Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 98 (2007)
Heft: 17

Artikel: Stromverteiler : Leiter aus Aluminium
Autor: Schmid, Roland
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-857472

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: 10.07.2025

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

Stromverteilung: Leiter aus Aluminium

Der Einsatz von Aluminiumleitern bei Mittelspannungs- und Niederspannungskabeln

Traditionell werden in der Schweiz im Bereich der Stromverteilung Mittel- und Niederspannungskabel mit Kupfer als Leitermaterial eingesetzt. In den letzten Monaten und Jahren haben sich die Preise am Weltmarkt für Kupfer deutlich stärker nach oben entwickelt als für Aluminium. Die verschiedenen nachfolgend dargestellten Teilaspekte des Einsatzes von Mittelspannungskabeln mit Aluminiumleitern sollen helfen, den Typenentscheid bei der Beschaffung fundiert treffen zu können.

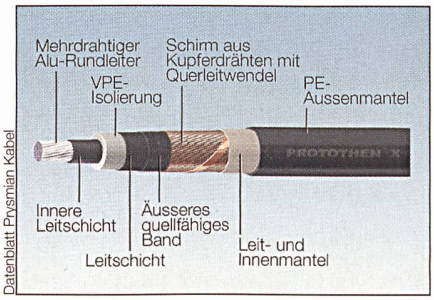


Bild 2 Typischer Kabelaufbau eines Kabels entsprechend VDE

Die im vorliegenden Beitrag genannten Zahlen und Darstellungen basieren auf monatlichen Durchschnittswerten für die Metallnotierungen «Kupfer DEL[1)]» und «Aluminium in Kabeln»[2)] in Euro/100 kg, die vom Fachverband Kabel und Leitungen in Deutschland publiziert werden (Bild 1).

In Bild 1 ist deutlich zu ersehen, dass sich der Kupferpreis ab Mitte 2006 massiv erhöht hat und starken Schwankungen unterliegt. Demgegenüber waren die Preissteigerungen bei Aluminium deutlich moderater und weniger stark schwankend.

Roland Schmid

Betrachtet man die Relation zwischen den Preisen für Kupfer und Aluminium, lag der Faktor Anfang 2004 bei einem Wert von rund 1,25 und erreichte sein Maximum im Frühling 2006 mit einem Wert von 2,72. Mittlerweile bewegt sich dieser Wert bei etwa 2,4.

Der deutliche Preisschub beim Kupfer gegenüber dem Aluminium führt dazu, dass Kabel mit Leiter aus Aluminium bei gleicher Übertragungsleistung deutlich kostengünstiger sein können als Kabel mit Leiter aus Kupfer. Im Bereich der Niederspannungsnetzkabel hat diese Entwicklung bereits dazu geführt, dass in den letzten Jahren vermehrt Aluminiumnetzkabel eingesetzt wurden, während bei der Wahl von Kabeln mit Aluminiumleitern für Mittelspannungskabel bei den Anwendern noch eine deutliche Zurückhaltung herrscht.

Die aktuelle Marktsituation

Im Mittelspannungskabelbereich werden in der Schweiz nahezu 100% der Kabel mit Kupfer als Leitermaterial verlegt, während im Bereich der Niederspannungskabel der Anteil an Kabeln mit Aluminiumleitern aufgrund der Metallmarktpreisentwicklung stetig zunimmt.

In Deutschland haben die Kunden in den 80er- und 90er-Jahren stark unter der vorzeitigen Alterung kunststoffisolierter Kabel gelitten. Entsprechend waren sowohl Hersteller als auch Kunden in Deutschland sehr aktiv bei der Festlegung spezifischer Normen für die Herstellung von Mittelspannungskabeln, unabhängig vom Leitermaterial. Insgesamt werden in Deutschland jährlich über 30000 Aderkilometer Mittelspannungskabel verlegt. Davon sind rund 95% Kabel mit Aluminiumleiter (Bild 2). Kupferkabel hingegen gelangen hauptsächlich im industriellen Bereich zur Anwendung.

In Frankreich schliesslich werden von Elektrizitätsversorgungsunternehmen seit Jahren schon mehrheitlich Kabel mit Aluminiumleitern eingesetzt.

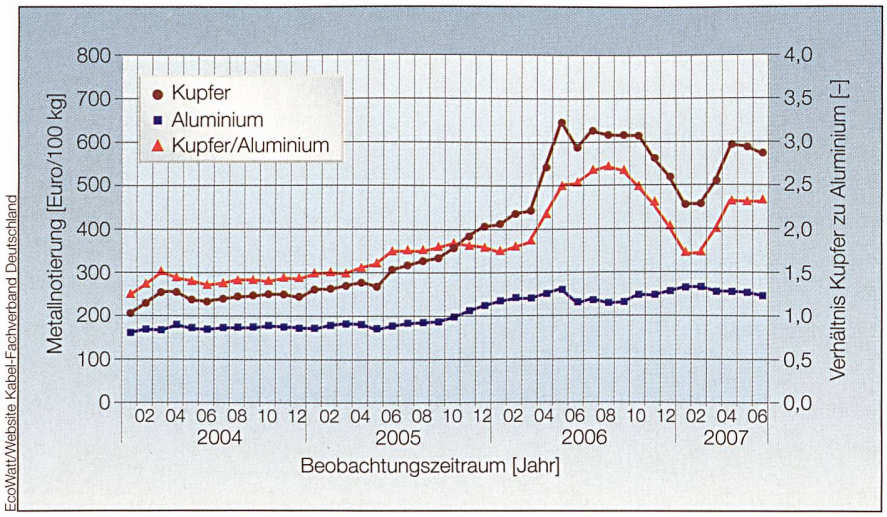


Bild 1 Preisentwicklung von Cu und Al.

