

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 32 (1941)

Heft: 24

Artikel: Die Verwendung von Aluminium in Hochspannungs-Verteilnetzen, Ortsnetzen und Hausinstallationen

Autor: Zaruski, A.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060047>

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: 13.01.2026

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

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:

Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechn. Vereins und des Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, Zürich 8, Seefeldstr. 301

ADMINISTRATION:

Zürich, Stauffacherquai 36 • Telephon 51742
Postcheck-Konto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXXII. Jahrgang

Nº 24

Mittwoch, 3. Dezember 1941

Bericht über die Aluminiumtagung des SEV

Freitag, den 10. Oktober 1941, im Hotel Schweizerhof in Olten.

Der Vorsitzende, Herr Dr. h. c. M. Schiesser, Präsident des SEV, begrüßt die 200 Mitglieder und Gäste, die zur Aluminiumtagung erschienen sind, und führt einleitend folgendes aus:

Die heutigen Zeitverhältnisse zwingen uns mehr und mehr, infolge der Rohstoffverknappung die vorhandenen Vorräte richtig anzuwenden, ganz besonders auch auf dem Gebiet der Elektrotechnik. Im weitesten Sinne handelt es sich hier um das Kupfer. Der Jahresverbrauch der Schweiz beträgt, bessere Belehrung vorbehalten, etwa 22 000 bis 25 000 Tonnen. Im vergangenen Jahr sind vielleicht noch etwa 1200 Tonnen eingeführt worden. Sie sehen daraus, dass bereits ein ausserordentlich grosses Manko entstanden ist. Von diesen 1200 Tonnen ist nur ein kleiner Teil elektrolytisches Kupfer, der andere Teil ist best selected oder noch weniger gute Qualität. Von dieser Menge verbraucht die Elektrizitätsindustrie — immer im weitesten Sinne genommen — den grössten Teil. Der nächstgrösste Verbraucher ist die Landwirtschaft, die das Kupfer in Form von Salzen verwendet.

Unsere Vorräte an Kupfer gehen nun langsam zu Ende. Wir sind in der glücklichen Lage, dank dem schweizerischen Pioniergeist in unserm Lande ein Material zu erzeugen, wenn auch mit ausländischem Rohstoff, das wir sehr gut an Stelle des Kupfers verwenden können: es ist das *Aluminium*.

Das Aluminium ist für uns kein neues Metall; wir kennen es und kennen auch seine Anwendung und seine Technologie. Was wir vielleicht noch nicht restlos kennen, das sind die Erfahrungen auf den verschiedenen Anwendungsbereichen. Es geht aber heute nicht mehr bloss darum, ob wir Aluminium verwenden können, sondern es geht darum, dass wir dieses Metall anwenden müssen. Ich möchte dabei betonen, dass ich Aluminium nicht als einen Ersatzstoff betrachte; Aluminium ist ein vollwertiger Werkstoff. Wir müssen jetzt alle Bedenken beiseite schieben. Mit Bedenken kommen wir über die Situation, in der wir uns befinden, nicht hinweg.

Das Kupfer, das noch vorhanden ist, müssen wir für alle Fälle sparen, wo dieses Metall nicht ersetzt werden kann; aber gleichzeitig — und das klingt nun allerdings etwas paradox — müssen wir auch an Aluminium sparen, soviel wir können. Unser Land produziert das Aluminium in grossen Mengen, aber, wie ich bereits betont habe, mit

ausländischem Rohstoff. Die Verhältnisse zwingen uns, einen grossen Teil dieser Produktion abzugeben. Dazu kommt noch, dass wir ein sehr ungünstiges hydraulisches Jahr vor uns haben. Es fehlt deshalb die nötige Energie. Man hat mich ermächtigt, zu sagen, dass der Aluminiumindustrie in diesem Winterhalbjahr ungefähr 120 Millionen kWh fehlen. Wir haben also nicht mehr genügend Kupfer und nur noch in sehr beschränktem Masse Aluminium. Diese Situation zwingt uns, sehr stark zu sparen. Uebrigens gilt das ja nicht nur für Kupfer und Aluminium, sondern ganz allgemein für alle Rohstoffe, die wir im Lande verbrauchen.

Es ist nun nötig, dass wir auch unsere Vorschriften den neuen Verhältnissen anpassen. Die bevorstehende Generalversammlung wird Änderungen von Vorschriften zu sanktionieren haben, die der Vorstand schon vor längerer Zeit in Anpassung an die neue Lage vorgenommen hat, um keine Zeit zu verlieren. Wir haben freilich die Ueberzeugung, dass wir in dieser Richtung noch nicht weit genug gegangen sind; wir sind gezwungen, die Vorschriften noch schärfert den veränderten Verhältnissen anzupassen. Wir müssen heute — und ich wünsche, dass es geschehe — in der Verwendung von Aluminium die positive Seite betonen; die negative Seite wollen wir nur im konstruktiven Sinne anführen.

Ich habe bereits gesagt, dass es nichts nützt, nur von den Schwierigkeiten zu reden. Um die Schwierigkeiten, die vor uns liegen, zu überwinden, müssen wir uns zusammentun. Ich bin überzeugt, es wird mit gutem Willen gehen. Sie werden es in der nächsten Zeit erfahren, dass wir nicht bloss für Leitungen und Installationen, sondern auch für Maschinen fast restlos Aluminium verwenden müssen. Ich bitte Sie deshalb, stellen Sie sich um, wenn es Ihnen noch so schwer fällt, und setzen Sie sich vorbehaltlos ein für die Verwendung von Aluminium.

Ich bin persönlich davon überzeugt, dass viel von dem, was wir jetzt anwenden werden, auch nach der Rückkehr normaler Zeiten Bestand haben wird, denn wir müssen uns bestreben, ein Material, das wir im Lande selbst erzeugen können, immer mehr zur Anwendung zu bringen.

Mit dem Wunsche, dass wir uns wirklich auf das Positive konzentrieren und das Negative nur in konstruktiver Form diskutieren, möchte ich die heutige Diskussionsversammlung eröffnen und gleich Herrn Zaruski, Starkstrominspektor, das Wort zum ersten Vortrag erteilen.

Die Verwendung von Aluminium in Hochspannungs-Verteilnetzen, Ortsnetzen und Hausinstallationen.

Vortrag, gehalten an der Aluminiumtagung des SEV am 10. Oktober 1941, in Olten,
von A. Zaruski, Zürich.

