

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: 91 (2000)

Heft: 15

Artikel: Erdung der Kabelmündel und der Schirme von Energiekabeln

Autor: Bastelli, Giovanni / Lienhard, Beat / Lauchenauer, Hans

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-855575>

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: 15.01.2026

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

Erdung der Kabelmäntel und der Schirme von Energiekabeln

Unterschiedliche Ausführungen der Erdung von Mantel, Schirm und Zugarmierung von Energiekabeln können im Betrieb und bei Arbeiten an den Kabelanlagen zu besonderen Problemen und Gefahren führen: Dies betrifft vor allem Kabelleitungen ab Unterwerken oder ab Gemeinschaftsleitungen, bei denen Systeme mit unterschiedlichen Betriebsspannungen auf dem gleichen Tragwerk montiert sind. Mehrere Elektrizitätswerke haben sich in einer Arbeitsgruppe mit diesen Fragen befasst und entsprechende Richtlinien sowie Arbeitsanleitungen ausgearbeitet. Für Arbeiten an Endverschlüssen werden Vorgehensweisen vorgeschlagen, die die Gefährdung des Montagepersonals minimieren.

An der Arbeitsgruppe *Kabelmantel-erdung* waren die Kantonswerke AEW (AEW Energie AG), EKS (Elektrizitätswerk des Kantons Schaffhausen), EKT (Elektrizitätswerke des Kantons Thurgau), EKZ (Elektrizitätswerke des Kantons Zürich) und SAK (St. Gallisch-Appenzellische Kraftwerke) sowie die Überlandwerke NOK (Nordostschweizerische Kraftwerke) und die CKW (Centralschweizerische Kraftwerke) beteiligt.

Leitende Kabelmäntel, Schirme und Zugarmierungen, im Folgenden mit Mantel bezeichnet, der in Unterwerken (UW)

verhindern. Um Unfälle und Sachschäden zu vermeiden, sind besondere Sicherheitsmassnahmen nötig.

Aufgetretene Störungen und neue Rahmenbedingungen wie

- gefährliche Spannungen bei Arbeiten im Bereich von Endverschlüssen
- Schäden an Mantelüberspannungsableitern
- der Umbau der UW-Speisespannung auf 110 kV im NOK-Versorgungsgebiet, mit z.T. höheren Erdkurzschlussströmen und Restspannungen
- die Inkraftsetzung der neuen Starkstromverordnung (1994)
- die Diskussionen um neue Cenelec-Normen (z.B. prHD 637 S1) sowie letztlich
- der Wunsch nach einer einheitlichen Regelung für Warn- und Hinweistafeln

veranlassten die beteiligten Werke zu einer Neubeurteilung der heutigen Praxis bei Montage und Erdung von Kabelendverschlüssen, bei der Isolierung der Kabelzuleitungen und bei Arbeiten an den Endverschlüssen; dies besonders mit Blick auf Kabelzuleitungen zu den Unterwerken oder zu Gemeinschaftsleitungen.

Die Diskussion unter Fachleuten zeigte, dass die gestellte Aufgabe ein vertieftes Studium bedingt. Die unterschiedlichen vorhandenen Lösungen und die in Diskussion stehenden Massnahmen betreffen ein vernetztes System, in dem die Bau- und Betriebsweise der Anlagen, die Vorschriften für Arbeiten an den entspre-

chenden Kabeln, die Vorgaben für die Erdungssysteme und die geographischen Verhältnisse aufeinander abgestimmt sein müssen.

Die Überlegungen wurden mit Blick auf die Anwendung für Mittelspannungsanlagen in den Bereichen 16 kV und 20 kV sowie für Hochspannungsanlagen in den Bereichen 50 kV und 110 kV der beteiligten Werke angestellt. Dabei war zu berücksichtigen, dass die Mittel- und die Hochspannungsebenen räumlich oft nahe beieinander liegen (Unterwerke, Gemeinschaftsleitungen) und sich somit im Betriebs- wie im Störfall gegenseitig beeinflussen. Trotz der Einschränkung auf Spannungen bis 110 kV lassen sich viele Ergebnisse auch auf höhere Spannungsebenen übertragen.

Bestehende Lösungen

Eine Zusammenstellung der bestehenden Kabelanlagen zeigte eine grosse Zahl unterschiedlicher Situationen im Netz, die berücksichtigt werden mussten (Bild 1).

Es werden Anlagen miteinander verbunden, deren Erdungssysteme folgende Eigenschaften aufweisen:

- Unterwerke haben einen ausgedehnten Erder.
- Erder von Transformatorenstationen bilden in der Regel untereinander sowie im Verbund mit den angeschlossenen Gebäuden ein vermaschtes Erdungssystem.
- Masten haben zwar eher kleine Erder, die aber u.U. über ein Erdseil miteinander verbunden sind.
- Die Kabelmäntel der Verbindungskabel sind entweder beidseitig oder nur auf einer Seite geerdet. Zudem kann je nach Bauart des Kabels der Mantel bzw. die Zugarmierung auf der ganzen Länge Erdberührung haben.