Die Norm DIN-VDE 0276

Der Aufbau der Leiter ist in der Norm DIN-VDE 0276 festgelegt. In der Standardkonstruktion wird der Leiter auch bei der Verwendung von Aluminium als Leitermaterial aus mehreren Einzeldrähten verseilt. Der Kabelschirm besteht aus spiralförmig aufgebrachten Kupferdrähten.

Ein relevanter Unterschied zur Standardkonstruktion in der Schweiz besteht in der Wandstärke der XLPE[3)]-Isolation: Diese beträgt 5,5 mm (Deutschland) statt nur 5,0 mm (Schweiz). Relevant jedoch ist nicht nur der Unterschied zu der in der Norm DIN-VDE 0276 vorgegebenen Kabelkonstruktion, sondern auch die in dieser Vorschrift vorgegebenen Tests: Neben den Stückprüfungen im Werk werden auch produktionsbegleitende Langzeittests verlangt.

Variante	Anzahl Prüflinge
Variante 1	6 Prüflinge mit $E_d > 23$ kV/mm und 4 Prüflinge mit $E_d > 29$ kV/mm und 2 Prüflinge mit $E_d > 35$ kV/mm
Variante 2	6 Prüflinge mit $E_d > 29$ kV/mm

Tabelle I Anforderung: Prüfkriterien, Variante 1 oder Variante 2.

Eigenschaft	Aluminium	Kupfer	Faktor
Spezifischer elektrischer Widerstand [$\Omega \cdot mm^2/m$]	0,0287	0,0178	1,61
Dichte [kg/dm^3]	2,73	8,96	3,28

Tabelle II Spezifischer Widerstand und Dichte von Aluminium und Kupfer.

Material	Querschnitt [mm^2]	Belastbarkeit [A]
Kupfer	240	532
	300	599
Aluminium	240	417
	300	471
	400	535
	500	609

Tabelle III Belastbarkeit von Aluminium- und Kupferkabeln unterschiedlichen Querschnitts

Leitertyp		Aussendurchmesser [mm]
Kupfer	Cu 50	29
Aluminium	Al 95	34
Kupfer	Cu 95	32
Aluminium	Al 150	36
Kupfer	Cu 150	36
Aluminium	Al 240	40

Tabelle IV Vergleich der Aussendurchmesser für Aluminium- und Kupferkabel

Dabei werden Kabel unter extremen Randbedingungen (Aussenmantel entfernt, permanentes Eintauchen des Kabels ins Wasserbad, Spannung auf dem Leiter, Wasser erwärmt) künstlich gealtert.

Die Norm verlangt die Einhaltung von Durchschlagsgrenzwerten im Neuzustand, wobei spezifizierte Mindestdurchschlagswerte nach absolvierten Langzeittests ebenfalls eingehalten werden müssen, wenn der Hersteller die VDE-Zulassung nicht verlieren möchte.

Gemäss Norm müssen für Alterungsdauern von 1 Jahr und von 2 Jahren jeweils 6 Prüflinge mit einer aktiven Länge von jeweils mindestens 10 m verteilt über das Jahr aus der Fertigung entnommen werden, um ihre Restspannungsfestigkeit (Durchschlagfeldstärke E_d) mittels Stufenwechselspannungstests zu ermitteln (Tabelle I). Die Auswertung der Prüfergebnisse wird für die beiden Alterungsdauern getrennt durchgeführt. Die Bewertung der 2 Ergebnisgruppen erfolgt durch Auswertung der jeweils 6 letzten Werte eines Alterungszeitraums. Der Beobachtungszeitraum entspricht damit einem Fertigungszeitraum von einem Jahr. Bei der Berechnung der Durchschlagfeldstärke muss der kleinste zulässige Aussendurchmesser über der Isolierung und die Nennwanddicke benutzt werden.

Bild 3 zeigt typische Testresultate. Es ist ersichtlich, dass die Durchschlagspannung im Neuzustand bei rund $26 \cdot U_o$ liegt.

Durch diese Tests – unabhängig davon, ob der Leiter aus Kupfer oder Aluminium besteht – wird sichergestellt, dass die entsprechend der Norm produzierten Kabel einen hohen Qualitätsstandard zu erfüllen vermögen. In der Schweiz sind entsprechende Tests für den Schweizer Markt nicht standardmässig implementiert.

Bei den Schweizer Kabelherstellern besteht aufgrund der absolut gesehen besseren Marge die Tendenz, Kupferkabel gegenüber Aluminiumkabeln bei den Kunden zu favorisieren. Hersteller im Ausland haben allerdings wegen der grossen Produktionsmengen bessere Voraussetzungen, um Kabel kostengünstig produzieren zu können. Daher besteht das Risiko, dass bei einem Preisvergleich von Mittelspannungs-Aluminiumkabeln jene von Herstellern in Deutschland günstiger sein werden als jene von Schweizer Herstellern.

Materialdaten

Technische Eigenschaften

Kupfer und Aluminium weisen die in Tabelle II zusammengefassten technischen Eigenschaften auf.

Bei 100 kg Metall resultiert mit Aluminium somit ein Volumen von 36,63 dm^3, bei Kupfer eines von 11,16 dm^3. Stellt man mit dieser Menge Metall einen Leiter her, erhält dieser bei einer Länge von 100 m einen Querschnitt von 36,63 cm^2 (Aluminium) bzw. 11,16 cm^2 (Kupfer). Bei diesen Querschnitten ergeben sich pro Leiter der Länge 100 m Widerstandswerte R von 0,0784 Ω (Aluminium) bzw. 0,1595 Ω (Kupfer).

