

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 32 (1941)
Heft: 24

Artikel: Aluminium in der Kabelfabrikation
Autor: Müller, P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060050>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

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

tion et de dérivation, elles sont naturellement protégées par la matière de remplissage. Pour les boîtes d'extrémité, il faut protéger les cosses, tubes de sortie ou autres pièces par un vernis approprié ou par de la soudure à l'étain.

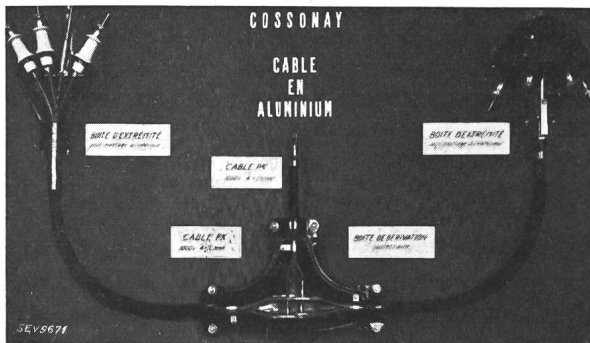


Fig. 6.

Câble d'aluminium exposé au Comptoir Suisse de Lausanne.

La fig. 6 représente un échantillon de câble d'aluminium avec boîtes de dérivation et d'extrémité exposé au Comptoir Suisse de Lausanne.

Soudure des câbles de télécommunication. Le meilleur procédé est la soudure autogène au moyen d'un petit chalumeau. Les extrémités dénudées des fils sont tordues ensemble sur 1 cm environ. On y applique une parcelle d'un décapant approprié, différent de celui utilisé pour les câbles sous plomb. Le chalumeau étant réglé avec un excès d'acétylène, on approche la flamme du bout des conducteurs qui se soudent presque instantanément, sans aucune brûlure du papier.

11° Autres applications de l'aluminium à la technique des câbles.

On utilise depuis longtemps dans la fabrication des câbles à haute tension type Hochstädter un ruban de papier recouvert d'aluminium comme dernière couche sur l'isolation des conducteurs de façon à obtenir une sollicitation radiale du diélectrique. Dans les câbles à 3 conducteurs, pour assurer un bon contact électrique de ces écrans entre eux et avec le plomb, on enroule autour du faisceau un ruban d'aluminium.

Dans les câbles de télécommunication, on recouvre d'un ruban d'aluminium les paires servant à la transmission des programmes de télédiffusion. Elles sont placées au centre du câble et l'écran d'aluminium élimine l'influence de ces paires sur

celles qui les entourent. On fabrique également des câbles spéciaux à 3 paires sous écran pour les réseaux de Rediffusion.

L'aluminium peut aussi être utilisé avantageusement pour les câbles à haute fréquence. En effet, aux fréquences élevées, la résistance effective d'un conducteur est fonction de la racine carrée de la résistivité, donc 1,29 seulement pour l'aluminium rapporté au cuivre. De plus, dans les câbles concentriques, la résistance en haute fréquence se compose pour 80 % de celle du conducteur central et 20 % seulement de celle du conducteur extérieur, ce qui est encore plus favorable. On peut donc fabriquer en aluminium le conducteur creux de type spécial pour lequel nous avons déposé une demande de brevet et qui se compose de rubans en forme de S s'emboîtant les uns dans les autres.

Citons encore en passant l'emploi d'aluminium très pur (99,99 %) pour la constitution de manteaux à la place du plomb. Cette application rencontre d'assez grandes difficultés: haute température de la presse, forte pression, attaque du corps de presse par l'aluminium. On utilise également une couche de ruban d'aluminium sur le faisceau des câbles isolés au moyen de matières synthétiques et recouverts aussi d'un manteau en matière synthétique. Enfin, depuis longtemps on fait des boîtes d'extrémité pour câbles unipolaires en fonte d'aluminium, pour éviter l'échauffement qui se produirait avec la fonte de fer sous l'effet du champ magnétique créé par le courant. Les presse-étoupe fixés sur les isolateurs de boîtes d'extrémité sont aussi en aluminium.