621.315.53 : 621.316.1

Es wird begründet, weshalb massive Aluminiumleiter sich für den Freileitungsbau schlecht eignen. Dagegen wird es möglich sein, Massivdrähte aus Aldrey von 4...8 mm Durchmesser als kriegsbedingte Massnahme im Regelleitungsbe-

L'auteur explique pourquoi l'aluminium se prête mal à la construction des lignes aériennes. Par contre, il signale la possibilité d'admettre des fils massifs d'Aldrey de 4 à 8 mm de diamètre dans la construction des lignes ordinaires,

reich zuzulassen; dabei soll die Kupferreguliertabelle der bundesrätlichen Verordnung für Starkstromanlagen vom Jahre 1933 angewendet werden. Auf Grund einer Umfrage bei den Elektrizitätswerken und bei der Aluminiumindustrie werden Erfahrungen über die Verwendung von Aluminium im Freileitungsbau mitgeteilt. Besonders betrachtet werden die Befestigungsarten der Leiter an den Isolatoren und die Verbindungsarten. Versager aus dem letzten Weltkrieg sind auf mangelnde Kenntnis der Technologie des Aluminiums zurückzuführen, ferner auf mangelnde Erfahrung und Sorgfalt des Personals.

à titre de mesure imposée par la guerre; pour ceux-ci, il y a lieu d'appliquer le tableau de réglage prévu pour les conducteurs de cuivre par l'ordonnance fédérale sur les installations à courant fort du 7. 7. 1933. Une enquête auprès des centrales d'électricité et de l'industrie de l'aluminium a permis de rassembler des données sur l'utilisation de ce métal dans la construction des lignes aériennes. L'auteur examine plus spécialement les modes de fixation des fils aux isolateurs et les raccords. Les mauvaises expériences au cours de la dernière guerre sont dues à un manque de connaissances sur la technologie de l'aluminium, ainsi qu'au manque d'expérience et surtout de soins du personnel.

Zu Beginn dieses Jahres erhielt das Starkstrominspektorat Anfragen von Elektrizitätsunternehmungen über die Eignung und das Verhalten von Aluminium (Al) und Aldrey im Freileitungsbau. Das Starkstrominspektorat beantwortete diese Fragen allgemein auf Grund der Art. 78 und 80 der Verordnung über die Erstellung, den Betrieb und den Unterhalt von elektrischen Starkstromanlagen vom 7. Juli 1933 («Bundesvorschriften», BV), deren zufolge Al und Aldrey nur in verseilter Form im Freileitungsbau zur Anwendung gelangen dürfen, und dass die einzelnen Leiter von Niederspannungs-freileitungen wenigstens 350 kg und von Hochspannungsleitungen mindestens 560 kg Zerreissfestigkeit aufweisen müssen. In der Folge stellte sich das Starkstrominspektorat im Hinblick auf die derzeitige Materialknappheit die Aufgabe, abzuklären, ob Al und Aldrey sich in Form von Massivdrähten im Freileitungsbau verwenden lassen. Wir dachten dabei in erster Linie an Niederspannungsleitungen, da Al und Aldrey in verseilter Form als hauptsächlichstes Material beim Bau von Hochspannungsleitungen verwendet werden; die Eignung und Eigenschaften solcher Seile dürfte deshalb als bekannt vorausgesetzt werden.

Ueber das mechanische Verhalten und Eignung von Al und Aldrey in Form von Massivdrähten ist folgendes zu sagen:

1. Aluminium.

Die wichtigsten Eigenschaften eines im Leitungsbau verwendeten Drahtes sind Leitfähigkeit und Zerreissfestigkeit. Infolge des Ziehprozesses ist die Zerreissfestigkeit von Drähten keine Konstante, sondern sie variiert mit dem Drahtdurchmesser; beim Aluminium ist diese Eigenschaft sehr ausgeprägt. Während z. B. ein Draht von $12,6 \text{ mm}^2$ ($4 \text{ mm } \varnothing$) eine Zerreissfestigkeit von 17 kg/mm^2 besitzt, weist ein solcher von $78,5 \text{ mm}^2$ ($10 \text{ mm } \varnothing$) noch ca. $9,5 \text{ kg/mm}^2$ Festigkeit auf. Mit Rücksicht auf die Bestimmung von Art. 89 der BV, deren zufolge die Zugbeanspruchung des Leitermaterials bei den Zuständen 0° und Zusatzlast oder tiefste Ortstemperatur im Maximum $\frac{2}{3}$ der Zerreissfestigkeit betragen darf, kommt man somit beim 4-mm-Draht auf ca. $11,3 \text{ kg/mm}^2$ und beim 10-mm-Draht auf ca. $6,3 \text{ kg/mm}^2$ als höchstzulässige Beanspruchung. Da gemäss Tabelle 2 der BV halbharte Kupferdrähte bis 28 mm^2 mit max. 20 kg/mm^2 und solche über 28 mm^2 Querschnitt mit max. 18 kg/mm^2 gespannt werden dürfen, ergeben sich als Verhältniszahlen zwischen den höchstzulässigen Beanspruchungen für die erwähnten Cu- und Al-Querschnitte ca. 1,77

und ca. 2,86. Diese Werte beziehen sich auf quer-schnittgleiche Leiter; macht man den Vergleich für leitwertgleiche Querschnitte, so ergeben sich noch ungünstigere Verhältnisse. Der leitwertgleiche Querschnitt eines 4-mm-Kupferdrahtes ($12,6 \text{ mm}^2$) beträgt ca. $20,2 \text{ mm}^2$ Al. Die Zerreissfestigkeit eines Al-Drahtes von diesem Querschnitt beträgt ca. 15 kg/mm^2 , was einer höchstzulässigen Beanspruchung von ca. 10 kg/mm^2 entspricht. Das Verhältnis der höchstzulässigen Beanspruchung des Kupferquerschnittes zu derjenigen des leitwertgleichen Aluminiumquerschnittes beträgt in diesem Falle 2.

Dass sich die geringen Zerreissfestigkeiten des Aluminiums für die Durchhangsbestimmungen ungünstig auswirken, ist selbstverständlich. Da die kritischen Spannweiten für Aluminiumdrähte bis $8 \text{ mm } \varnothing$ bei Voraussetzung einer tiefsten Orts-temperatur von -20° C , einer Zusatzlast von 2 kg/m und den uns bekannten Höchstbeanspruchungen bei 20 m liegen, ist somit für diese Drähte im Regelleitungsbereich (d. h. für die Spannweiten 20...50 m) der Zustand 0° und 2 kg/m Zusatzlast massgebend. Das geringe spezifische Gewicht des Aluminiums ($2,7 \text{ g/cm}^3$) gegen Kupfer ($8,9 \text{ g/cm}^3$) tritt dabei an den kleineren Querschnitten nicht stark erleichternd auf, weil es im virtuellen spezifischen Gewicht (d. h. im spezifischen Gewicht mit Zusatzlast) fast nicht zur Geltung kommt. Die Durchhänge der Aluminiumdrähte von $12,6 \text{ mm}^2$ ($4 \text{ mm } \varnothing$), $19,6 \text{ mm}^2$ ($5 \text{ mm } \varnothing$), $28,3 \text{ mm}^2$ ($6 \text{ mm } \varnothing$), $38,5 \text{ mm}^2$ ($7 \text{ mm } \varnothing$) und 50 mm^2 ($8 \text{ mm } \varnothing$) Querschnitt betragen z. B. für 50 m Spannweite beim Zustand 0° und 2 kg/m Zusatzlast das 2,5-, 2,3-, 2,2- und 1,9fache desjenigen der querschnittgleichen Cu-Leiter; bei 20 m Spannweite lauten diese Zahlen 1,7; 1,5; 1,45 und 1,3. Infolge der grösseren Durchhänge wird man zur Verwendung von längeren Stangen gezwungen. Als Beispiel sei erwähnt:

Spannweite 40 m Cu $6 \text{ mm } \varnothing$, 4 Leiter, Leitung in einer Ortschaft,
Spannweite 40 m Al $6 \text{ mm } \varnothing$, 4 Leiter, Leitung in einer Ortschaft.