Bei gewichtsmässig gleich hohem Metalleinsatz erreicht man somit mit Aluminium einen Widerstandswert, der etwa um einen Faktor 2 tiefer liegt als bei Kupfer. Bezüglich Gewicht pro Leiter mit vorgegebenem Widerstandswert hat Aluminium aufgrund des geringeren Gewichts zudem den Vorteil, dass die Kabel einfacher einzuziehen und zu handhaben sind.

Wirtschaftliche Aspekte

Auf Basis der Metallnotierungsmittelwerte im Juni 2007 war 1 kg Kupfer rund 2,3 Mal so teuer wie 1 kg Aluminium. Berücksichtigt man die Überlegungen bezüglich der Querschnitte, liesse sich bei Einsatz derselben Summe Geld mit Aluminium ein um den Faktor $2{,}3 \times 2 = 4{,}6$ tieferer Widerstandswert erzielen.

Ein Teil der Wirtschaftlichkeit des Leitermaterials Aluminium wird allerdings bei der Produktion des Kabels wieder aufgefressen, da der Aluminiumleiter bei gleichem Widerstandswert einen höheren Querschnitt aufweist, und zwar um den Faktor 1,61 (Tabelle I). Bezüglich Durchmesser des Leiters wird der Aluminiumleiter dadurch um den Faktor 1,26 grösser. Bei der Extrusion der Isolation des Mittelspannungskabels mit einer Wandstärke von 5,0 bzw. 5,5 mm muss deshalb mehr Polyäthylen verarbeitet werden, was entsprechend mehr kostet.

Kabeldimensionierung

Gemäss Kabelhandbuch Prysmian[3] lässt sich ein Kabel mit Leiter bei vergleichbaren Legebedingungen (Einleiterkabel, Erde) gemäss Tabelle III belasten.

Statt eines Kupferkabels mit einem Querschnitt von 240 mm^2 muss also ein Alumi-

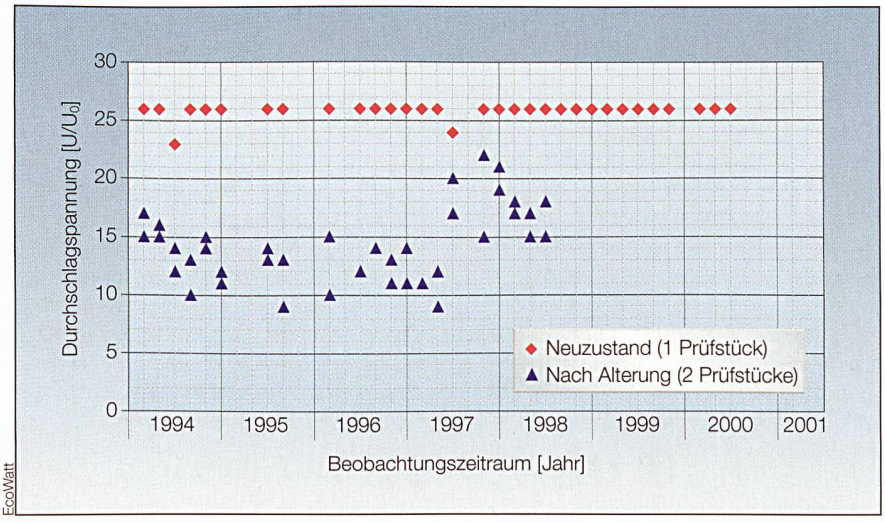


Bild 3 Durchschlagspannung im Neuzustand bei rund $26 \cdot U_0$.

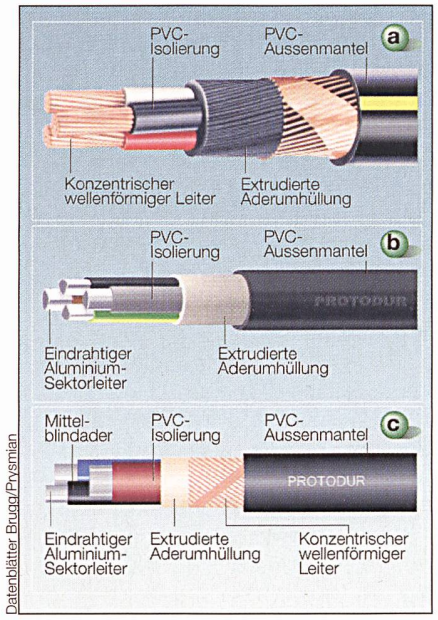


Bild 4 Unterschiedliche Kabelkonstruktionen.
Bild 4a: Konstruktion GKN
Bild 4b: Konstruktion NAYY 4×... 0,6/1 kV (U_{max} = 1,2 kV), vieradriges Kabel mit sektorförmigem Aluminiumleiter, PVC-Isolierung und -Mantel
Bild 4c: Konstruktion NYCWY 3×...SE/... 0,6/1 kV (U_{max} = 1,2 kV)

niumkabel mit 400 mm² verwendet werden bzw. 500 mm² anstelle eines 300-mm²-Kupferkabels. Der Querschnitt eines Aluminiumleiterkabels muss somit gegenüber einem Kupferleiterkabel um etwa den Faktor 1,6 grösser gewählt werden (siehe auch Tabelle I).

Kabeldurchmesser

Bei gleicher Übertragungsleistung weisen Aluminiumleiterkabel einen dickeren Leiter auf als Kupferkabel. Entsprechend ist auch der Gesamtdurchmesser des Kabels grösser (Tabelle IV).

Die Werte in Tabelle IV zeigen, dass bei Verwendung von Aluminium als Leitermaterial der Kabeldurchmesser nur um etwa 4 mm zunimmt.