12° Conclusions.

L'auteur espère avoir montré que la technique des câbles en aluminium est au point et que ce métal peut parfaitement bien remplacer le cuivre si l'on tient compte de ses propriétés particulières.

Der Vorsitzende: Ich danke Herrn Foretay für sein ausserordentlich interessantes Referat. Herr Foretay hat uns in alle interessanten Teile der Fabrikation der Leiterseile und Kabel eingeführt. Er hat Ihnen mit seinen Ausführungen gezeigt, wie ausserordentlich stark die zuständigen Unternehmungen sich bemühen, der heutigen Zeit mit der Anwendung von Aluminium gerecht zu werden.

Ich nehme an, dass Sie mit mir einig sind, wenn ich abschliessend Herrn Müller von den Kabelwerken Brugg das Wort erteile zu seinem Vortrag: «Aluminium im Kabelbau». Wir können dann die Diskussion für beide Referate zusammenfassen.

Aluminium in der Kabelfabrikation.

Vortrag, gehalten an der Aluminiumtagung des SEV am 10. Oktober 1941, in Olten, von P. Müller, Brugg.

621.315.53 : 621.315.2

Es wird ein Ueberblick über die Praxis mit Aluminiumkabeln gegeben. Im besondern wird auf das Löten und Schweißen eingegangen. Das für unsere Verhältnisse besonders geeignete Weichlötverfahren wird anhand von Schnappschüssen erläutert.

L'auteur donne un aperçu des applications pratiques des câbles d'aluminium. Il étudie en particulier le problème de la soudure, et expose à l'aide de quelques exemples le procédé de soudure à basse température qui se prête spécialement aux conditions régnant chez nous.

Als im Frühjahr 1938 das Kabelfachkollegium des CES, unter Führung unseres Herrn E. Schnee-

berger, mit der Aufstellung von Leitsätzen für Hochspannungskabel begann, dachte wohl keiner der

Mitarbeiter daran, dass bei deren Fertigstellung Aluminium als Leitermaterial das Kupfer mengenmässig bedeutend überflügelt hätte. In der Schweiz wurde zwar schon gegen Ende des letzten Krieges in bescheidenem Umfange Aluminium im Kabelbau verwendet, doch blieben nur wenige solche Anlagen über die Periode 1919—1939 hinaus im Betriebe; erwähnt seien an dieser Stelle etwa die Aluminiumkabel des Kraftwerkes Eglisau.

Im Laufe der letzten Jahre ist von deutscher Seite die Verwendung von Aluminium nicht nur für Kabelleiter, sondern auch als Mantel des Kabels vorgeschlagen worden. Dem eminenten Vorteil der Gewichtersparnis stehen, wie Herr Foretay bereits klargestellt hat, ganz bedeutende technologische Schwierigkeiten gegenüber. Es lässt sich zur Zeit noch nicht übersehen, ob die weitere Entwicklung zu Kabelmänteln aus Aluminium führen oder ob die Materialverknappung zu Kombinationen sehr dünner Bleimäntel mit Kunststoffschichten zwingen wird.

Trotz der Unterschiede in den mechanischen Eigenschaften der beiden Werkstoffe lässt sich die Fabrikationstechnik von Kupferkabeln unverändert auf Aluminiumkabel übertragen. Aus den elektrischen Werten ergibt sich, dass die zulässige Belastung eines Aluminiumkabels in A das 0,8fache jener des querschnittgleichen Kupferkabels beträgt. Soll für eine bestimmte Länge gleicher Ohmwert erreicht werden, so ist für das Aluminiumkabel der 1,66fache Leiterquerschnitt des Kupferkabels erforderlich.

