R_w/R_k = 2,9$ ablesen – das heißt, dass sich der ohmsche Widerstand auf das 2,9-fache des Kaltwiderstands erhöht. Zum Ausgleich ist demzufolge der 2,9-fache Querschnitt gegenüber dem für 20 °C notwendig.

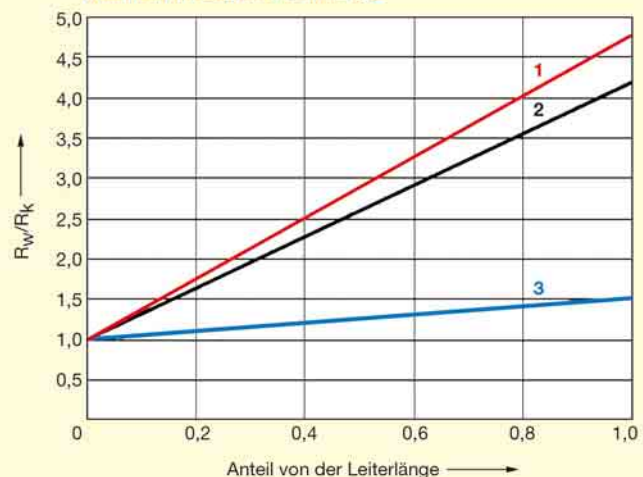
Tafel 2 Widerstände von Cu-Leitern mit Kunststoffisolierung bei 20 °C [5], [6]

| A [mm²] | R' [Ω/km] | X' [Ω/km] |
|---------|-----------|-----------|
| 1,5 | 12,1 | 0,129 |
| 2,5 | 7,41 | 0,120 |
| 4 | 4,61 | 0,114 |
| 6 | 3,08 | 0,109 |
| 10 | 1,83 | 0,109 |
| 16 | 1,15 | 0,106 |
| 25 | 0,73 | 0,103 |
| 35 | 0,52 | 0,097 |
| 50 | 0,39 | 0,092 |
| 70 | 0,27 | 0,089 |
| 95 | 0,19 | 0,085 |
| 120 | 0,15 | 0,083 |
| 150 | 0,12 | 0,080 |
| 185 | 0,10 | 0,080 |
| 240 | 0,08 | 0,079 |
| 300 | 0,06 | 0,079 |

Tafel 1 Leitertemperaturen nach [1] Anhang A

| Installationsart | maximale Leitertemperatur ϑ in °C | Temperaturerhöhung $\Delta \vartheta$ in K gegenüber 20 °C Anfangstemperatur |
|--|---|--|
| Kabel in E30 oder E90 und beschichtete Kabel | 150 | 130 |
| Kabel mit integriertem Funktionserhalt E30 | 830 | 810 |
| Kabel mit integriertem Funktionserhalt E90 | 980 | 960 |

Verhältnis von Warm- zu Kaltwiderstand in Abhängigkeit vom Anteil der betroffenen Leiterlänge



1 Erhöhung des ohmschen Widerstands durch die Brandtemperatur

1: Kabel mit integriertem Funktionserhalt E 90

2: Kabel mit integriertem Funktionserhalt E 30

3: Kabel in E-30- oder E-90-Kanälen und beschichtete Kabel

Beispiel 2. Zuleitung in einem E-30-Kanal für einen Verteiler

Leitungslänge $l = 100$ m, davon 40 m im größten Brandabschnitt ($p = 0,4$);
Kupferleiter $\rho = 0,0175 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$;
Nennspannung $U = 400$ V;
Nennleistung $P = 200$ kW;
Leistungsfaktor $\cos\varphi = 0,80$;
zul. Spannungsfall $\Delta u = 3\%$ ($\Delta U = 12$ V)

Der Strom wird

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} = \frac{200\text{kW}}{\sqrt{3} \cdot 400\text{V} \cdot 0,8} = 361\text{A}.$$

Aus Bild 1 ergibt sich mit der Geraden 1 bei $p = 0,4$ das Verhältnis von Warm- zu Kaltwiderstand mit $p \cdot k + 1 = 1,2$.