Beim Cu-Leiter kommt man mit einer Stange von 9,1 m aus, während beim Al-Leiter infolge seines grösseren Durchhangs zu einer Stange von 10,1 m gegriffen werden muss.

Als weitere Unannehmlichkeit, die sich infolge der grösseren Durchhänge in verstärktem Masse einstellt, ist die Schnellhöhe zu bezeichnen. Die Schnellhöhe eines Leiters in einer Spannweite mit festen Aufhängepunkten ist proportional dem halben Durchhangunterschied Δf vom belasteten und un-

belasteten Stromleiter mal dem Verhältnis des Gewichts der Zusatzlast zum unbelasteten Leitergewicht. In dieser Formel sind die Elastizitätsverhältnisse berücksichtigt, indem in der Durchhangberechnung die aus der Zustandsgleichung zu errechnende Zugbeanspruchung einzusetzen ist. Gegenüber Cu errechnen sich bei gleichen Querschnitten und Zusatzlasten für Al ca. 6mal so grosse Schnellhöhen. Im Interesse der Betriebssicherheit sollten deshalb die Abstände der Leiterbefestigungspunkte vergrössert werden.

Ein weiterer Punkt, auf den hingewiesen werden muss, ist das Verhalten des *Ausschwingwinkels*; sein Maximum tritt auf, wenn der in Art. 93 der BV vorgeschriebene Winddruck von 50 kg/m² (was übrigens einer Windgeschwindigkeit von ca. 26 m/s entspricht) auf eine Spannweite dem Leitergewicht der nämlichen Spannweite das Gleichgewicht hält. Für Kupferleiter ergeben sich bei Durchmessern von 4..9 mm Auslenkwinkel von 60°..41°, bei Aluminium infolge seines geringen spezifischen Gewichtes von 79°..69°. Es ist deshalb beim Nachzug eines Aluminiumleiters auf einer bestehenden Kupferleitung auf die Auslenkung Rücksicht zu nehmen.

Nachdem das Starkstrominspektorat die Verwendung des Aluminiums als Massivdraht geprüft hat und dabei auf Resultate gekommen ist, von welchen hier einige angeführt sind, ist es zum Schluss gekommen, dass es die Anwendung des Al in dieser Form *nicht* empfehlen kann. Ueber das Verhalten des Aluminiumdrahtes in der Praxis werde ich an Hand einiger Beispiele später berichten.

2. Aldrey.

Um die Verwendungsmöglichkeit von Aldrey in Form von Massivleitern im Freileitungsbau abzuklären, wandte sich das Starkstrominspektorat an die Industrie, um von ihr konkrete Angaben über die Aenderung der Zerreissfestigkeit bei verschiedenen grossen Querschnitten zu erhalten. Im vergangenen Sommer wurden dann in Gegenwart von Vertretern des Starkstrominspektorates Versuche über die Zerreissfestigkeit vorgenommen. Es wurden dabei für die Drähte von 4..7 mm Ø Zerreissfestigkeiten von 31,2...28,1 kg/mm² ermittelt.

Auf Grund einer späteren Verifikation dieser Werte durch die Aluminiumindustrie AG. wurde die Zerreissfestigkeit von Aldreydrähten von 4..11 mm Ø mit 28..23 kg/mm² festgelegt. Die Aenderung der Zerreissfestigkeit verläuft dabei linear. Diese Werte gestatteten uns bei Berücksichtigung der in Artikel 89 der BV enthaltenen Bestimmung betreffend den Zusammenhang von Zerreissfestigkeit und höchstzulässiger Belastung, die Werte der höchstzulässigen Belastung für die einzelnen Querschnitte festzulegen. Als höchstzulässige Beanspruchungen wurden festgesetzt:

für Drähte von

4 mm und	5 mm Ø:	18 kg/mm ²
6 mm und	7 mm Ø:	17 kg/mm ²
8 mm und	9 mm Ø:	16 kg/mm ²
10 mm und	11 mm Ø:	15 kg/mm ²

Mit diesen Werten wurde das mechanische Verhalten der Aldreydrähte von 4..11 mm Ø für den ganzen Regelleitungsbereich geprüft; wir stellten dabei fest, dass die Anwendung von massiven Aldreydrähten für Regelleitungen grundsätzlich möglich ist, und dass die den einzelnen Zuständen entsprechenden spezifischen Belastungen die Einhaltung von sehr geringen Durchhängen möglich machen. In der Folge stellte sich die Frage, ob für die Aldreydrähte eine neue Durchhangtabelle aufgestellt werden sollte, oder ob die bekannte, für halbharte Kupferdrähte aufgestellte Tabelle übernommen werden könnte. Um diese Frage nicht einseitig zu beurteilen, wandte sich das Starkstrominspektorat an verschiedene Werke und stellte dabei gleichzeitig die Frage, bis zu welchem maximalen Durchmesser die Aldreydrähte angewendet werden sollten.

Von 14 angefragten Unternehmungen haben 9 geantwortet. Für den maximalen Drahtdurchmesser wurden in 4 Fällen 8 mm, je in 2 Fällen 10 mm und 11 mm vorgeschlagen, während die neunte Unternehmung sich der Beantwortung enthielt, da sie nur über Erfahrungen mit Aldreyseilen verfügt. — Als maximaler Kupferdrahtquerschnitt wird heute allgemein 50 mm² (8 mm Ø) verwendet. Mit Rücksicht auf die noch schlechtere Leitfähigkeit des Aldreys gegen Al (die Leitfähigkeit von Cu, Al und Aldrey verhalten sich wie 1 : 0,62 : 0,54), müsste der einem 8-mm-Kupferdraht leitwertgleiche Aldrey-Leiter 11 mm Ø aufweisen. Wir glauben jedoch, dass die Verarbeitung eines solchen Drahtes infolge seiner Steifheit und anderer Eigenschaften schwierig wird; 11 mm Ø kann beinahe nicht mehr als Draht bezeichnet werden. — Soviel uns bekannt ist, beträgt das Gewicht eines Fabrikationsbarrens 36 kg. Bei dem Verarbeitungsprozess muss mit etwa 8 % Abfall gerechnet werden, so dass noch ein Totalgewicht von etwa 33 kg zur Verfügung steht, das einer Drahtlänge beim 11-mm-Draht von etwa 129 m entspricht, beim 8-mm-Draht ergibt diese Rechnung 244 m. Das Starkstrominspektorat beabsichtigt, vorzuschlagen, massive Aldrey-Drähte bis maximal 50 mm² Querschnitt für Regelleitungen zu verwenden. Dieser Vorschlag hätte zur Folge, dass die Bestimmungen von Art. 78 der BV nicht geändert werden müssten; desgleichen kann die Bestimmung von Art. 80: minimale Zerreissfestigkeiten 350 kg für Niederspannungsleitungen und 560 kg für Hochspannungsleitungen und davon abzuleitende minimale Querschnitte der Leiter von Nieder- und Hochspannungsleitungen von 12,5 mm² bzw. 19,6 mm² belassen werden.