Schwierigkeiten bei der Verwendung von Kabeln mit Aluminiumleitern traten fast ausschliesslich bei den Armaturen zutage. Der alte Satz, dass jedes Kabel so gut oder so schlecht ist wie seine Armaturen, hat auch beim Aluminiumkabel volle Berechtigung; doch befinden wir uns in der glücklichen Lage, indirekt Nutzniesser der von mehreren unserer Nachbarstaaten seit 6 bis 8 Jahren durchgeführten Grossversuche zu sein. Das Ergebnis dieser Grossversuche lässt sich kurz folgendermassen resümieren:

1. Bei Zutritt von Luftfeuchtigkeit besteht an den Verbindungsstellen zwischen Aluminium und andern Metallen Neigung zu Korrosion. Ein entsprechender Schutz ist unbedingt erforderlich.
2. Bei den Verbindungen ist der Eigenschaft des Aluminiums, zu fließen, Rechnung zu tragen.
3. Bei der Herstellung von Kabelarmaturen lassen sich betriebstüchtige Verbindungen durch Klemmen, Löten und Schweißen herstellen.

Die Klemmverbindungen eignen sich vor allem für massive Leiter und kleinere Querschnitte. Der Kontaktdruck soll wesentlich höher sein als bei Kupferkontakten. Das Oxydieren des Aluminiums wird durch das Universalmittel Vaseline verhindert; ausserdem muss dafür gesorgt sein, dass der Kontaktdruck auch beim Fließen des Aluminiums erhalten bleibt. Das einfachste Mittel hiezu sind federnde Unterlagscheiben. Die Schweißverbindungen sind technologisch gesehen am elegantesten; denn sie benötigen keine fremden Werkstoffe, son-

dern werden mit Reinaluminium unter Zuhilfenahme eines geeigneten Flussmittels ausgeführt. Für Kabelverbindungen hat das sogenannte Giessverfahren den Vorteil, dass keine starke Vorerwärmung der Verbindungsstelle mit all den hierbei möglichen Nebenerscheinungen nötig ist. Um die Verbindungsstelle wird eine passende Schale gebracht und mit geschmolzenem Aluminium ausgegossen. Diese Verbindung ist wahrscheinlich berufen, für Grossverbraucher, deren Monteure bereits Spezialisten sind, fast ausschliesslich zur Anwendung zu kommen.

Die verbreitetste Verbindungsart ist das Weichlöten mit Hilfe eines Reaktionslotes. Dieses Reaktionslot hat die Aufgabe, das Oxyd an der Oberfläche des Aluminiums zu entfernen und eine Lötung zu ermöglichen, ähnlich der, welche bei Kupferverbindungen vorgenommen wird.

Wir haben in unserem Werk die verschiedenen Verfahren näher studiert und ausprobiert und sind dabei zu dem Schlusse gekommen, für unsere schweizerischen Verhältnisse dem Weichlotverfahren, unter Verwendung des «G»-Lotes und des Reaktionslotes «Lumisold K» der AIAG, den Vorzug zu geben. Wir sind der Ansicht, dass die komplizierten Verfahren des Schweißens und Giessens für unsere kleinern Werke, denen es vielleicht an der täglichen Übung fehlt, Schwierigkeiten bieten dürften. Doch ist nicht ausgeschlossen, dass eine weitere Rohstoffverknappung zwangsläufig zu den auch im Ausland stark verbreiteten Schweiß- und Giessverfahren führt.

Die normalen Konstruktionen der Armaturen müssen nur ganz unbedeutend geändert werden, um von Kupfer auf Aluminium umzuleiten. Wie sich diese Anordnungen im einzelnen darbieten, sei an Hand einiger Bilder gezeigt.

Die Einheitselemente, die wir bei unsern Armaturen für Aluminiumkabel vorsehen, sind:

- a) Für die Verbindungsmuffen Hülsen mit Eingussöffnung, für kleinere Querschnitte aus Kupfer, für grössere aus Avional.
- b) Für die Abzweigmuffen dünnwandige T-Stücke aus Kupfer oder Schraubenverbindungen mit federnden Unterlagscheiben.
- c) Für die Endverschlüsse dünnwandige Kupferrohre beim Anschluss an Kupferschienen, resp. Hülsen oder Kabelschuhe aus Aluminium beim Anschluss an Aluminiumschienen.