Bei sämtlichen Fällen können zwischen zwei Erdungssystemen zusätzliche, vom Kabelmantel des betrachteten Kabels *unabhängige* Verbindungen bestehen. Dies könnte beispielsweise ein zweites Kabel mit beidseitig geerdetem Kabelmantel, eine separate Erdleitung, eine separate Einführung des Erdseils in ein Unterwerk, Wasserleitungen oder Verbindungen zwischen Fundamenten

Adresse der Autoren

Dr. Giovanni Castelli, Dipl. El.-Ing. ETH
AEW Energie AG, 5001 Aarau
Beat Lienhard, dipl. El.-Ing. HTL
Elektrizitätswerke des Kantons Zürich
(EKZ), 8002 Zürich
Hans Lauchenauer, El.-Ing. HTL
9322 Egnach

und Transformatorenstationen (TS) abgehenden Hoch- und Mittelspannungskabel sind zum Teil einseitig geerdet. Die Kabelendverschlüsse auf der nicht geerdeten Seite werden isoliert aufgestellt und über einen Mantelüberspannungsableiter mit der Erde verbunden. Auf der gegenüberliegenden Seite werden die Kabelendverschlüsse in neuerer Zeit zwar ebenfalls isoliert aufgestellt, aber direkt oder über einen Trenner mit der Erde verbunden. Mit dieser Bau- und Betriebsweise will man Mantelausgleichsströme und im Erdschlussfall Potentialverschleppungen

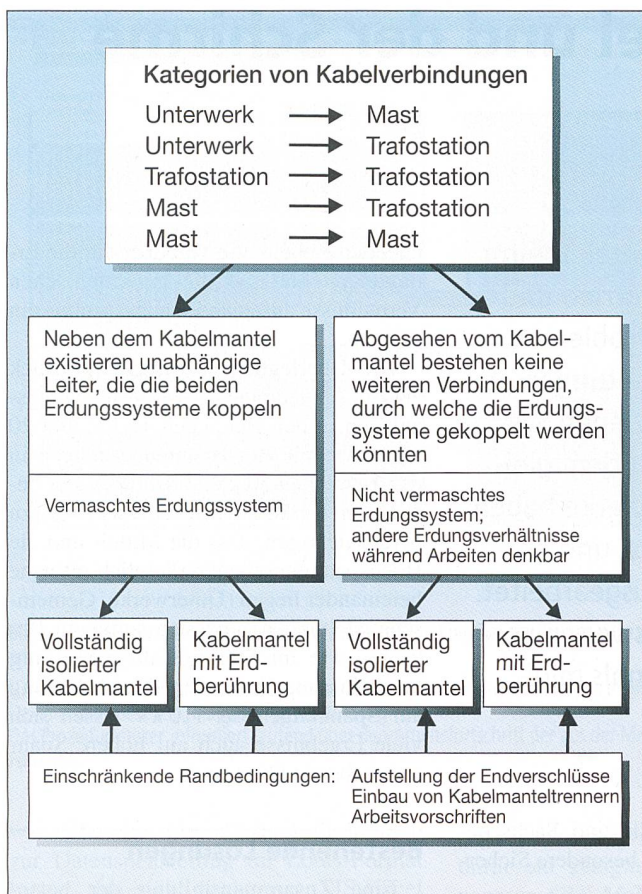


Bild 1 Übersicht über zu berücksichtigende Fälle und Erdungsbedingungen

schlussströmen gemäss Starkstromverordnung eingehalten sind (z.B. bei Masten mit Standort a gemäss Starkstromverordnung Art. 54); allerdings muss wegen des Hochspannungsnetzes im Unterwerk mit höheren Erdschlussströmen gerechnet werden.

Da normalerweise in Unterwerken eher Potentialsteuerungen eingebaut sind, darf angenommen werden, dass der Potentialtrichter beim Mast stärker abfällt als beim Unterwerk. Verbindet man die beiden Erdungseinseln z.B. bei Arbeiten temporär, führt dies trotz kleinerer gesamter Erdungsimpedanz des nun vermaschten Systems zu erhöhten Berührungsspannungen am Mast. Tritt im Unterwerk ein Erdschluss auf, kann der Monteur, der beim Mast arbeitet, trotz guter Arbeitserde gefährdet sein.

Induktive und kapazitive Beeinflussung

Der Strom in einem Kabel führt im Kabelmantel zu einer induzierten Spannung und, bei beidseitiger Erdung, zu einem Mantelstrom, der zusätzliche Verluste einbringt und die maximal mögliche Ausnutzung des Kabels reduziert. Die Grösse der induzierten Mantelspannungen bzw. -ströme ist abhängig von Geometrie, Verlegeart und Länge des Kabels sowie vom Strom, der im Betrieb, bei Kurz- oder Erdschluss fliesst. Diese Faktoren bestimmen die Dimensionierung des Mantels, dessen Isolation und die Dimensionierung allfälliger Mantelableiter. Dazu findet man genügend Literatur und Richtlinien. Für Fragen im Zusammenhang mit Arbeiten an den Kabeln ist diese Art der Beeinflussung von untergeordneter Bedeutung.

Belastete parallele Leitungen können in einem einseitig geerdeten Kabel eine Spannung induzieren (Bild 4). Bei beidseitig geerdeten Kabeln fliesst ein entsprechender induzierter Strom. Diese Spannung bzw. dieser Strom kann das Montagepersonal, das am entsprechenden Endverschluss arbeitet, gefährden. Die Höhe der induzierten Spannung bzw.

sein. Die bei den beteiligten Werken vorhandenen Lösungen zur Erdung der Kabelmäntel (Bild 2) mussten jeweils einzeln bezüglich Gefahrenpotential im Betrieb und während Arbeiten beurteilt werden.

Potentielle Probleme und Gefährdungen

Grundsätzlich sind zwei Gefährdungsmechanismen zu berücksichtigen, nämlich Probleme wegen Potentialverschleppung sowie wegen induktiver und kapazitiver Beeinflussung:

Potentialverschleppung

Sind zwei Erdungseinseln miteinander verbunden, findet im Erdschlussfall ein Potentialausgleich statt.