Zunächst wird mit (4) der erforderliche Querschnitt der warmen Leitung ohne Berücksichtigung von X ermittelt:

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot l \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot (p \cdot k + 1)}{\Delta U}$$

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,0175 \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}} \cdot 100\text{m} \cdot 361\text{A} \cdot 0,8 \cdot 1,2}{12\text{V}}$$

$$A = 87,4\text{mm}^2$$

Gewählt wird ein Kabel mit $A = 95 \text{ mm}^2$, $X' = 0,085 \Omega/\text{km}$ sowie mit

$$R_w' = R' \cdot (p \cdot k + 1) = 0,197 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 1,2$$

$$R_w' = 0,236 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

Die Kontrolle des Spannungsfalls **ohne Berücksichtigung von X** ergibt mit (5)

$$\Delta U_{\text{vorh}} = \sqrt{3} \cdot l \cdot I \cdot R' \cdot (p \cdot k + 1) \cdot \cos\varphi$$

$$\Delta U_{\text{vorh}} = \sqrt{3} \cdot 0,1\text{km} \cdot 361\text{A} \cdot 0,236 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 0,8$$

$$\Delta U_{\text{vorh}} = 11,8\text{V}$$

einen zulässigen Wert von 2,95 %.

Mit Berücksichtigung von X wird nach (6) der Spannungsfall

$$\Delta U_{\text{vorh}} = \sqrt{3} \cdot l \cdot I \cdot [R' \cdot (pk + 1) \cdot \cos\varphi + X' \cdot \sin\varphi]$$

$$\Delta U_{\text{vorh}} = \sqrt{3} \cdot 0,1\text{km} \cdot 361\text{A} \cdot$$

$$[0,236 \cdot 0,8 + 0,085 \cdot 0,6] \frac{\Omega}{\text{km}}$$

$$\Delta U_{\text{vorh}} = 15\text{V}$$

zu groß (3,7 %), sodass der nächsthöhere Querschnitt ($A = 120 \text{ mm}^2$) notwendig ist.

ebenfalls herangezogen werden. So ist zum Beispiel an den Kupferleitern eines Kabels mit integriertem Funktionserhalt nach 30 Minuten Brenndauer eine Temperatur von nur etwa 420 °C gemessen worden, während aber die Brandraumtemperatur bereits 830 °C betrug [4]. Da der Widerstand bei 420 °C rund 50 % des Widerstandes bei 830 °C beträgt, könnte somit ein viel kleinerer Querschnitt eingesetzt werden, als mit Bild 1 ermittelt wird.

2 Berücksichtigung der Kabelinduktivität

In Niederspannungsanlagen bis 500 V berücksichtigt man bei der Querschnittsermittlung zur Einhaltung eines vorgegebenen Spannungsfalls bis etwa 25 mm² den induktiven Leitungswiderstand X in der Regel nicht. Der induktive Widerstandsanteil ist bei einem Verhältnis von $R/X > 3$ so gering, dass er für die praktischen Rechnungen kaum noch eine Rolle spielt. Ist allerdings dieses Verhältnis $R/X < 3$, wird der induktive Spannungsfall schon bedeutend. Zu beachten ist, dass sich der ohmsche Warmwiderstand aufgrund der Temperaturerhöhung wie folgt errechnet

$$R_w = R_k \cdot (p \cdot k + 1).$$

Ohne die Berücksichtigung der Kabelinduktivität X sind in Drehstromkreisen:

- der Querschnitt allgemein

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot l \cdot I \cdot \cos\varphi}{\Delta U}$$

- der nötige Querschnitt bei warmer Leitung

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot l \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot (p \cdot k + 1)}{\Delta U} \quad (4)$$