Von den 9 antwortenden Werken sprachen sich 6 für die Uebernahme der Durchhangtabelle von Kupfer aus und 3 empfahlen infolge der Möglichkeit des stärkeren Spannens die Aufstellung einer speziellen Tabelle. Wir haben zu dieser Frage folgende Bemerkungen zu machen.

Vom technisch-wirtschaftlichen Standpunkt aus gesehen liegt es auf der Hand, das Leitermaterial mechanisch bis zu seinem Maximum auszunützen,

wobei jedoch vorausgesetzt werden muss, dass dessen Verhalten in jeder Beziehung bekannt ist. Das

Aldrey steht uns aber in der Form als Massivdraht als Unbekannte gegenüber. Wir glauben, dass es

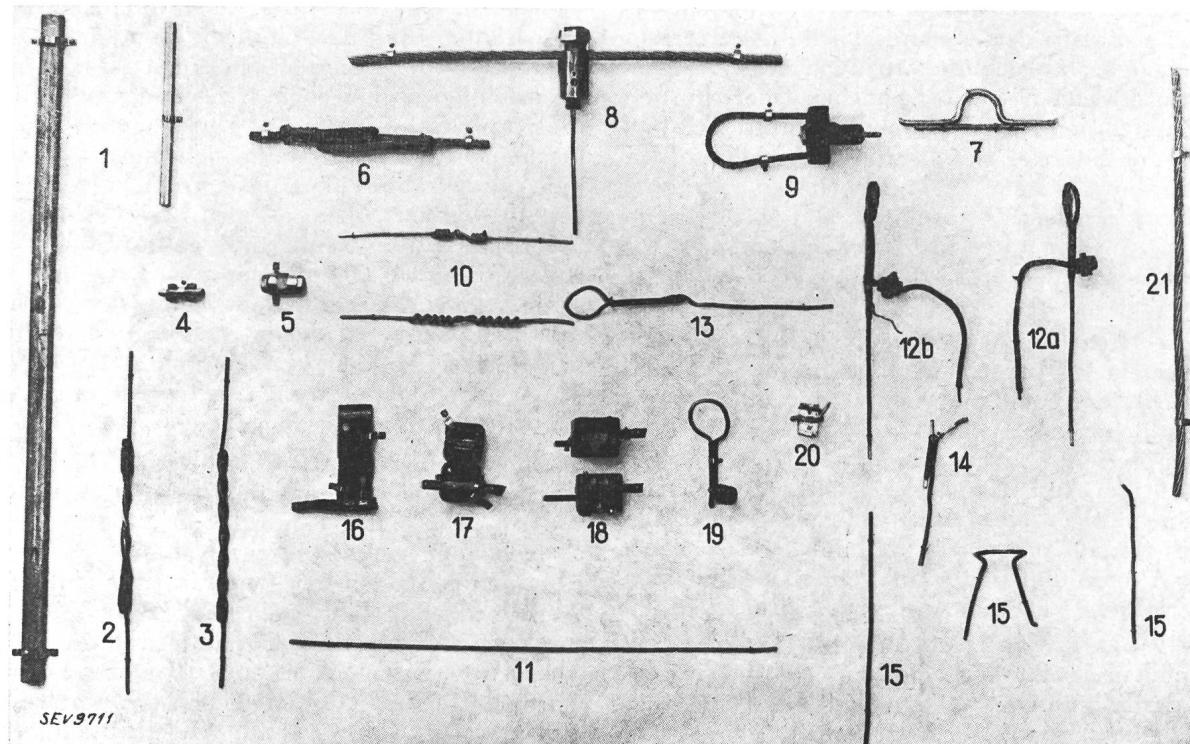


Fig. 1.
Zusammenstellung des Demonstrationsmaterials.

Ausser den in Fig. 2 bis 11 besonders gezeigten Beispielen enthält das Tableau unter Pos. 1 Würgrohre, die bei den Verbindungen von Aluminium-Drähten und -Seilen angewendet werden, Pos. 4 einen Schraubverbinder für 6-mm-Aluminiumdrähte, Pos. 5 einen Konusverbinder für 6-mm-Aluminiumdrähte, Pos. 7 einen Bügeldraht mit angeschliffener Hohlkehle, Pos. 8 eine Aluminium-Abzweigklemme und unter Pos. 9 eine Endbundschlaufe mit konischer Muffe. Unter Pos. 10 werden provisorische Verbindungen von zwei Aluminiumdrähten gezeigt, die in den Jahren 1935 und 1938 erstellt und im Jahre 1941 ausgebaut wurden; die Positionen 12a und 12b vermitteln die Bilder zweier Hausanschluss-Abzweige, die in den Jahren 1916 und 1919 erstellt wurden und bei welchen die verzinkten Installationsdrähte aus Kupfer unter die Aluminiumklemmen geklemmt sind. Die Pos. 13 und 15 zeigen Drahtstücke, auf denen die Wirkungen des unverzinkten Binddrahtes ersichtlich sind.

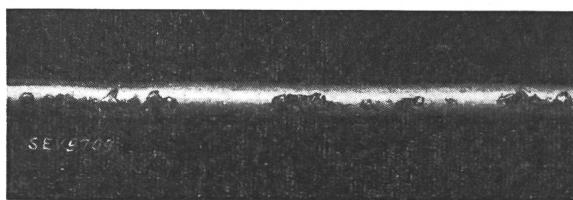


Fig. 2.
Aluminiumdraht, 5 mm Ø, mit Kurzschlußstellen infolge Zusammenschlagen der Leiter in unrichtig regulierter Spannweite.