Kabelpreise

Detaillierte Kabelpreise können hier nicht aufgeführt werden, da diese stark vom aktuellen Metallpreis beeinflusst werden. Zusammenfassend lässt sich jedoch sagen, dass ein Aluminiumkabel Mitte 2007 bei gleicher Übertragungskapazität rund 40% weniger kostete als ein Kupferkabel.

Technische Eigenschaften von Mittelspannungskabeln mit Aluminiumleiter

Aluminiumleiter von Mittelspannungskabeln werden als mehrdrähtige Leiter hergestellt. Bezüglich Biegefähigkeit des Kabels bestehen zwischen Aluminium- und Kupferkabeln – bei vergleichbarem Querschnitt – keine relevanten Unterschiede.

Bezüglich Kabelgarnituren und Pressmaterial sind langjährig erprobte Produkte von namhaften Herstellern verfügbar.

Markt Deutschland, spezifische Angaben der Hersteller

Im zunehmend international ausgerichteten Beschaffungsmarkt ist es legitim, bei relevanten Beschaffungsmengen auch bei Herstellern im Ausland Offertanfragen zu platzieren.

Bei der Anfrage und Auswertung von Angeboten in Deutschland müssen jedoch die dortigen Markt-Randbedingungen berücksichtigt werden. Im deutschen Kabelmarkt sind üblich:

- Metallpreise werden zu Tageskursen verrechnet. Dabei gelangen die Metallnotierungen am Folgetag der Bestellung zur Anwendung.
- Hohlpreis: Der Hohlpreis ist ein fiktiver Preis. Es handelt sich dabei um den Kabelpreis, bei dem alle Kosten von Metallen (Leiter, Schirm) abgezogen werden.
- Metallinhalt: Hiermit wird angegeben, wie viele kg Metall (Kupfer, Aluminium) pro 100 m Kabel in der Preisberechnung berücksichtigt werden. Diese Zahl ist in der Regel 10% höher als der effektiv vorhandene Metallinhalt und soll Metallverluste bei der Umarbeitung der Metalle berücksichtigen.
- Vollpreis: Der Vollpreis setzt sich zusammen aus dem Hohlpreis plus Wert des Metallinhaltes (Metallinhalt multipliziert mit der Metallnotierung).

Entsprechend soll jeweils der Totalpreis inkl. Lieferung und aller Kosten für Metalle sowie Nebenkosten (Trommelkosten) verglichen werden. Zusätzlich ist das Währungsrisiko (Angebote in Euro) zu berücksichtigen, kann doch die Lieferfrist der Kabel bei grösseren Mengen bis zu 10 Wochen betragen.

Neben dem reinen Kabelpreis sollte jedoch beim Beschaffungsentscheid auch berücksichtigt werden, welche zusätzlichen Leistungen seitens des Kabellieferanten geboten werden (Anlieferung auf die Baustelle, Einzug usw.) und wie diese Leistungen verrechnet werden.

Fazit: Aufgrund der Marktpreisentwicklung der Metalle Aluminium und Kupfer ist es bei der Beschaffung von Mittelspannungskabeln prüfenswert, ob anstelle der bis anhin verwendeten Kupferleiterkabel künftig Kabel mit Aluminiumleiter zum Einsatz gelangen sollen.

Im Bereich der Aluminiumleiterkabel zeigen sich jedoch die Schweizer Hersteller gegenüber den Kunden eher zurückhaltend, während Mittelspannungskabel mit Aluminiumleiterkabel im Ausland auf breiter Front zum Einsatz gelangen. Entsprechend erprobt ist deren Einsatz und Technologie. Ebenso ist ein sehr breites Spektrum an Kabelgarnituren verfügbar. Produkte ausländischer Hersteller, speziell aus Deutschland, sind gegenüber Schweizer Produkten technisch sicher nicht im Nachteil, werden sie doch durch strenge produktionsbegleitende Langzeittests bezüglich Qualität permanent überprüft. Im Zusammenhang mit der Beschaffung relevanter Mengen an Kabeln können sich deshalb Anfragen bei ausländischen Anbietern durchaus lohnen.

Niederspannungsnetzkabel

Nachfolgend sollen die Kriterien für die Typenwahl im Hinblick auf optimale Verteilnetz-Eigenschaften unter Berücksichtigung der elektrischen Kennwerte der Kabel diskutiert werden. Es wird aufgezeigt, welche elektrotechnischen Eigenschaften mit den unterschiedlichen Kabelbauformen in Zusammenhang stehen und welche Kabelbauart bezüglich Oberwellen die vorteilhaftesten Eigenschaften aufweist.

Im Bereich der Niederspannungskabel gelangen mehrheitlich folgende Konstruktionsformen zum Einsatz:

- Vierleiterkabel.
- Dreileiterkabel mit konzentrisch aufgebrachtem Aussenleiter (Ceander-Schirm).
- Kabelverbund aus vier Einleiterkabeln.

Auch bei der Dimensionierung des Neutralleiters gegenüber den Phasenleitern werden unterschiedliche Prinzipien zugrunde gelegt. Bild 4 zeigt eine Übersicht über die unterschiedlichen Kabelkonstruktionsformen.

Symmetrische Komponenten

Üblicherweise ist ein Niederspannungsverteilnetz aufgrund des vorhandenen Neu-

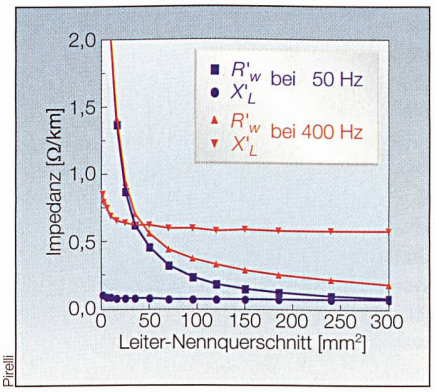


Bild 5 Einfluss der Frequenz auf die Impedanz
Konstruktion NYCY 3×.../... 0,6/1 kV.
Bei höheren Frequenzen ist bereits bei kleinen Leiterquerschnitten der induktive Anteil der Impedanz bei der Bestimmung des Spannungsabfalls zu berücksichtigen. (Typenkurzzeichen siehe Tabelle V.)