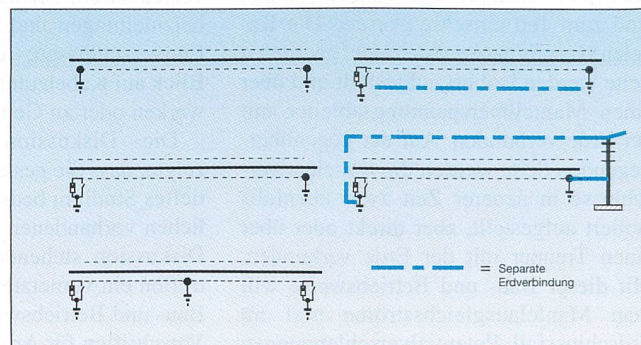
Bei im Normalfall beidseitig geerdetem Kabelmantel ist dies erwünscht. Dadurch kann die gesamte Erdungsimpedanz verkleinert werden, womit Probleme bei einer schlechten Unterwerks-erdung gelöst werden. Durch Messungen wird nachgewiesen, dass die Erdungsvorschriften an allen Stellen des Erdungsverbundes eingehalten sind. Werden die Verbindungen während Arbeiten an den Endverschlüssen aber aufgetrennt, könnte das gesamte Erdungssystem verschlechtert

werden und im Erdschlussfall zu unzulässigen Berührungsspannungen führen.

Bei im Normalfall getrennten Erdungseinseln ist dieser Potentialausgleich unerwünscht (Potentialverschleppung). Er kann im schlechter geerdeten Anlagenteil zu unzulässigen Berührungsspannungen führen:

Vorgegeben seien zwei Erdungseinseln, die unterschiedliche Erdungswiderstände aufweisen, beispielsweise ein Unterwerk und ein Freileitungsmast der Mittelspannungsleitung. Es wird vorausgesetzt, dass die gesamte Erdungsimpedanz des Unterwerks wesentlich kleiner ist als die des Mastes (Bild 3). In beiden Erdungen sei nachgewiesen, dass die Berührungsspannungen bei den entsprechenden Erd-

Bild 2 Kleine Auswahl an bestehenden Lösungen zur Erdung des Kabelmantels



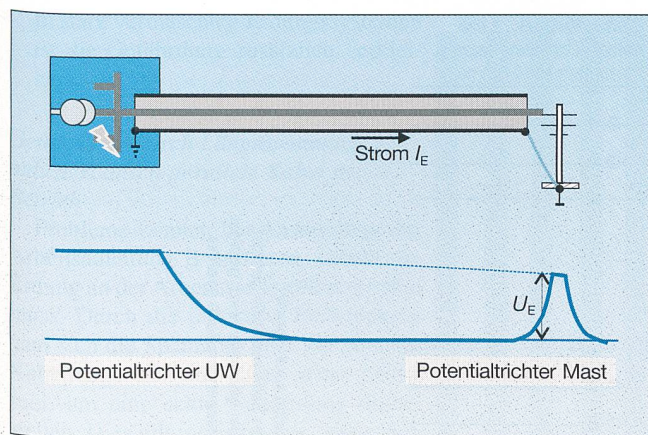


Bild 3 Mögliche Gefährdung durch Potentialverschleppung

des Stroms ist ebenfalls abhängig von Geometrie und Verlegeart der Systeme, zusätzlich noch vom Abstand beider Leitungen. In Kabelkatalogen können entsprechende Kurvenblätter gefunden werden. Es ist ferner zu beachten, dass Bahnsysteme vielfach einphasig geführt werden und deshalb das parallel verlegte Kabel erheblich beeinflussen können.

Gefährdungen bei Arbeiten an Endverschlüssen

Welchen Gefährdungen ein Kabelmonteur bei Arbeiten am Kabel bzw. an den Endverschlüssen ausgesetzt ist, ist wesentlich von den angewendeten Schutzmassnahmen abhängig. Diese sollen den der vorhandenen Situation entsprechenden potentiellen Gefahren angepasst sein.

Bei den an der Arbeitsgruppe beteiligten Werken bestehen die folgenden grundsätzlichen Arbeitsanleitungen (Bild 5):

Arbeitsanleitung vom Typ A

Mantel und Phasenleiter werden auf der Seite, an der gearbeitet wird, geerdet.

- Unterfall A0: Auf der gegenüberliegenden Seite wird der Mantel isoliert, der Phasenleiter bleibt isoliert.
- Unterfall A1: Die Phasenleiter werden auf der gegenüberliegenden Seite kurzgeschlossen, aber nicht geerdet. Der Mantel wird auf der gegenüberliegenden Seite isoliert.
- Unterfall A2: Der Mantel wird auf der gegenüberliegenden Seite isoliert und mit allen drei Phasenleitern verbunden.

Arbeitsanleitung vom Typ B

Mantel und Phasenleiter werden auf der Seite, an der gearbeitet wird, und auf der gegenüberliegenden Seite geerdet.

Die Anleitungen vom Typ A finden Anwendung bei Kabeln mit im Normal-

betrieb einseitig geerdetem Mantel, die Anleitung vom Typ B bei beidseitig geerdetem Mantel. Die Anleitung B ist auch der Normalfall bei Kabelleitungen, bei denen keine Gefährdung durch Fremdspannungen besteht. Dies trifft innerhalb der Mittelspannungsnetze meistens zu.