Montiert 1914; ausgebaut 1941.
Prüfungsergebnisse der EMPA, Durchschnittswerte:
Zerreißfestigkeit: 16,5 kg/mm²,
Elastizitätsmodul: 6730 kg/mm²,
Mittlere elastische Dehnung $\Delta l/l = 0,148\%$,
Proportionalitätsgrenze: 9,9 kg/mm²,
Streckgrenze: 14,9 kg/mm²,
Beschaffenheit der Staboberfläche nach Bruch: intakt.
Beschaffenheit der Bruchfläche: sehnig.
Brüche erfolgten an den Kurzschlußstellen.
Biegeprobe an Stäben ohne Kurzschlußstellen im Biegebereich: 6(90°+90°) bis Anriss.
Biegeprobe an Stäben mit Kurzschlußstellen in der Druckzone: ~ 1,7 (90°+90°) bis Anriss.
Biegeprobe an Stäben mit Kurzschlußstellen in der Zugzone: 2,25 (90°+90°) bis Anriss.
Torsion bei 8 kg/mm² Zugspannung ohne Kurzschlußstelle: $n = 6 (90^\circ + 90^\circ)$.
Torsion bei 8 kg/mm² Zugspannung mit Kurzschlußstelle: $n = 1\frac{1}{2} (90^\circ + 90^\circ)$ Bruch an Kurzschlußstelle.
Torsion bei 11 kg/mm² Zugspannung mit Kurzschlußstelle: $n = 1 (90^\circ + 90^\circ)$ Bruch an Kurzschlußstelle.
Härteprüfung: $H = \frac{P}{A}$ kg/mm²: 45...49 an den intakten Stellen, 26...45 an den Kurzschlußstellen.

nicht im Interesse der Betriebssicherheit der Leitungen und vielleicht auch nicht im Interesse des Fabrikanten liegt, das Material bis zu seinem Maxi-

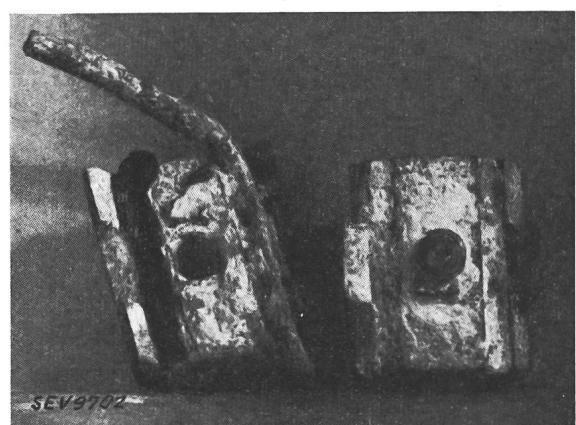


Fig. 3.
Cu/Al-Abzweigung.
Montiert 1916; ausgebaut 1941.
Klemmenkörper: galvanisiertes Eisen, Klemmenlänge: 28 mm.
Aluminiumdraht 4 mm Ø, Kupferdraht (unverzinkt) 2 mm Ø.
In der Klemme sind beide Leiterkanäle stark mit weißen und grünen Ablagerungen gepolstert. Oberfläche des Al-Drahtes in der Klemme stark körnig. Die verzinkte Eisenschraube der Klemme ging beim Öffnen der Klemme infolge Festsitzens in Bruch.



Fig. 4.

Wirkung des unverzinkten Cu-Binddrahtes (1 mm Ø) auf Aluminiumdrähte.

Verbindung hergestellt 1918; ausgebaut 1941.

Unter den Windungen des Binddrahtes deutlich sichtbare Kerbung durch Korrosion auf dem Aluminiumdraht (6 mm Ø). Al-Querschnitt-Verminderung durch Korrosion: ca. 4,5 mm².

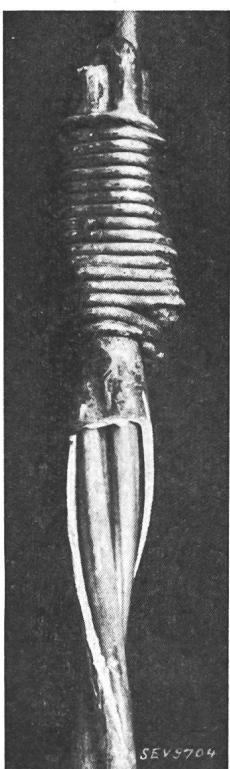


Fig. 5.

Aufgeschnittene Würgverbindung zweier Aluminiumdrähte (je 5 mm Ø).

Montiert 1916; ausgebaut 1941.

Die Drahtenden sind, um das Aufdrehen der Verbindung zu verhindern, abgebogen und durch einen Wickel aus Al-Draht (2 mm Ø) am Würgrohr festgebunden. Die beiden im Würgrohr miteinander verschlungenen Drähte weisen glatte, matt glänzende Oberflächen auf. Zwischen den Drähten und der Innenfläche des Würgrohres treten Hohlräume bis 1 mm Tiefe auf.

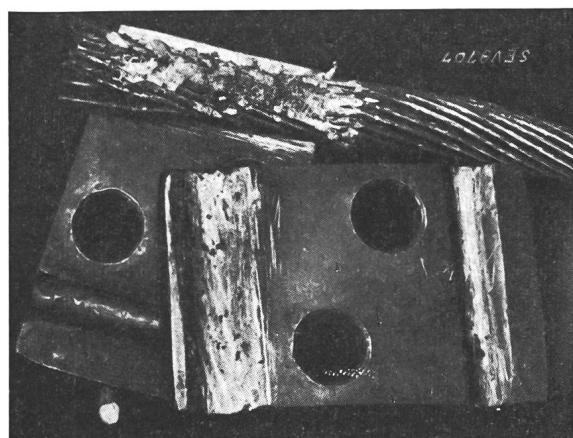


Fig. 6.

Abzweigklemme aus unverzinktem Kupfer für Aldreyseil (95 mm²).

Montiert 1927; ausgebaut 1941; Seil nicht eingefettet; Länge der Seilführung: 50 mm.

Das Seil ist in der Klemme zu einem kompakten Stumpf zusammengeschmolzen. Die schwarzen Flecken im Bilde des Klemmenkanals für das Seil sind Brandstellen im Klemmkörper.

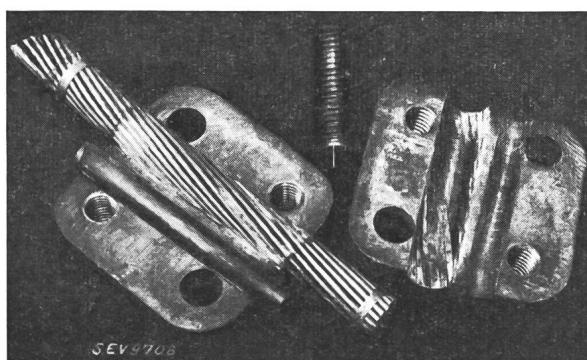


Fig. 7.
Cu-Aldrey-Verbindung.

Cu: 50 mm²; Aldrey: 95 mm²; Klemmenkörper aus Bronze, Klemmschrauben: Messing; Klemmenlänge: 58 mm.

Montiert 1926; ausgebaut 1941; Seil nicht eingefettet.

Das Seil weist zwischen den Einzeldrähten weisse und grünliche Ablagerungen auf; im Klemmenkanal des Seiles sind entsprechend dem Verlauf der Einzeldrähte des Seiles Ablagerungen festgekrustet. Der Kupferdraht und dessen Klemmenkanal sind blank. Die Klemmschrauben und deren Gewinde im Klemmenkörper weisen keine Oxydationserscheinungen auf.