Bedeutung	Kurzzeichen
Normtyp	
nach VDE:	N
Leitermaterial	
Aluminium:	A
Kupfer:	kein Zeichen
Isolierung Leiter	
PVC:	Y
VPE:	2X
Konzentrischer Kupferleiter	
im Längsschlag:	C
wellenförmig:	CW
Äussere Schutzhülle	
PVC:	Y
VPE:	2Y
Leiterkonstruktion	
sektorförmig, eindrähtig:	SE
sektorförmig, mehrdrähtig:	SM
rund, eindrähtig:	RE
rund, mehrdrähtig:	RM

Tabelle V In Deutschland gebräuchliche Typkurzzeichen bei Niederspannungskabeln.
Beispiel 1
«NYCWY 3×95 SM/50»: Kabel mit 3 Kupferleitern, sektorförmig, mehrdrähtig mit je 95 mm² Querschnitt plus Ceander-Schirm 50 mm² aus Kupfer
Beispiel 2
«NA2X2Y 4×240 mm²»: Kabel mit 4 Aluminiumleitern, je sektorförmig (Sektorwinkel 90°), eindrähtig (Massivleiter) mit Querschnitt je 240 mm², Leiterisolierung VPE, Aussenmantel VPE.

tralleiters, der Erdverbindung und der Belastungen unsymmetrisch. Um solche Netze analytisch zu behandeln, wird die Theorie der «symmetrischen Komponenten» verwendet. Dabei wird der unsymmetrische Netzzustand in drei jeweils symmetrische Teilsysteme – in ein sogenanntes Mitsystem, ein Gegensystem und ein Nullsystem – zerlegt.

Bei den Impedanzen des Nullsystems findet eine Parallelschaltung des Erdstrompfades (R_E, X_E) mit dem Neutralleiterpfad (R_{Ln}, X_{Ln}) statt. Nachfolgend soll aufgezeigt werden, in welchen Grössenordnungen sich die Werte der einzelnen Elemente bewegen. Der Leiterquerschnitt wirkt sich dabei auf den Wert von R stärker aus als auf den Wert der Reaktanz X.

In Bild 5 sind gemessene Impedanzwerte an Kabeln der Konstruktion NYCWY (3 Kupferleiter, konzentrischer Kupferschirm, Ader- und Mantelisolation aus PVC) für die zwei Frequenzen 50 Hz und 400 Hz (8. Oberwelle) dargestellt (Tabelle V).

Aus dieser Darstellung ist Folgendes ersichtlich:

- Ab Leiterquerschnitten von 25 mm² ist die Reaktanz X nahezu unabhängig vom Leiterquerschnitt.
- Bei 50 Hz wird der Impedanzwert der Leitung bis zum Querschnitt von etwa 150 mm² dominiert durch den Widerstandsanteil R, der frequenzabhängige Anteil $X = \Omega \cdot L$ ist von untergeordneter Bedeutung.
- Bei 400 Hz ist ab etwa 50 mm² Leiterquerschnitt der ohmsche Anteil geringer als der induktive Anteil.
- Bei grossen Leiterquerschnitten (da der Wert von R gering ist) wirkt sich der Reaktanzwert X bei höheren Frequenzen (z.B. 400 Hz) deutlich stärker auf die Impedanz $Z = R + j \cdot X$ aus.

Impedanzwerte des Erdreiches

Die Leitfähigkeit des Bodens hängt sehr stark von der Bodenbeschaffenheit und der Feuchtigkeit des Bodens ab. Für die Bestimmung des Widerstandswertes und der Reaktanz des Erdstrompfades bestehen Näherungsformeln.

Mit zunehmender Frequenz steigt die Reaktanz X des Erdstrompfades deutlich an, ist jedoch unterproportional zur Frequenzerhöhung (so führt z.B. eine Erhöhung der Frequenz um den Faktor 8 nur zu einer Erhöhung von X_e um den Faktor 7,4).

Beim Erdstrompfad ist die Reaktanz etwa 50 Mal grösser als der ohmsche Anteil.

Auswirkungen der Wahl des Kabeltyps

Auswirkungen auf die elektrischen Systemeigenschaften

Die Wahl des Leitermaterials ist oft länderspezifisch geprägt. In der Schweiz werden beispielsweise mehrheitlich Kupferleiterkabel (verseilte, mehrdrähtige Leiter) eingesetzt, während in Deutschland grösstenteils Aluminium-Sektorleiterkabel[5] verwendet werden. Bei Niederspannungskabeln kann dabei von Bedeutung sein, dass Kupferleiterkabel für dieselbe elektrisch zu übertragende Leistung einen geringeren Kabeldurchmesser aufweisen, was Vorteile bezüglich der Anzahl von Muffen oder Restlängen haben kann, da sich auf eine Kabeltrommel grössere Längen aufwickeln lassen. Zudem sind Kupferleiterkabel in der Regel aufgrund der verseilten Leiter und der geringeren Durchmesser besser biegbar als Aluminium-Massivleiterkabel. Gesamthaft betrachtet, kann aber gesagt werden, dass aus wirtschaftlicher Sicht auch im Niederspannungsbereich Aluminiumleiterkabel den Kupferleiterkabeln gegenüber im Vorteil sind.