Dass die Arbeit des Weichlötens in der Tat keine Hexerei ist, zeigt eine Serie von Schnappschüssen von der Herstellung eines Endverschlusses für ein 7-kV-Aluminiumkabel von 350 mm², siehe Fig. 1 bis 7.

Die Verwendung von Kupferhülsen bei den üblichen Niederspannungsendverschlüssen ist in Fig. 8 dargestellt. Die blanken Aluminiumleiter werden mit Isolierband eingebunden und erhalten einen Lackanstrich.

Die Montage der druckfesten Hochspannungsendverschlüsse gestaltet sich ebenfalls sehr einfach, wie aus Fig. 9 für 15-kV-Material hervorgeht.

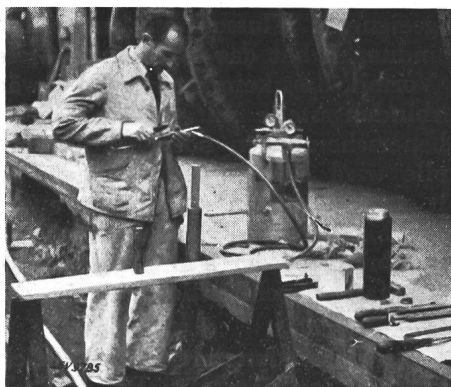


Fig. 1.

1. Phase:
Bleimantel und
Isolation werden
zurück-
geschnitten.



Fig. 5.

5. Phase:
Vollständiges
Zufüllen der
Löthülse mit
«G»-Lot,
äusserliches
Verzinnen der
noch warmen
Löthülse mit
Reaktionslot und
Asbestlappen.

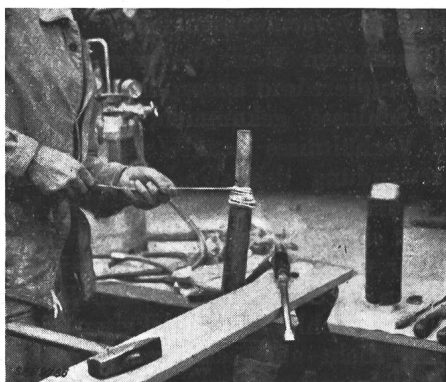


Fig. 2.

2. Phase:
Die
Kupferlöthülse
ist aufgesetzt
und wird durch
Asbestschnur
unten
abgedichtet;
statt der
Asbestschnur
lässt sich auch
eine Paste
verwenden.

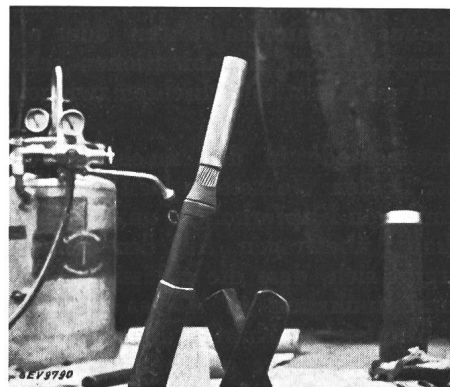


Fig. 6.

6. Phase:
Zurückschneiden
der Isolation
und des
Bleimantels.

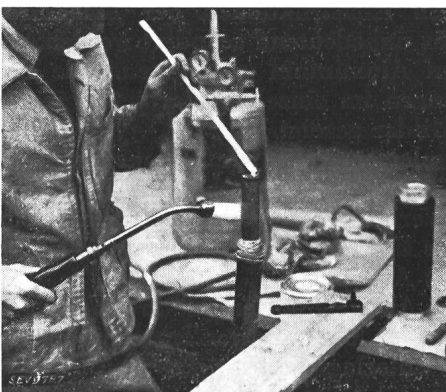


Fig. 3.

3. Phase:
Das Reaktionslot
wird in die
vorstehende Hülse
gebracht, mit der
Lötflamme
eingeschmolzen
und anschliessend
das Lötten mit
«G»-Lot
vorgenommen.