Je nach Anwendung der Arbeitsanleitung A oder B ergeben sich für die verschiedenen Ereignisse unterschiedliche Risiken für den Kabelmonteur. Erschwerend ist zudem, dass für einige Arbeitsgänge die Erdung an der Arbeitsstelle gelöst werden muss.

Das Gefährdungspotential wurde bezüglich folgender Gefährdungskategorien beurteilt (Tabelle I):

Gefährdung durch Berührungsspannungen an der Arbeitsstelle

Gefährdung durch Berührungsspannungen infolge Potentialverschleppung

Wegen der Potentialverschleppung kann sich auf zwei unterschiedliche Arten eine Gefährdung ergeben:

- Durch Anwendung der Anleitung A bei im Normalbetrieb beidseitig geerdeten Kabelleitungen werden die beiden Erdungssysteme getrennt. Dadurch kann sich in beiden Systemen der gesamte Erdungswiderstand vergrössern, und es kann nicht mehr garantiert werden,

dass die Erdungsbedingungen eingehalten sind. Bei einem Erdschluss könnte somit die zulässige Berührungsspannung trotz geerdetem Arbeitsplatz überschritten werden. Zwar dürfte diese Art der Gefährdung nur in extremen Situationen auftreten; sie kann aber nicht ausgeschlossen werden.

- Durch Anwendung der Anleitung B bei im Normalfall einseitig geerdeten Kabelleitungen werden zwei im Normalfall getrennte Erdungssysteme miteinander verbunden. Dabei können die Erdungsbedingungen des einen Systems bei einem Erdschluss im gegenüberliegenden System verletzt werden. Auch diese Gefährdung ist meistens gering, kann aber nicht ausgeschlossen werden. Eine analoge Gefährdung tritt auf, wenn im Normalbetrieb die Kabelmäntel zwar beidseitig geerdet sind, aber an der Arbeitsstelle die Bedingungen bezüglich der Berührungsspannungen nicht erfüllt werden (z.B. bei einem Maststandort im Gebiet b bzw. c gemäss Starkstromverordnung Art. 54).
- Muss bei Anwendung der Anleitung B an der Arbeitsstelle die Erdung gelöst werden und tritt genau dann auf der gegenüberliegenden Seite ein Erdschluss ein, greift der Mitarbeiter die volle Erdungsspannung der gegenüberliegenden Seite ab und kann dadurch gefährdet werden. Die Eintrittswahrscheinlichkeit dieses Ereignisses ist jedoch gering, weil folgende Bedingungen gemeinsam erfüllt werden müssen: das Kabel ist eine direkte Verbindung zu einer Anlage im Einflussbereich einer höheren Spannungsebene (Unterwerk, Gemeinschaftsleitung); die Erdungssysteme sind getrennt; der Kurzschluss ereignet sich genau in der Zeitspanne, in der der Mitarbeiter alle Erdungen gelöst hat und die Phase oder den Mantel berührt.

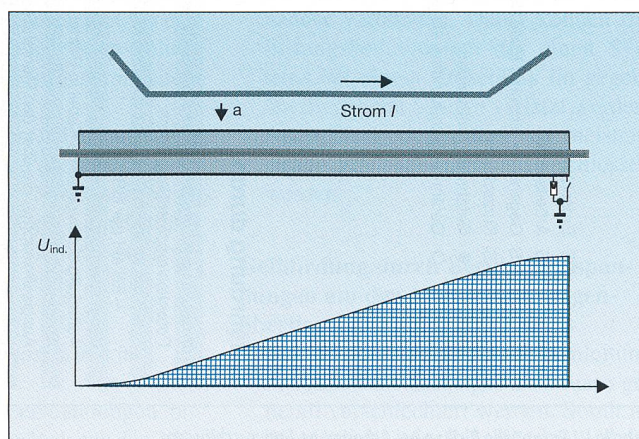


Bild 4 Mögliche Gefährdung wegen induktiver Beeinflussung durch eine parallele Leitung in Betrieb

Arbeiten an Kabelendverschlüssen		Kabelmantel im Normalbetrieb einseitig geerdet, und Erdungssysteme sind getrennt		Kabelmantel im Normalbetrieb beidseitig geerdet, oder Erdungssysteme sind vernascht	
		Arbeitsstelle ist geerdet		Arbeitsstelle ist geerdet	
		Arbeitsstelle ist kurzzeitig nicht geerdet		Arbeitsstelle ist kurzzeitig nicht geerdet	
		Arbeitsanleitung		Arbeitsanleitung	
		A0	A1	A2	B
Gefährdung durch: Berührungsspannungen an der Arbeitsstelle infolge Potentialverschleppung durch: – ES an der AS (Erdung verschlechtert, Einhaltung der Erdungsbedingungen fraglich) – ES auf der GS Längsspannung (Phase oder Mantel), induziert durch parallele Kabel in Betrieb Aufladung durch parallele Kabel in Betrieb Ausgleichsströme durch induktive Beeinflussung (Gefahr beim Öffnen der Stromkreise) Ausgleichsströme, die über den Mantel fließen (Gefahr beim Öffnen des Stromkreises) versehentliches Zuschalten der geerdeten Leitung: – Betriebsspannung an der Arbeitsstelle – KS an der AS – KS an der GS atmosphärische Überspannungen Verschleppung der Erderspannung zum Hausanschluss bei ES in der TS (als Folge evtl. verschlechterter Erdung) ES im UW (als Folge evtl. verschlechterter Erdung) ES im UW (als Folge der Potentialverschleppung) Berührungsspannung auf der Gegenseite infolge ES auf der GS (Gefährdung durch evtl. Verschlechterung der Erdungsverhältnisse) ES an der AS (Potentialverschleppung)	Arbeitsanleitungen (siehe auch Bild 5): Arbeitsanleitung A: Der Mantel wird auf der Seite, an der gearbeitet wird, geerdet. Die Phasenleiter werden auf der Seite, an der gearbeitet wird, geerdet. Anleitung A0: Die Phasenleiter bleiben auf der gegenüberliegenden Seite isoliert. Der Mantel wird auf der gegenüberliegenden Seite isoliert. Die Phasenleiter werden auf der gegenüberliegenden Seite kurzgeschlossen, aber nicht geerdet. Anleitung A1: Der Mantel wird auf der gegenüberliegenden Seite isoliert. Anleitung A2: Der Mantel wird auf der gegenüberliegenden Seite isoliert und mit einem oder allen drei Phasenleitern verbunden.	Arbeitsanleitung B: Der Mantel wird auf der Seite, an der gearbeitet wird, geerdet. Der Mantel wird auf der gegenüberliegenden Seite ebenfalls geerdet. Die Phasenleiter werden auf der Seite, an der gearbeitet wird, geerdet. Die Phasenleiter werden auf der gegenüberliegenden Seite geerdet.	● Gefährdung vorhanden ○ Gefährdung vorhanden, als gering eingeschätzt	● Gefährdung vorhanden ○ Gefährdung vorhanden, als gering eingeschätzt	● Gefährdung vorhanden ○ Gefährdung vorhanden, als gering eingeschätzt