Auswirkungen auf die elektrischen Kenngrössen

Da in der Schweiz nach wie vor mehrheitlich Kupferleiterkabel eingesetzt werden, soll am Beispiel eines 95-mm²-Kupferleiterkabels in unterschiedlichen Konstruktionen die Auswirkungen der Typenwahl auf die elektrischen Kennwerte aufgezeigt werden. Die in Tabelle VI aufgeführten Werte wurden dabei aus einer Tabelle nach DIN/VDE für die Frequenz 50 Hz entnommen.

Aus diesen Kennwerten lassen sich summarisch folgende Aussagen herleiten:

- Für den Wirkwiderstand im Mitsystem ist die Kabelbauart nicht relevant.
- Für den induktiven Blindwiderstand im Mitsystem weisen Dreileiterkabel einen gegenüber Vierleiterkabeln um 10% geringeren Wert auf.
- Die tiefsten Wirkwiderstandswerte im Nullsystem erhält man für das Vierleiterkabel mit Schirm (NYCWY 4×95/50).
- Die induktiven Blindwiderstandswerte im Nullsystem sind stark davon abhängig, ob die Rückleitung nur über den Schirm, über Schirm und Erde, über den 4. Leiter und den Schirm oder sowohl über den 4. Leiter als auch über Schirm und Erde erfolgt. Bei 50 Hz liegen die induktiven Blind-

System	Wirkwiderstandsbelag [Ω/km]	Induktiver Blindwiderstandsbelag (50Hz) [Ω/km]
Mitsystem		
Vierleiterkabel NYY 4×95	$R_L' = 0{,}197$	$X_L' = 0{,}082$
Vierleiterkabel mit Schirm NYCWY 4×95/50	$R_L' = 0{,}197$	$X_L' = 0{,}082$
Dreileiterkabel mit Schirm NYCWY 3×95/95	$R_L' = 0{,}197$	$X_L' = 0{,}074$
Dreileiterkabel mit Schirm NYCWY 3×95/50	$R_L' = 0{,}197$	$X_L' = 0{,}074$
Nullsystem		
Vierleiterkabel NYY 4×95		
Rückleitung über 4. Leiter	$R_{0L}' = 0{,}788$	$X_{0L}' = 0{,}299$
Rückleitung über 4. Leiter und Erde	$R_{0L}' = 0{,}648$	$X_{0L}' = 0{,}379$
Vierleiterkabel mit Schirm NYCWY 4×95/50		
Rückleitung über 4. Leiter und Schirm	$R_{0L}' = 0{,}615$	$X_{0L}' = 0{,}153$
Rückleitung über 4. Leiter und Schirm und Erde	$R_{0L}' = 0{,}563$	$X_{0L}' = 0{,}211$
Dreileiterkabel mit Schirm NYCWY 3×95/95		
Rückleitung Schirm	$R_{0L}' = 0{,}788$	$X_{0L}' = 0{,}130$
Rückleitung über Schirm und Erde	$R_{0L}' = 0{,}735$	$X_{0L}' = 0{,}279$
Dreileiterkabel mit Schirm NYCWY 3×95/50		
Rückleitung über Schirm	$R_{0L}' = 1{,}373$	$X_{0L}' = 0{,}122$
Rückleitung über Schirm und Erde	$R_{0L}' = 1{,}074$	$X_{0L}' = 0{,}589$

Tabelle VI Widerstandsbeläge im Null- und im Mitsystem für verschiedene Kabeltypen

widerstandswerte um etwa den Faktor 5 tiefer als die Werte des entsprechenden Wirkwiderstandes (bei höheren Frequenzen werden sich die Verhältnisse entsprechend ändern).

Im Hinblick auf einen möglichst geringen Nullimpedanzwert drängt sich die Verwendung eines Vierleiterkabels mit Rückleitung über den 4. Leiter und den Schirm auf, in unserem Beispiel dem Typ NYCWY 4×95/50 mm².

Tabelle VI zeigt zudem deutlich, dass bei einem Dreileiterkabel mit reduziertem Schirm NYCWY 3×95/50 mm² gegenüber dem Kabel mit nicht reduziertem Schirm NYCWY 3×95/95 mm² der Wirkwiderstand im Nullsystem zwischen 50% und 80% höher sein kann, während der induktive Blindwiderstand ähnlich gross ist.

Einfluss auf das elektrische Systemverhalten

Wie bereits erwähnt, sind für das Netzverhalten bei vollkommen symmetrischem Betrieb nur die Mitsystemdaten von Bedeutung. Sobald jedoch unsymmetrische Betriebsbedingungen auftreten, sind die Eigenschaften des Nullsystems von Bedeutung.

Im Hinblick auf Oberwellen, die sich je nach Oberwellengrad auch im symmetrischen Dreiphasensystem nicht kompensieren, ist am Anschlusspunkt des Verbrauchers ein möglichst geringer Netzinnenwiderstand wünschenswert, da dieser am Anschlusspunkt zu geringeren Spannungsschwankungen führt.

Da die Reaktanz des Erdreiches nahezu linear mit der Frequenz zunimmt, kann davon ausgegangen werden, dass auch die induktive Nullreaktanz mit steigender Frequenz zunimmt. Deshalb ist es wichtig, dass sowohl der Nullwiderstand als auch die induktive Nullreaktanz bei 50 Hz einen möglichst geringen Wert aufweist. Dies kann durch die Wahl des Kabeltyps beeinflusst werden (Tabelle VI).

Zusammenfassung

Für den Anwendungsbereich der Niederspannungsnetzkabel stehen zahlreiche unterschiedliche Kabelkonstruktionen zur Verfügung. Neben den technischen Eigenschaften sind für die Anwender auch die Aspekte Preis und Verlege- bzw. Montagebedingungen von Bedeutung.