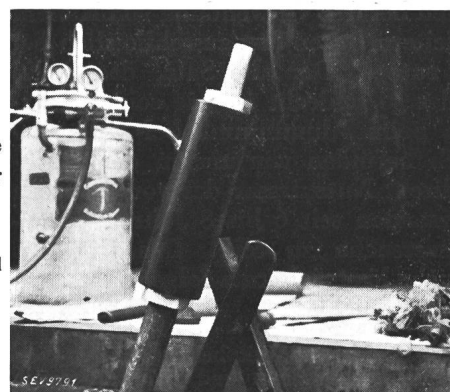


Fig. 7.

7. Phase:
Aufbringen
des
Endverschlusses.

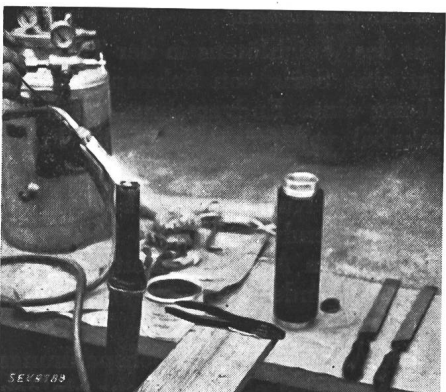


Fig. 4.

4. Phase:
Abfischen der
durch Wärme und
leichtes Klopfen
nach oben
beförderten
Schlacken.

Fig. 1 bis 7.

Der Arbeitsvorgang beim Anbringen eines Endverschlusses an ein 7-kV-Al-Kabel von 350 mm² nach dem Weichlötverfahren.

Eine Abzweigmuffe mit Klemmverbindungen und eine einfache Verbindungsmuffe mit Kupferhülsen sind in Fig. 10 und 11 gezeigt.

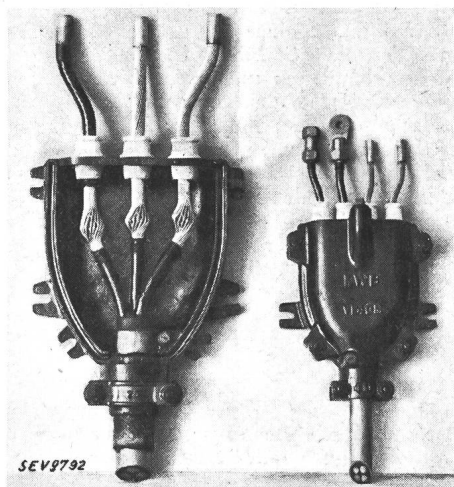


Fig. 8.
Cu-Hülsen auf Al-Leitern.

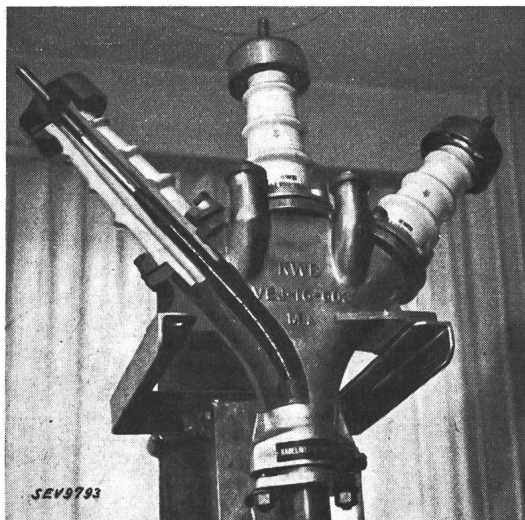


Fig. 9.
Druckfester Endverschluss, 15 kV.