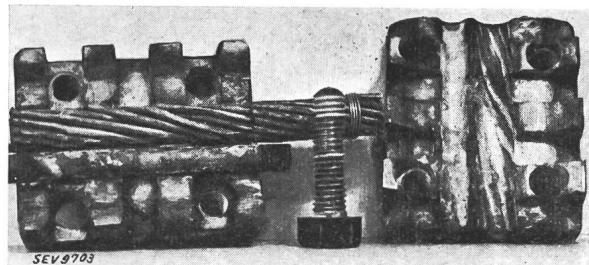


Fig. 8.
Cu-Aldrey-Verbindung.

Cu: 50 mm²; Aldrey: 95 mm²; Klemmenkörper aus Aluminium, Klemmschrauben aus zinkfreier Bronze; Klemmenlänge 68 mm. Montiert 1935, ausgebaut 1941; Seil nicht eingefettet. Die Oberfläche des Klemmenkanals für das Seil weist ausser wenigen dunkel gefärbten Oxydationsstellen keine Besonderheiten auf; der Kupferdraht und sein Klemmenkanal sind stark mit weiss-grünlichen Ablagerungen überkrustet. Die einzelnen Gewindegänge der Schrauben sind mit weissen Ablagerungen gefüllt.

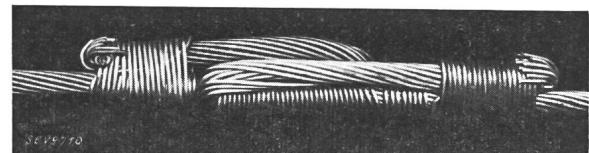


Fig. 9.
Verbindung von zwei Seilen aus Aluminium von je 85 mm².

Montiert ca. 1910, ausgebaut ca. 1935. Intakt.

Einzeldrähte des Seiles und Binddraht: Al 2,4 mm Ø. Länge des die beiden Seile umschliessenden Bundes: ~ 75 mm. Länge des eine Seilschlaufe schliessenden Bundes: ~ 50 mm. Länge der gesamten Verbindung: ~ 220 mm.

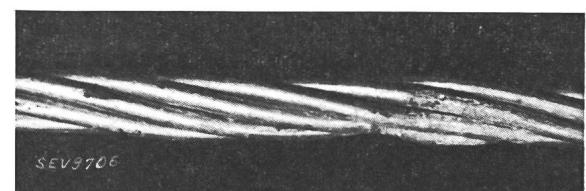


Fig. 10.
Aluminiumseil mit Kurzschlußstelle.

Seil-Querschnitt 50 mm², Aufbau 1+6, Einzeldrahtdurchmesser: 4 mm.

Das Seil wurde nach 10 Jahren Betriebsdauer ausgebaut, wobei die Kurzschlußstelle bemerkt wurde. Ein Einzeldraht ist auf ca. 2 mm durchgebrannt, während die andern Drähte kleinere Verletzungen bis $\frac{1}{4}$ mm Tiefe aufweisen. Gesamte Länge der Kurzschlußstelle: 40 mm.

mum auszunützen. Mit der Uebernahme der für halbhartes Kupfer gültigen Tabelle glauben wir in dieser Hinsicht sehr vorsichtig zu sein, indem sich dadurch geringe Beanspruchungen einstellen. Im weitern gleicht sich dadurch das Bild der Aldrey-leitungen auf Strängen mit Kupferdrähten weitgehend an. Merkbare Durchhangdifferenzen zwischen Aldrey und Kupfer werden sich bei dem Zustand 0° und 2 kg/m Zusatzlast einstellen; wir raten deshalb davon ab, bestehende Kupferleitungen durch Montage eines Aldreyleiters bei gleichen Leiterdistanzen an den Aufhängestellen zu erweitern, weil der Aldreyleiter infolge der korrosiven Einwirkungen abtropfenden Wassers über den Kupferdrähten angebracht werden soll, und er infolge seines grösseren Durchhangs in die Spannweiten des Kupferdrahtes zu liegen käme. Orientierungshalber sei erwähnt, dass für die Einhaltung des Kupfer-Durchhangs bei 0° und 2 kg/m Zusatzlast in einer Spannweite von 50 m ein Aldreyleiter von 4 mm \varnothing mit etwa 26,8 kg/mm 2 beansprucht würde, was einer Montagebeanspruchung bei $+10^\circ$ Celsius von 2,5 kg/mm 2 entsprechen würde. Dies hätte jedoch zur Folge, dass bei -20° C Leiterschwingungen zu befürchten wären.

Das Starkstrominspektorat beabsichtigt deshalb, vorzuschlagen, die Legierung Aldrey in Form von Massivdrähten von 4...8 mm \varnothing als kriegsbedingte Massnahme für die Verwendung bei Hoch- und Niederspannungsleitungen im Regelleitungsbereich provisorisch zuzulassen.

Ein weiterer Umstand, der für die Uebernahme der Kupferreguliertabelle spricht, ist die Tatsache, dass das Monteurpersonal mit ihr seit langer Zeit vertraut ist und wahrscheinlich etwelche Mühe hätte, sich mit weitern Tabellen und Zahlen zu belasten.

3. Montage der massiven Leichtmetalleiter.

Fast allgemein erhielt das Starkstrominspektorat eine negative Antwort auf die an die Elektrizitätsunternehmungen gerichtete Frage über die Erfahrungen, die mit Leichtmetalleitern in Form von Massivdrähten während der Kriegsjahre 1914—1918 gemacht wurden, da beinahe überall solche Leitungen als Provisorien gebaut und später durch Kupferleitungen ersetzt wurden. Den wenigen Angaben über das Verhalten der Leichtmetalleiter ist zu entnehmen, dass diese zum grössten Teil als nicht gut bezeichnet werden. Wenn man ihnen jedoch auf den Grund geht, so ist das nicht zufriedenstellende Verhalten solcher Leitungen zum grössten Teil auf die nichtfachgemässen Montage der Leiter und auf Verwendung unzweckmässiger Armaturen zurückzuführen.

A. Die Befestigung der Leiter an den Isolatoren.

Infolge der korrosiven Eigenschaften des Aluminiums sollen die Isolatoren, welche einmal zur Befestigung eines andern Materials gedient haben, gründlich gereinigt werden (Verwendung verdünnter Salpetersäure und nachher Wasser). Als Binde-

draht soll ein Aluminiumdraht (halbhart) von 2,5 mm \varnothing verwendet werden. An den Befestigungsbund sind drei Bedingungen zu stellen:

1. Der Leitungsdraht muss fest gegen den Isolator angepresst werden, um ihn vollständig bewegungslos zu halten, damit Durchscheuerungen des Leiters vermieden werden.