Tabelle I Potentielle Risiken bei Arbeiten an Endverschlüssen

In stark vermaschten Erdungssystemen ist die Gefährdung zusätzlich verkleinert.

Gefährdung durch Längsspannung, induziert durch parallele Kabel in Betrieb

Probleme können bei Anwendung der Arbeitsanleitung B auftreten, sobald die Erdung an der Arbeitsstelle gelöst werden muss. Durch die induktive Einkopplung baut sich die Spannung über die gesamte Kabellänge auf und kann gross genug sein, um eine echte Gefährdung darzustellen. Dies gilt insbesondere, wenn sich im parallelen Kabel ein Erdschluss ereignet.

Gefährdung durch Aufladung

Die Gefährdung tritt bei vollständig isolierten Kabeln auf, d.h. wenn bei Anwendung der Arbeitsanleitung A die Erdung an der Arbeitsstelle gelöst werden muss. Damit ist das Potential des Kabelmantels nicht definiert, und es können unbestimmt hohe Spannungen auftreten. Die Ursache liegt in der kapazitiven Beeinflussung (parallele Kabel in Betrieb sowie fremde elektrische Felder), in Ladungsverschiebungen durch induktive Beeinflussung (parallele Kabel in Betrieb) und in Restladungen. Messungen zeigen, dass die Spannung beachtliche Werte annehmen kann. Hingegen ist der Energiegehalt gering. Die direkte Gefährdung wird als gering beurteilt, wegen der Schreckwirkung kann für den Mitarbeiter aber indirekt eine Gefährdung entstehen (unbedachte Reaktionen des Mitarbeiters).

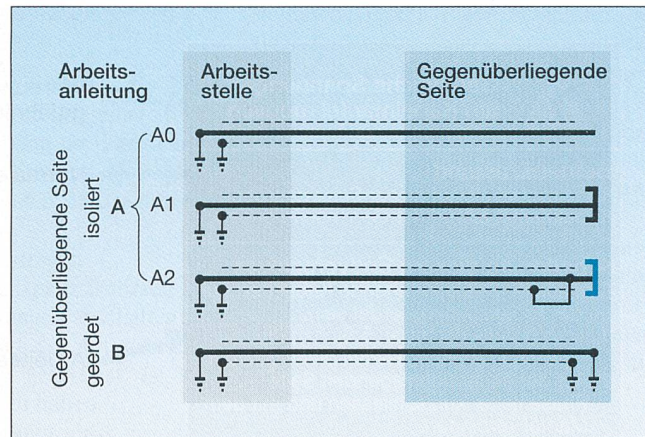
Gefährdung durch Ausgleichsströme wegen induktiver Beeinflussung

Die Gefährdung liegt darin, dass z.B. beim Schneiden des Mantels oder bei anderen Tätigkeiten der Stromkreis aufgerissen wird und dabei ein Funken oder ein Lichtbogen durch induktive Überspannungen entstehen kann. Schon durch die Schreckwirkung ergeben sich Gefährdungen, z.B. durch unbedachte Reaktionen des Mitarbeiters. Andere Gefahren, z.B. wegen der Erwärmung, können vernachlässigt werden. Die Gefährdung tritt nur bei Anwendung der Arbeitsanleitung B auf.

Gefährdung durch Ausgleichsströme, die über den Mantel fließen

Die Gefährdung liegt wie bei induzierten Strömen darin, dass z.B. beim Schneiden des Mantels oder bei anderen Tätigkeiten der Stromkreis aufgerissen wird und dabei ein Funken oder ein Lichtbogen durch induktive Überspannungen

Bild 5 Erdungsverhältnisse während Arbeiten an den Endverschlüssen



entstehen kann. Dabei ist zu beachten, dass sich insbesondere in der Nähe von Bahnanlagen derartige Ausgleichsströme ausbilden können. Die Gefährdung tritt nur bei Anwendung der Arbeitsanleitung B auf.