Im Hinblick auf die Optimierung der Netzeigenschaften bei 1 kV sind folgende Aussagen zulässig:

- Bei Dreileiterkabeln mit Schirm (N(A)YY 3× .../...) ist darauf zu achten, dass der Schirmquerschnitt nicht reduziert gewählt, sondern gleich dem Leiterquerschnitt gewählt wird.
- Vierleiterkabel mit Schirm (N(A)YY 4× ... /...) sind Dreileiterkabeln mit (unreduziertem) Schirm vorzuziehen. Da diese Kabel teurer sind, empfiehlt sich, beim Wechsel des Kabeltyps auch gleich das Leitermaterial zu wechseln. Durch den Wechsel von Kupfer auf Aluminium als Leitermaterial wird bei vergleichbaren elektrischen Eigenschaften das Vierleiterkabel (mit Aluminiumleiter) mit Kupferschirm vom Typ NAYCWY 4×150/70 mm² ähnlich viel kosten wie das Dreileiterkabel (mit Kupferleiter) mit Schirm vom Typ NYCWY 3×95/95 mm².

Angaben zum Autor

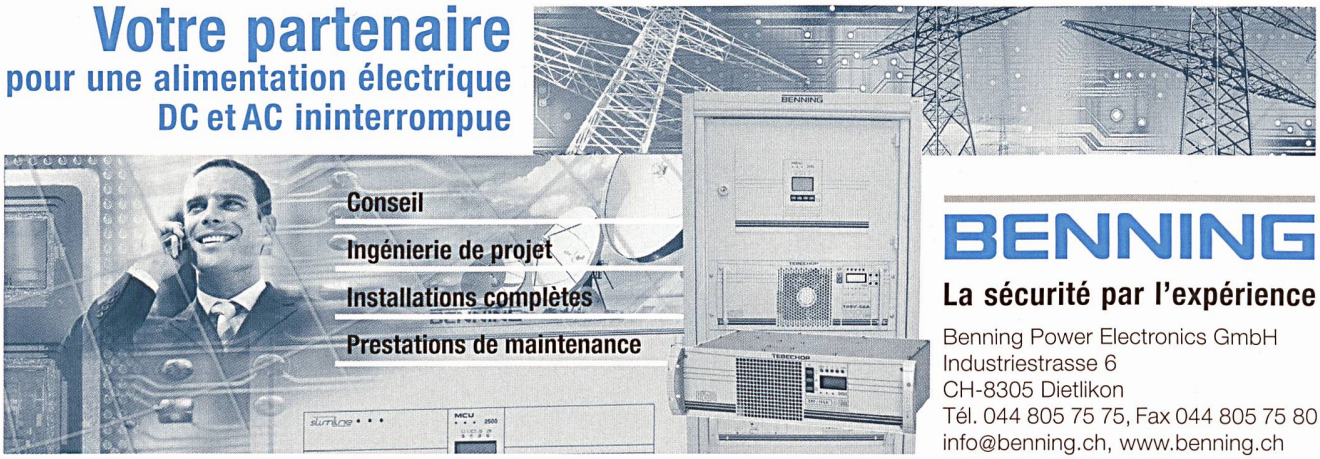
Roland Schmid, Dr. sc. Techn. ETH, war während rund 15 Jahren in unterschiedlichen Funktionen bei Versorgungsunternehmen und Lieferanten im Bereich der Stromübertragung und -verteilung tätig. Seit Beginn 2002 ist er Partner der EcoWatt Projects AG in Altendorf.
EcoWatt Projects AG, Tiergartenstrasse 16, 8852 Altendorf, r.schmid@ewpag.ch

[1] DEL: Deutsches Elektrolytkupfer für Leitzwecke.
[2] Aluminium in Kabeln: Eine Metallnotierung, die vom deutschen Fachverband Kabel bestimmt wird und auf der London Metal Exchange Notierung (LME-Notierung) basiert. Der «Alu in Kabel»-Wert liegt etwa 15% höher als der LME-Wert und dient indirekt der deutschen Kabelindustrie zur Erzielung einer höheren Marge.
[3] XLPE: Cross Linked Polyethylene (vernetztes Polyethylen).
[4] Prysmian Cables and Systems (Konzernsitz Mailand, ehemals Siemens, später Pirelli) ist ein Unternehmen, das sich mit der Herstellung von Energie- und Telekommunikationskabeln beschäftigt. www.prysmian.com.

Résumé

Distribution d'énergie électrique: utilisation de conducteurs en aluminium

Utilisation de conducteurs en aluminium dans les câbles moyenne et basse tension. Traditionnellement, on utilise en Suisse, dans le domaine de la distribution électrique, des câbles moyenne et basse tension à conducteurs de cuivre. Ces derniers mois et années, les prix du cuivre sur le marché mondial ont nettement plus vite augmenté que ceux de l'aluminium. Les différents aspects partiels de l'emploi de câbles moyenne tension à conducteurs en aluminium, présentés dans l'article, doivent aider à faire un choix judicieux au moment de l'acquisition.



Arbeitsschutzgesetz verpflichtet!

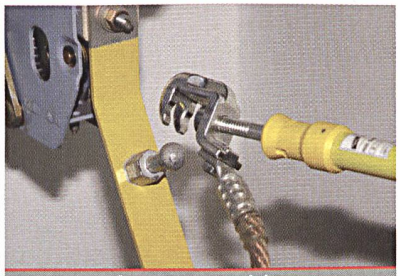
Gebrauch und Instandhaltung von ortsveränderlichen Erdungs- und Kurzschließvorrichtungen.