2. An der Befestigungsstelle des Leiters am Isolator sollen keine zusätzlichen Biegebeanspruchungen des Leiters auftreten. Die durch die Leiter-

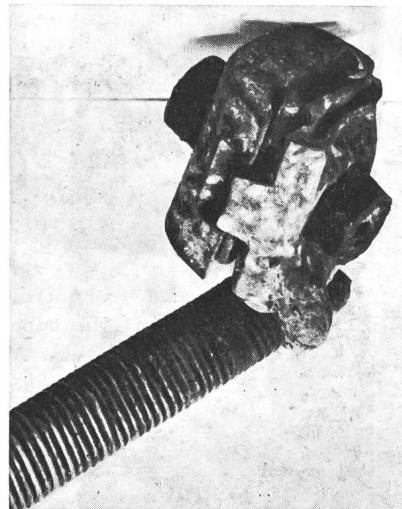


Fig. 11.

Cu/Al-Abzweigung.

Montiert 1918; ausgebaut ca. 1940.

Klemmenkörper: Aluminium, Klemmlänge 28 mm. Klemmschraube: gewöhnliche Eisenschraube; Binddraht: Al 1,5 mm \varnothing . Aluminiumdraht: 4,5 mm \varnothing . Kupferdraht (unverzinkt): 2 mm \varnothing . Der untere Klemmteil ist stark geschmolzen, im Bilde ist ein entstandener Aluminiumtropfen gut sichtbar.

schwingungen auftretende Biegebeanspruchung und der durch den Binddraht verursachte Druck auf den Leiter sollen gleichmässig auf die Länge des Drahtes im Bund verteilt werden.

3. Der Binddraht soll keinen Dauer-Wechselbiegebeanspruchungen ausgesetzt werden.

Die erste Bedingung kann durch Verwendung eines Aluminiumwickelbandes erfüllt werden oder dadurch, dass der Bund so ausgeführt wird, dass ein Wickel aus Binddraht zwischen Leiter und Isolator zu liegen kommt. Um die Einflüsse der Leitungsschwingungen zu dämpfen, kann zum Leiter unter dem Bund ein Beidraht gegeben werden. Es ist dabei jedoch zu beachten, dass die Umwicklung des Leiter- und Beidrahtes nicht zu weit getrieben wird, weil in diesem Falle der Bund auf diesen Strecken zu steif würde und die Wechselbiegebeanspruchungen an die Stelle, wo der Binddraht zur Schlaufe um den Isolator abzweigt, konzentriert wird. Zu den einzelnen Bundarten ist deshalb zu sagen, dass beim Bügel- und beim Kreuz-Bund der Leiter mit Aluminiumband zu umwickeln ist. Beim Kreuzbund soll zudem das Band durch einen Wickel aus Binddraht vom Isolator distanziert werden. Ob beim Bügelbund ein Beidraht verwendet werden soll, wäre noch abzuklären; auf jeden Fall würde er infolge der Versteifung die

Wechselbiegebeanspruchung am Bügeldraht vermindern. Beim Endabspannbund soll der Leiter mit Wickelband versehen werden, damit er gegen Durchscheuerungen geschützt wird. Im weitern sei auf den durch die Aluminiumindustrie entwickelten Bund, Typ M, verwiesen. Er verwendet einen Beidraht zur Versteifung, schützt den Leiter und Beidraht gegen Durchscheuerung mit einem Wickel und begegnet Wechselbiegebeanspruchungen durch seine relativ grosse Länge. Das Einfetten der Bünde erachten wir nicht überall für nötig. In Gebieten mit Rauch- und chemischen Dunstescheinungen (ländliche Gegenden) ist die Einfettung zu empfehlen.

B. Die Verbindungen.

Die Bedingungen, die an einen Verbinder zu stellen sind, lauten: genügende mechanische Festigkeit und geringer Uebergangswiderstand zwischen den zu verbindenden Leitungsteilen. Ueber die mechanischen Anforderungen an die Leitungsverbindungen glaube ich nicht sprechen zu müssen, da diese in Art. 81 der BV enthalten sind. Im folgenden seien einige Verbinderarten genannt, wobei sie gleichzeitig auf Grund von Erfahrungen beurteilt werden sollen.

a) *Würgverbinder*. Die eingeholten Erkundigungen über diese Verbinderart sind verschieden. Einige Unternehmungen sind mit deren Verhalten zufrieden, während andere keine guten Erfahrungen damit gemacht haben, da an den Enden und im Innern dieser Verbinder Drahtbrüche und Korrosionserscheinungen festgestellt wurden. Diese Erscheinungen sind darauf zurückzuführen, dass bei der Montage der Würgverbinder oder Arldschens Rohre (wie sie auch genannt werden) keine Kontrolle über den Vorgang, der sich im Innern dieser Rohre beim Verdrehen abspielt, vorgenommen werden kann. Durch die gegenseitige Verdrehung der Leiter im Innern können diese überbeansprucht werden, was Drahtbrüche, Vergrösserung des Uebergangswiderstandes und Erwärmung zur Folge hat. Im weitern wird die Drahtoberfläche bei der Verdrehung verletzt, so dass das Auftreten der Korrosionserscheinungen beim Hinzukommen von Feuchtigkeit zu befürchten ist.

b) *Niet- und Schraubverbinder*. Bei den Niet- und Schraubverbinderen werden die zwei nebeneinander liegenden Leiter mit Hilfe von Schrauben oder Nieten in die Ausbuchtungen eines ovalen, wellenförmigen Rohrstückes aus Aluminium gedrängt. Da die Drähte durch den Pressvorgang nicht vollständig in die Ausbuchtungen getrieben werden können, bestehen gewisse Zweifel, ob solche Verbindungen solid sind.

c) *Kerbverbinder*. Die Kerbverbindung zweier Leiter besteht aus einem platt gedrückten Al-Rohr, in welches nach Einlegen der beiden zu verbindenden Leiter Kerben gedrückt werden. Dadurch werden die Leiter in einer wellenartigen Linie aneinander gelegt und von einem gemeinsamen Rohr umschlossen. Es ist verständlich, dass die Leiter beim Kerbprozess infolge des Rohres geschont werden; es besteht auch grössere Gewähr, dass

die Leiter das Rohr nach dem Kerbprozess kompakter ausfüllen als bei den beiden vorgenannten Verbinderarten. Die eingezogenen Erkundigungen über den Kerbverbinder lauten günstig; infolge der grossen Berührungsfläche der unmittelbar aneinander liegenden Leitungen und des hohen Kontaktdruckes wird der elektrische Uebergangswiderstand klein.

d) *Konusverbinder*. Ueber diese Verbinderart glaube ich nicht speziell sprechen zu müssen. Die Kontaktgabe mag infolge des satten Aufliegens des Konus an den Leitern gut sein, jedoch ist die Kontaktfläche relativ klein.

e) *Primodur- und Ervau-Klemmen* können in der vorliegenden Betrachtung gleichzeitig erwähnt werden. Der Klemmdruck und die Kontaktgabe erfolgt über eine relativ beschränkte Fläche. Nennenswerte Angaben über das Verhalten dieser Klemmen bei Verwendung in Netzen mit Al-Leitern sind uns nicht gemacht worden. Ich glaube, dass infolge der kleinen Kontaktfläche gewisse Schwierigkeiten auftreten und dass die Leiter in der Klemme u. U. geknickt werden können.

f) *Krallen- und Greifklemmen*. Diese Klemmen weisen gegenüber den letzterwähnten grössere Kontakt- und Klemmflächen auf. Dem Eindringen von Feuchtigkeit setzen sie jedoch fast keinen Widerstand entgegen; auch hier können infolge Oxydation Schwierigkeiten auftreten. Fettanstrich wird m. E. relativ rasch ausgewaschen.