Gefährdung bei Fehlmanipulationen (versehentliches Zuschalten der geerdeten Leitung)

Das versehentliche Zuschalten wird von der Arbeitsgruppe sowohl bezüglich Eintretenswahrscheinlichkeit als auch Auswirkung als grösstes Gefährdungspotential betrachtet. Die Regeln «Gegen Wiedereinschalten sichern» sind daher konsequent anzuwenden. Nachstehend wird nochmals auf die hohe Gefährdung des Montagepersonals aufmerksam gemacht, wenn diese Massnahmen aus irgendeinem Grund versagen:

- Bei Anwendung der Arbeitsanleitung A0 (evtl. A2) bildet die Erdung an der Arbeitsstelle einen dreipoligen Kurzschluss mit allen Folgen für den Mitarbeiter. Erfolgt eine versehentliche Zuschaltung zu genau dem Zeitpunkt, an dem der Mitarbeiter kurzfristig die Erdung an der Arbeitsstelle lösen musste, wird die volle Betriebsspannung auf die Arbeitsstelle geschaltet.
- Bei Anwendung der Arbeitsanleitung B wird auf der gegenüberliegenden Seite auf die Erdung geschaltet. Es entsteht dort ein dreipoliger Kurzschluss. An der Arbeitsstelle tritt somit kaum eine Gefährdung auf.
- Bei Anwendung der Arbeitsanleitung A1 oder evtl. A2 wird ebenfalls auf der gegenüberliegenden Seite auf einen Kurzschluss geschaltet. Eine Gefährdung tritt auf, wenn sich ein asymmetrischer Kurzschluss bildet.

Gefährdung durch atmosphärische Überspannungen

Atmosphärische Überspannungen bilden immer eine Gefährdung für den Mit-

arbeiter. Bei Gewittern im Einzugsgebiet der Arbeitsstelle sind, wie in der Starkstromverordnung Art. 70 vorgeschrieben, die Arbeiten zu unterlassen bzw. zu unterbrechen.

Gefährdung unbeteiligter Drittpersonen durch Potentialverschleppung ins Niederspannungsnetz

Eine Gefährdung kann in extremen Situationen während Arbeiten im Bereich der UW, TS oder der Kabelzuführungen zu TS auftreten.

- Durch Anwendung der Anleitung A bei im Normalbetrieb beidseitig geerdeten Kabelleitungen werden nicht vermaschte Erdungssysteme getrennt. Dadurch kann sich in beiden Systemen der gesamte Erdungswiderstand vergrössern, und es kann nicht mehr garantiert werden, dass die Erdungsbedingungen eingehalten sind. Bei einem Erdschluss könnte somit die zulässige Berührungsspannung z.B. beim Hausanschluss überschritten werden. Zwar dürfte diese Art der Gefährdung nur in extremen Situationen auftreten; sie kann aber nicht ausgeschlossen werden.
- Durch Anwendung der Anleitung B bei im Normalfall einseitig geerdeten Kabelleitungen werden zwei im Normalfall getrennte Erdungssysteme miteinander verbunden. Dabei können die Erdungsbedingungen des einen Systems bei einem Erdschluss im gegenüberliegenden System verletzt werden. Auch diese Gefährdung ist meistens gering, kann aber nicht ausgeschlossen werden.

Gefährdung durch Berührungsspannungen am der Arbeitsstelle gegenüberliegenden Ende des Kabels

- Bei Anwendung der Arbeitsanleitung A können die Erdungsverhältnisse generell verschlechtert werden. Somit ist denkbar, dass im Erdschlussfall in der

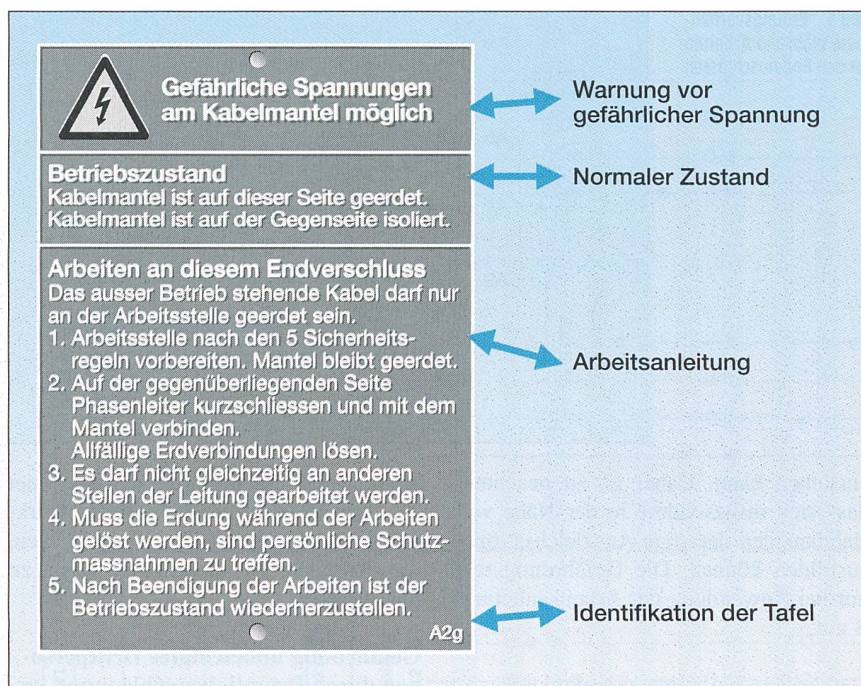


Bild 6 Warntafeln zur Verwendung bei einseitig geerdetem Kabelmantel

der Arbeitsstelle gegenüberliegenden Erdungsinsel die Berührungsspannungen überschritten sind. Greift eine an den Arbeiten nicht beteiligte Person dieses Potential zufällig ab, könnte sie gefährdet werden. Die Wahrscheinlichkeit, dass gleichzeitig

- die Erdungssysteme derart dramatisch verschlechtert werden,
- eine Person ein geerdetes System berührt und
- ein Erdschluss auftritt, wird hingegen als sehr klein beurteilt.