- der vorhandene Spannungsfall bei warmer Leitung

$$\Delta U_{\text{vorh}} = \sqrt{3} \cdot l \cdot I \cdot R' \cdot (p \cdot k + 1) \cdot \cos\varphi \quad (5)$$

Mit Berücksichtigung der Kabelinduktivität X gilt in Drehstromkreisen für:

- den Querschnitt allgemein

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot l \cdot I \cdot \cos\varphi}{\Delta U - \sqrt{3} \cdot l \cdot I \cdot X' \cdot \sin\varphi}$$

- den vorhandenen Spannungsfall bei einer warmen Leitung

$$\Delta U_{\text{vorh}} = \sqrt{3} \cdot l \cdot I \cdot [R' \cdot (pk + 1) \cdot \cos\varphi + X' \cdot \sin\varphi] \quad (6)$$

ρ spezifischer Leiterwiderstand für Kupfer ($\rho_{\text{Cu}} = 0,0175 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$)

l verlegte Kabellänge

$\cos\varphi$ Leistungsfaktor des Verbrauchers

I Scheinstrom des Verbrauchers

ΔU zulässiger Spannungsfall auf der Leitung

R' ohmscher Leitungswiderstand je km (aus Tafel 2)

X' induktiver Leitungswiderstand je km (aus Tafel 2)

$p \cdot k + 1$ Verhältnis von Warm- zu Kaltwiderstand (Bild 1)

Literatur

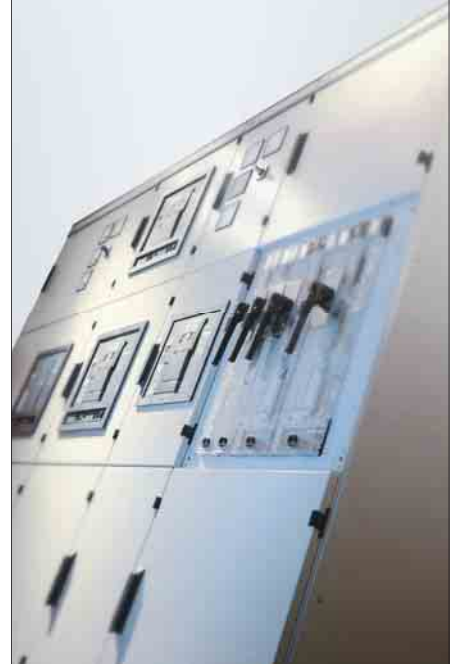
- [1] DIN 1402-12:1998-11 Funktionserhalt von elektrischen Kabelanlagen.
- [2] Technische Informationen der Kabelhersteller
- [3] Schmidt, F.: Brandschutz in der Elektroinstallation. 4. Auflage. Berlin: Huss Medien, 2005.
- [4] Technische Information pyrofil (Dätwyler).
- [5] DIN EN 60228 (VDE 0295):2005-09 Leiter für Kabel und isolierte Leitungen.
- [6] Taschenbuch Automatisierungs- und Elektroenergie-Anlagen. VEB Verlag-Technik; Berlin 1977, S. 197.

HENSEL

Elektroinstallations- und Verteilungssysteme

Geben Sie dem Lichtbogen keine Chance!

Niederspannungs-Schaltanlagen SAS 5000 von Hensel



ARCON® schützt vor Produktionsausfall durch Störlichtbögen!

ARCON®:

Lichtbogen erfassen und verlöschen

Lichtwellenleiter erfassen die Lichtemission eines beginnenden Störlichtbogens. Der Kurzschlussstrom wird durch Stromwandler erfasst.

In nur **2 ms** wird der Lichtbogen gelöscht. Die Auswirkungen sind sehr gering, so dass meistens sofort wieder zugeschaltet werden kann.

www.hensel-electric.de



Gustav Hensel GmbH & Co. KG · D-57368 Lennestadt