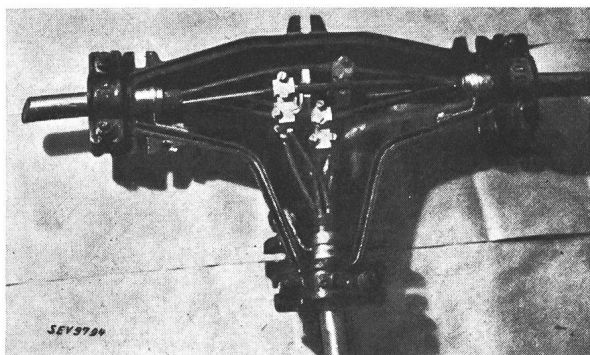


Fig. 10.
Abzweigmuffe mit Klemmverbindungen.

Abschliessend sei noch die von uns zusammengestellte Montageapparatur für Löten und Schweißen unter Verwendung eines Karbidbrenners der

Continental A.-G., Dübendorf, erwähnt, der uns vom Benzin und Benzol für Lötlampen und Schweißbrenner unabhängig macht (Fig. 12).

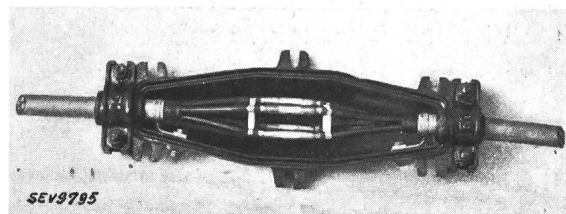


Fig. 11.
Einfache Verbindungsmuffe mit Cu-Hülsen.

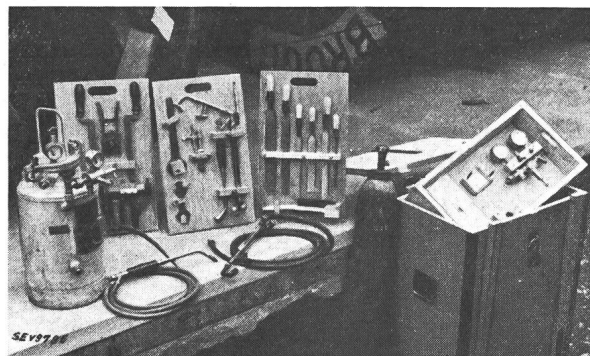


Fig. 12.
Löt- und Schweissapparatur.

Wir liessen uns bei der Umstellung unserer Fabrikation auf Aluminiumkabel von drei Grundsätzen leiten:

1. Grösstmögliche Betriebssicherheit der Armaturen.
2. Einfachheit der Montage auch für nicht speziell geschultes Personal.
3. Verwendung von Material, das in der Schweiz heute erhältlich ist.

Diskussion.

Der Vorsitzende dankt auch Herrn Müller herzlich für sein Referat und eröffnet die Diskussion.

Herr A. Zaruski, Starkstrominspektorat, Zürich: Herr Müller hat im Lichtbild einen Kabelendverschluss gezeigt, der eine auf dem Al-Leiter aufgelötete Cu-Hülse besitzt; es handelt sich um einen Kabelendverschluss für Innenmontage. Ich hatte letzthin Gelegenheit, in einer Installation Erscheinungen von Kondenswasser in Apparaten festzustellen, und zwar an Orten, wo man solche auch mit bestem Willen nicht erwarten konnte. Ich möchte Herrn Müller fragen, ob bei solchen Kabelendverschlüssen nicht doch Korrosionen auftreten können, trotz Gummiabdichtung.

Herr P. Müller: Die Frage ist ziemlich einfach zu beantworten. Ein Kabelendverschluss mit Kondenswasser versagt mit tödlicher Sicherheit, längst bevor Korrosion entsteht. Ich kann Sie versichern, dass wir bei diesen komplett abgedichteten Endverschlüssen inwendig nie Kondenswasser feststellen konnten.

M. H. Bourquin, Commission de corrosion, Zurich: Messieurs Foretay et Müller ont cité tous deux dans leur conférence l'emploi de l'aluminium pour remplacer le plomb comme gaine métallique des câbles souterrains. Cette appli-

cation, exposée en détail dans un article de la revue Siemens, août 1939, sous le titre «Aluminium als Baustoff für Kabelmäntel» est certes très intéressante, mais je me permets d'attirer l'attention de l'auditoire sur une propriété de l'aluminium qui n'a pas été mentionnée à cette occasion et qui incite néanmoins à la prudence. Je veux parler de la sensibilité de ce métal aux phénomènes d'électrolyse.