Jeder Unternehmer trägt für Sicherheit und den Gesundheitsschutz in seinem Unternehmen die Gesamtverantwortung. So ist er entsprechend dem Arbeitsschutzgesetz verpflichtet darauf zu achten, dass beim Arbeiten an elektrischen Anlagen alle notwendigen Schutzmaßnahmen getroffen und eingehalten werden.

Deshalb werden bei Arbeiten an elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln die betreffenden Anlagenteile spannungsfrei geschaltet. Doch die simple Betätigung eines Schalters zur Freischaltung reicht bei weitem nicht aus. Von der Freischaltung einer Anlage bis zur Freigabe der Arbeitsstelle bedarf es weiterer sicherer Informationen zum Zustand der Anlage, Maßnahmen zur Vermeidung von Fehlbetätigungen und -funktionen, Schutz bei dennoch stattgefundenen Fehlbetätigungen und -funktionen sowie Schutz vor den Gefahrenpotentialen benachbarter Anlagenteile. Dazu wurden die fünf Sicherheitsregeln formuliert:

- Freischalten
- Gegen Wiedereinschalten sichern
- Spannungsfreiheit feststellen
- **Erden und Kurzschließen**
- Benachbarte, unter Spannung stehende Teile abdecken oder abschranken.

Jeder Elektrofachkraft sind diese Regeln als ihre Lebensversicherung wohl bekannt. Doch wie steht es um die Sicherheit und Verlässlichkeit der Geräte und Hilfsmittel mit denen sie ihre lebenswichtigen Informationen gewinnen oder Arbeitsabläufe absichern muss? Jede Maßnahme ist nur so sicher wie die benutzten Sicherheitsgeräte.



Montage einer E+K-Vorrichtung mit Uniklemme für Kugelfestpunkte 20 oder 25 mm

Ein zentraler Punkt der fünf Sicherheitsregeln ist das Erden und Kurzschließen. Damit wird der spannungsfreie Zustand der Anlage für die Dauer der Arbeiten gesichert und dies auch bei Beeinflussungsspannungen, atmosphärischen Überspannungen oder irrtümlichem Wiedereinschalten. Doch auch diese Sicherheitsmaßnahme ist nur so gut wie die dazu verwendeten Mittel.

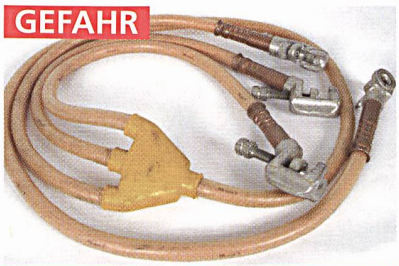
Der Zahn der Zeit hinterlässt auch hier seine Spuren.

Ca. 30 Jahre alte Garnitur mit Querschnittsminderung durch Kupfer-Korrosion

Korrosion kann die wirksamen Querschnitte von Erdungs- und Kurzschließseilen reduzieren und damit die Sicherheit in Frage stellen. Aber nur mit geeigneten Sicherheitsgeräten können gefährliche Spannungen oder Lichtbögen an der Arbeitsstelle verhindert werden. Das heißt, die Geräte müssen dem Verwendungszweck entsprechen, richtig bemessen und entsprechend der Gebrauchsanweisung angebracht sein und sich in einem ordnungsgemäßen Zustand befinden.

Hervortreten des blanken Leiterseils an gebrochener Seileinführung

Jede Schädigung der Seilhülle oder ein Hervortreten von blanken Leitern sind schwere Beeinträchtigungen, die eine Weiterverwendung generell ausschließen.

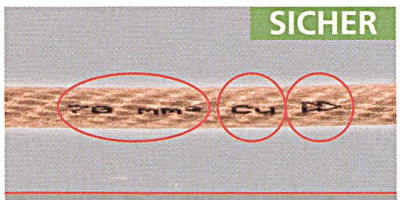


Garnitur, die nicht dem heutigen Stand der Technik entspricht

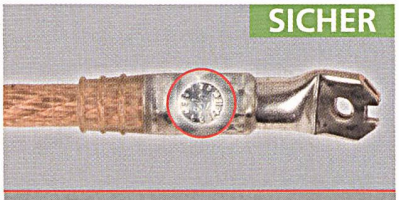
Vorrichtungen, deren Seileinführungen und -aufbau eine Sichtprüfung (Grün-Schwarzfärbung, Aderbruch im Knickbereich) nicht ermöglichen, sind vor einer Weiterverwendung einer Überprüfung auf Seilquerschnittsminderung zu unterziehen. Auch muss auf eine sachgemäße Kennzeichnung der Sicherheitsgeräte geachtet werden. Vorrichtungen ohne Herstellername, Herstelldatum, Querschnittsangabe, Materialangabe und Kennzeichnung mit Doppeldreieck am Seil entsprechen nicht der gültigen Norm. Für solche Vorrichtungen ist, vor der Verwendung, eine sicherheitstechnische Überprüfung entsprechend der gültigen Norm notwendig.

Nicht so bei Erdungs- und Kurzschließvorrichtungen, die nach dem aktuellen Stand von DIN EN 61230 (DIN VDE 0683-100) hergestellt und geprüft werden. DEHN + SÖHNE steht Ihnen dabei als verlässlicher Partner zur Seite.

Haben Ihre Garnituren diese Kennzeichnungen?



Querschnitt, Material, Doppeldreieck



Herstelldatum

Herstellerangabe

elvatec ag

DEHN

elvatec ag
Blitzschutz, Erdung Überspannungsschutz Arbeitsschutz
Infoservice CH 599 · Tiergartenstrasse 16
CH-8852 Altendorf · Tel.: 0 55 / 451 06 46
Fax: 0 55 / 451 06 40 · www.elvatec.ch
elvatec@bluewin.ch