- Bei Anwendung der Arbeitsanleitung B kann eine an den Arbeiten nicht beteiligte Person gleichermassen eine durch Potentialverschleppung bei einem Erdschluss an der Arbeitsstelle zustande kommende, unzulässige Berührungsspannung abgreifen. Auch in diesem Fall ist die Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis eintritt, als sehr gering zu betrachten.

Richtlinien

Richtlinien für die Erstellung und den Betrieb der Kabelmantelerdung

Die Beschreibung der Probleme und die Beurteilung gemäss Tabelle I führten zu untenstehenden Richtlinien bezüglich der *baulichen Massnahmen*, um eine höchstmögliche Sicherheit im Betrieb und während der Arbeiten an Kabeln mit erhöhtem Risiko wegen Fremdspannungen (Unterwerke, Gemeinschaftsleitungen, induktive Beeinflussung benach-

barter Anlagen) zu ermöglichen. Den Werken wurde die Anwendung dieser Richtlinien für Neuanlagen empfohlen.

- Die Erdungen elektrischer Anlagen sind in einem Verteilnetz entweder vollständig vermascht oder als Erdungsinseln zu betreiben. Zwischenlösungen sind möglichst zu vermeiden.
- Kabelmäntel in vermascht betriebenen Erdungssystemen sind normalerweise beidseitig geerdet. Aus technischen oder betrieblichen Gründen unbedingt erforderliche Ausnahmen müssen besonders bezeichnet werden.
- Bei vermascht betriebenen Erdungssystemen ist darauf zu achten, dass die Erdungsbedingungen auch dann eingehalten werden, wenn eine Kabelverbindung (einschliesslich Mantelerdung) geöffnet wird.
- Kabelmäntel müssen einseitig geerdet werden, wenn ein Betrieb mit Er-

dungsinseln vorgesehen ist. Aber auch andere Gründe wie Vermeiden von Mantelströmen kann zur einseitigen Erdung der Kabelmäntel führen.

Werden Kabelmäntel im Normalbetrieb einseitig geerdet, sind zusätzlich folgende Punkte zu beachten:

- Die Kabelmäntel bzw. Armierungen müssen so weit isoliert sein, dass eine Potentialverschleppung ausgeschlossen werden kann.
- Die Endverschlüsse sind beidseitig isoliert aufzustellen.
- Auf beiden Seiten muss die Erdung der Mäntel für Arbeiten geöffnet bzw. geschlossen werden können. Dies kann entweder durch den Einbau von Trennmessern oder durch eine lösbare Verbindung der Erdleitung sichergestellt werden (Schraubverbindung).
- Ob die Mäntel im Normalbetrieb auf dem Mast, in der Station oder im Unterwerk geerdet werden, ist je nach Betrachtungsweise der Werke zu handhaben.
- Auf beiden Seiten sind besondere Warntafeln anzubringen.
- Auf der im Normalbetrieb nicht geerdeten Seite ist die Isolation der Kabelmäntel mit Überspannungsableitern zu schützen, die nach den Regeln der Technik dimensioniert werden.

Richtlinien für das Arbeiten an Kabelendverschlüssen

Um eine höchstmögliche Sicherheit während der Arbeiten an Kabeln mit erhöhtem Risiko wegen Fremdspannungen (Unterwerke, Gemeinschaftsleitungen, induktive Beeinflussung benachbarter Anlagen) zu erreichen, wurden folgende Richtlinien erarbeitet. Den beteiligten Werken wurde deren Anwendung empfohlen.

Für alle Arbeiten gilt:

- Die Arbeitsstelle ist nach den fünf Sicherheitsregeln vorzubereiten.

	Endverschluss		
	geerdet	isoliert	
Arbeitsanleitung B	Bg	Bi	
Arbeitsanleitung A2	A2g	A2i	
Arbeitsanleitung A0	A0g	A0i	
Arbeitsanleitung B	geerdet B	geerdet B	Optional, um auf eine besondere Gefährdung hinzuweisen

Bild 7 Mögliche Warntafelkombinationen

- Bei Gewitter im Einzugsgebiet darf nicht an Anlagen und insbesondere nicht an Endverschlüssen gearbeitet werden.

Kabel mit im Normalbetrieb beidseitig geerdetem Kabelmantel

- Es ist grundsätzlich die Anleitung B anzuwenden.
- Muss während der Arbeiten die Erdung an der Arbeitsstelle gelöst werden, sind zur Erhaltung der Personensicherheit je nach Situation eine oder mehrere der folgenden Massnahmen zu treffen:
 - Isolierhandschuhe tragen
 - Standort am Arbeitsplatz isolieren
 - Verlegen einer zusätzlichen geeigneten Erdverbindung zum gegenüberliegenden Ende des Kabels
 - Parallele Verbindungen abschalten
 - Die Zeit, während der am Arbeitsplatz die Erdung gelöst ist, ist so kurz als möglich zu halten.
- Es ist darauf zu achten, dass nie alle Erdungen gleichzeitig gelöst werden, sondern z.B. bei Einleiterkabeln höchstens die Erdung des Kabels, an dem gearbeitet werden muss.
- Das gleichzeitige Arbeiten an anderen Stellen der Leitung soll möglichst vermieden werden. In begründeten Ausnahmen ist darauf zu achten, dass die Montagegruppen miteinander in Verbindung stehen und die Arbeitsschritte koordinieren.