En effet, des essais systématiques de longue durée entrepris par l'Office de contrôle de la Commission de corrosion à partir de 1932, ont mis en lumière la différence fondamentale entre les métaux lourds usuels, fer et plomb d'une part, et les métaux légers, aluminium et ses alliages d'autre part. Tandis que les premiers ne se corrodent sous l'effet de courants continus qu'à l'anode, l'aluminium et ses alliages subissent une désagrégation aussi bien à la cathode qu'à l'anode; ce phénomène est dû à la sensibilité de l'aluminium en milieu alcalin (c'est-à-dire, en particulier, au voisinage de la cathode), lequel attaque le métal sous forme d'aluminate. Une autre propriété intéressante — et qui découle logiquement de la première —, c'est que l'alternance de la polarité ralentit considérablement le processus de la corrosion des métaux lourds, tandis qu'aucune atténuation n'est perceptible sur les métaux légers, du moins pour la bande de fréquences examinée — 1 à 72 changements par heure —, soit pour un renversement du sens du courant toutes les heures ou toutes les 50 secondes: c'est ainsi que la quantité de fer ou de plomb perdue n'est qu'un quart ou un cinquième de celle sous charge continue ou intermittente, tandis que la perte d'aluminium reste exactement la même!

Ces faits ne devront pas passer inaperçus lorsqu'il s'agira de poser des câbles à gaine d'aluminium dans le domaine d'influence de tramways ou d'autres chemins de fer à courant continu; car les courants vagabonds, parfois considérables, qui circulent dans le terrain en empruntant partiellement les canalisations métalliques souterraines comme circuit de retour, sont susceptibles de provoquer de graves avaries sur ces conduites, si l'on ne prend pas à temps les précautions qui s'imposent, soit pour leur couper le chemin, soit pour les drainer sans dommage.

A l'heure qu'il est, on ne peut pas encore affirmer qu'un câble à gaine d'aluminium sera plus exposé à la corrosion électrolytique qu'un câble sous plomb. Cette question, d'un intérêt vital pour l'avenir de l'application envisagée, demeure à l'ordre du jour et de nouveaux essais sont en cours ou en préparation pour l'éclaircir, entrepris en commun par la S. A. pour l'Industrie de l'Aluminium et par la Commission suisse de corrosion.

Der Vorsitzende: Ich danke Herrn Bourquin für seine Mitteilungen und anregenden Worte. Ich möchte Herrn Foretay oder Herrn Preiswerk fragen, ob sie etwas zu sagen haben zu dem Problem, das Herr Bourquin angeschnitten hat. Mir ist das Gebiet zu fremd, um mich äussern zu können.

Herr M. Preiswerk: Wenn ich mich zu diesem Problem noch äussere, so möchte ich nochmals betonen, dass man sich unter Korrosion gar nicht etwas so Schlimmes vorstellen soll.

Das Eisen rostet; das weiss jedermann. Das Aluminium korrodiert, das glaubt man auch zu wissen. Dass sich auf Kupfer Grünspan bildet, davon spricht man gar nicht. Gewisse Schutzmassnahmen sind eben hier wie dort nötig, um gute Resultate zu erzielen. Aber es ist nicht so, dass, wenn man einmal eine Aluminiumleitung unten und eine Kupferleitung oben hat, nun innert eines Jahres Defekte oder Störungen entstehen sollen. Die Sache wird zehn, auch zwanzig Jahre halten, wenn nicht ganz ungünstige Verhältnisse eintreten. Fürchten Sie sich also nicht zu sehr vor dieser Korrosion.

Die Zusammenhänge, die Herr Bourquin erwähnt hat, sind sehr interessant, und, wie er gesagt hat, sind wir dabei, zu prüfen, ob sich ein Bleikabel oder ein Kabel mit Aluminiummantel im Erdboden unter vagabundierenden Strömen günstiger verhält. Theoretisch ist es richtig, dass beim Aluminium sowohl an der kathodischen als auch an der anodischen Seite Zerstörungen eintreten. Die bisherigen Versuche haben aber auch ergeben, dass unter derselben Streuspannung im Erdboden sogar volumemässig an Kathode und Anode zusammen bei Aluminium weniger Metall abgeschieden wird als bei Blei. In den erwähnten neuen Versuchen, die möglichst die Verhältnisse, die in Wirklichkeit auftreten, nachahmen, soll gezeigt werden, ob Aluminium sich schlechter, gleich oder sogar günstiger in bezug auf Eignung als Kabelmantel unter Einfluss von Streuspannungen verhält. Es ist tatsächlich zu erwarten — ich will zwar nicht prophezeien —, dass Aluminium nicht ungünstig abschneiden wird.

Bei den erwähnten Versuchen soll auch abgeklärt werden, ob die Streuströme bei armierten Kabeln nur in der Armierung verlaufen oder auch auf den Blei- bzw. Aluminium-Mantel übertreten.

Der Vorsitzende: Ich möchte zu dieser Diskussion noch das eine sagen: Wir haben jetzt nur vom Mangel am Rohstoff Kupfer gesprochen. Meine Herren, wir müssen ebenso sehr vom Mangel am Rohstoff Blei sprechen, denn die Einfuhr von Blei ist so selten geworden wie die von Kupfer. Die Frage kann noch wichtig werden, ob wir Blei nehmen wollen oder nicht; wenn wir keines mehr haben, müssen wir auch das Ersatz haben.

Wenn das Wort nicht mehr verlangt wird, möchte ich die heutige Diskussionsversammlung schliessen.

Ich glaube sagen zu dürfen: Wir sind wirklich in einer ersten Stunde und zu einem ebenso ersten Thema zusammengekommen. Die Beschaffung des Ersatzes für das fehlende Kupfer ist eine sehr ernste Sache. Sie nehmen gewiss den Eindruck mit nach Hause, dass die Fragen über die Anwendung von Aluminium grundsätzlich geklärt sind. Sie dürfen mutvoll an die Anwendung herangehen, und ich hoffe, Sie haben die Hemmungen, die bei der Einführung einer neuen Sache immer vorhanden sind, zum Schluss restlos überwinden können.

Noch einmal danke ich allen Referenten herzlichst, ebenso allen jenen, die durch ihre Voten zur Bereicherung der Aussprache und zum regen Austausch von Erfahrungen beigetragen haben.

La coupure sur une des phases d'un réseau triphasé.

Conférence donnée lors de la journée de brèves conférences de l'ASE, le 21 juin 1941 à Zurich.

Par Ch. Jean-Richard, Berne.

621.3.016.313

La coupure sur une des phases d'un réseau triphasé est examinée successivement dans le cas de quatre types de réseaux. L'auteur explique l'inversion des tensions qui se produit parfois du côté secondaire d'un transformateur branché sur le réseau dont une des phases est coupée, et termine son exposé par quelques conclusions d'ordre pratique.

Les lignes électriques à plusieurs milliers de volts d'un réseau triphasé sont souvent ramifiées. Leurs branches s'approchent autant que possible et pénètrent même dans les localités de leur secteur en partant parfois assez loin de leur base. Dans ces con-

Für vier verschiedene Drehstrom-Netztypen wird das Abschalten einer Phase untersucht. Bei solchen Abschaltungen einer Phase kann es vorkommen, dass der Drehsinn der Spannungen auf der Sekundärseite des an ein solches Netz angeschlossenen Transformators umkehrt. Das Referat schliesst mit einigen Schlussfolgerungen für die Praxis.

ditions il serait désirable de sectionner automatiquement les branches en cas d'accident. Or ceci présente quelques ennuis, l'installation d'interrupteurs à chaque embranchement étant nettement trop onéreuse, et celle de fusibles pouvant amener la cou-