Die genannten Richtlinien gelten auch für einseitig geerdete Kabelmäntel in vermaschten Erdungssystemen, wenn die einseitige Erdung aus wirtschaftlichen Gründen und nicht zur Vermeidung der Potentialverschleppung oder wegen Beeinflussung durch fremde Systeme gewählt wurde.

Kabel mit im Normalbetrieb einseitig geerdetem Kabelmantel

Folgende Punkte gelten für Kabel mit einseitig geerdetem Kabelmantel in nicht vermaschten Erdungssystemen, bei denen eine Gefährdung durch Potentialverschleppung entstehen könnte, wenn bei Arbeiten beidseitig geerdet würde:

- Bei einseitig geerdetem Kabelmantel ist die Arbeitsanleitung A2 oder A1 empfohlen, wobei A2 bevorzugt wird (höhere Arbeitssicherheit). Nur wenn am gegenüberliegenden Ende mit vernünftigem Aufwand die Phasenleiter nicht kurzgeschlossen werden können, ohne diese auch gleichzeitig zu erden, soll auf die Anleitung A0 ausgewichen werden. (Wichtig: gegen Wiedereinschalten sichern.) Die anzuwendende

Anleitung ist auf Warntafeln festgehalten.

- Muss während der Arbeiten die Erdung an der Arbeitsstelle gelöst werden, sind zur Erhaltung der Personensicherheit je nach Situation eine oder mehrere der folgenden Massnahmen zu treffen:
 - Isolierhandschuhe tragen
 - Standort am Arbeitsplatz isolieren
 - Parallele Verbindungen abschalten
 - Die Zeit, während der am Arbeitsplatz die Erdung gelöst ist, ist so kurz als möglich zu halten.
- Es ist darauf zu achten, dass nie alle Erdungen gleichzeitig gelöst werden, sondern z.B. bei Einleiterkabeln höchstens die Erdung des Kabels, an dem gearbeitet werden muss.
- An anderen Stellen der Kabelleitung darf nicht gleichzeitig gearbeitet werden.

Das Tragen von Isolierhandschuhen hat in der Arbeitsgruppe zu intensiven Diskussionen Anlass gegeben. Insbesondere wurde angemerkt, dass feine Arbeiten an Endverschlüssen nicht mit Handschuhen ausgeführt werden können. Bei genauer Betrachtung stellt man aber fest, dass jene Arbeiten, bei denen die Erdung an der Arbeitsstelle gelöst werden muss, durchaus mit Isolierhandschuhen ausgeführt werden können und dass für die feinen Arbeiten die Erdung an der Arbeitsstelle nicht gelöst sein muss.

Warntafeln

Bei einseitig geerdetem Kabelmantel ist es gemäss Leitungsverordnung (SR 734.31 Art. 72) unumgänglich, am offenen Ende eine Warntafel anzubringen. Die Arbeitsgruppe empfiehlt, wie bei den

beteiligten Werken schon eingeführt, an beiden Enden eine Tafel anzubringen, die auf die Besonderheiten beim entsprechenden Kabel hinweist. Sinnvollerweise enthält diese Tafel Angaben zu den Erdungsverhältnissen im Normalbetrieb sowie eine Anleitung für Arbeiten am entsprechenden Kabel.

Bei beidseitig geerdetem Kabelmantel sind Warntafeln ebenfalls sinnvoll, um auf besondere Gefahren wie Potentialverschleppung aus dem Unterwerk oder Mantelströme wegen paralleler Kabel im Betrieb aufmerksam zu machen.

Die Warntafeln wurden in der Arbeitsgruppe neu gestaltet. Sie sind in der Grundfarbe Blau gehalten (Hinweise/Anleitungen) und tragen das gelbe Warnzeichen «Vorsicht vor gefährlichen Spannungen» (Bild 6). Um alle vorkommenden Fälle abzudecken, gibt es sieben unterschiedliche Typen (Bild 7), die sich vornehmlich in der Kurzbeschreibung der anzuwendenden Arbeitsanleitung sowie durch den Einsatzort beim Kabel unterscheiden.

Schlussbemerkungen

Die Ergebnisse der Arbeitsgruppe Kabelmantelerdung wurden in einem Bericht zusammengestellt. Am Bericht mitgearbeitet haben H. Lauchenauer (EKT), G. Castelli (AEW), A. Guerig (NOK), E. Kiser (CKW), B. Lienhard (EKZ), P. Saxer (SAK) und R. Singer (EKS), die auch für weitere Kontakte zur Verfügung stehen. Die Ergebnisse und Empfehlungen wurden mit dem Eidgenössischen Starkstrominspektorat (ESTI) besprochen und von diesem positiv beurteilt. Inzwischen ist bei den Werken auch die Umsetzung in die Praxis im Gang.

Mise à la terre des gaines et des blindages des câbles d'énergie

Plusieurs types de mises à la terre de gaines, blindages et armatures de traction des câbles d'énergie peuvent entraîner différents problèmes et risques en exploitation et lors de travaux aux systèmes de câblage: cela concerne surtout les lignes de câble sortant de sous-stations ou de lignes communes pour lesquelles des systèmes ayant différentes tensions de service sont montés sur la même structure porteuse. Plusieurs centrales électriques se sont penchées sur ces questions au sein d'un groupe d'études et ont élaboré des instructions générales ainsi que des directives de travail. Pour les travaux aux têtes de câbles, des procédures ont été proposées visant à réduire la mise en danger des monteurs.