Zusammenfassend ist über die Verbinder der Al-Leitungen zu sagen, dass das Verbindermaterial aus Aluminium bestehen soll und dass die Verbindungsstellen leicht eingefettet werden sollen. Die Einfettung soll das Auftreten von Oxydschichten an den Kontaktflächen verhindern; es soll deshalb bei der Wahl der zu verwendenden Klemmen darauf geachtet werden dass ihre Bauart ein allmähliches Auswaschen des Fettes verhindert. Da Aluminium, wenn es unter Druck gesetzt wird, allmählich diesem Drucke nachgibt und erst nach einiger Zeit den Beharrungszustand erreicht (Versuche haben ergeben, dass bis 50 Tage dazu vergehen können), sollen Verbinder, deren Klemmdruck mittels Schrauben oder Nieten erzeugt wird, nach einiger Zeit nachkontrolliert werden.

Die Cu/Al-Verbinder. Infolge der ungleichen Polarität der Einzelpotentiale von Cu/Al mit +0,35 V, bzw. — 1,3 V bildet sich ein elektrisches Element, wo Cu und Al über einen Elektrolyt in Verbindung geraten. Bei diesem Element bildet das Al den negativen Pol und geht deshalb in Lösung auf.

Eine dauerhafte Cu/Al-Verbindung muss deshalb so gebaut sein, dass sie entweder eine dauernd trockene Kontaktstelle zwischen den beiden Metallen aufweist, oder dass die während der Gebrauchszeit einer solchen Verbindung auftretenden Korrosionserscheinungen an eine Stelle des Verbinders konzentriert werden, wo sie keine schädigenden Einflüsse auf die mechanische Festigkeit und das elektrische Leitvermögen des Verbinders ausüben können. Bei der letzterwähnten Verbinderart handelt es sich somit darum, an passender Stelle

Aluminium anzubringen, das für die Zerstörung durch Korrosion vorgesehen ist. Die Lösung dieses Problems besteht darin, dass über den zu verbindenden Kupferleiter ein straff sitzendes Al-Rohr geschoben wird, dessen eventuell noch vorhandene Hohlräume mit Fett ausgefüllt werden. An der Klemm- und Kontaktstelle trifft somit Al auf Al, so dass an dieser Stelle keine Korrosion auftritt. Dass dabei das Klemmenmaterial aus Al besteht, ist selbstverständlich. Die Korrosionserscheinungen treten nun an beiden Enden dieses Rohres auf; es soll zu beiden Seiten der Klemmstelle abwärts gekrümmmt sein, damit das Wasser abfließen kann. Wenn dem Al-Rohr eine genügende Länge gegeben wird, so wird die Korrosion sehr langsam fortschreiten. Ob ein Lackanstrich der Rohrenden einen stark verzögerten Einfluss auf das Einsetzen der Korrosion ausübt, soll dahingestellt bleiben. Auf jeden Fall muss diese Art von Verbindung als günstig bezeichnet werden; sie bedingt einzig eine periodische Kontrolle über das Fortschreiten der Korrosion an den Enden des Al-Rohres sowie ein sorgfältiges Festziehen der Klemmen, damit das Rohr an der Klemmstelle keine Risse erhält.

Die ersterwähnte Art von Verbinder: dauernd trockene Kontaktstelle zwischen Cu und Al, wird durch das *Cupal-Blech* erfüllt. Es ist ein Doppel-Metallblech, dessen eine Seite aus Cu und die andere aus Al besteht. Dieses Blech kann in verschiedenen Klemmenarten verwendet werden. Bei der sog. *Wirsitz-Klemme* erfolgt der Stromübergang in einem Cupal-Blech, das mit einem isolierten Preßstoff so ummantelt wird, dass nur die aus Cu bestehende Preßstelle für den Cu-Leiter und die aus Al bestehende Preßstelle für den Al-Leiter frei ist. Der Presskörper gibt dabei dem Cupal-Streifen die nötige Festigkeit, der Pressdruck wird durch eine Bügelschraube erzeugt. Ausser diesen beiden Verbinderarten basieren sämtliche heute bekannten Al/Cu-Verbindungen auf der Verlegung der Verbindungsflächen in das Innere der Klemmen, um sie den Einflüssen der Feuchtigkeit zu entziehen. In ihrem praktischen Aufbau weichen die einzelnen Klemmenausführungen wesentlich voneinander ab. Bei den verschiedenen Schellenklemmen könnte als Nachteil der ein wenig komplizierte Aufbau genannt werden, weil bei den Schrauben, die gewöhnlich aus Stahl oder Siliziumbronze bestehen, Buchsen aus Cupal-Blech eingesetzt werden müssen. Als weiteres Beispiel der Verbinder mit trockenen Kontaktstellen ist der *Alcu-Stab* zu nennen. Er besteht im Grunde aus einem Cu- und einem Al-Rundstab, die untereinander verschraubt werden. Die äussere Berührungsstelle der beiden Metalle ist durch eine Isolation abgedichtet. Infolge des sehr hohen inneren Widerstandes des in diesem Falle durch Feuchtigkeit gebildeten Elementes werden Korrosionserscheinungen praktisch ausbleiben.

Aus den Bemerkungen über Leiterbefestigung und Verbindungen ersieht man, dass ausser der Eigenart des Al die Sorgfalt des Monteurpersonals eine grosse Rolle spielt. Ausser dem in den Jahren

1914—18 noch teilweise unbekannten Verhalten von Aluminium im Freileitungsbau ist es zur Hauptache diesem Umstand zuzuschreiben, dass damals ungünstige Erfahrungen gemacht wurden. In einem im Jahre 1934 von einer deutschen Elektrizitätsunternehmung veröffentlichten Bericht wird z. B. erwähnt, dass nachdem auf Al-Leitungen ungewöhnlich viele Störungen aufgetreten waren, die Monteure persönlich für die Ausführung von Verbindungsstellen verantwortlich gemacht wurden, und dass nach Durchführung dieser Massnahme eine wesentliche Besserung eintrat. Soviel uns bekannt ist, führt zurzeit die Aluminiumindustrie AG. Schulungskurse für Monteurpersonal durch. Wir hoffen, dass diese Kurse das beabsichtigte Resultat zeitigen werden.

4. Die Verwendung des Aluminiums in den Hausinstallationen.

Im Frühjahr 1941 wurden die Technischen Prüfanstalten des SEV von der Hausinstallationskommission beauftragt, die sich durch eine eventuelle Verwendung von Aluminium in den Hausinstallationen ergebenden Fragen abzuklären, um bei einem allfälligen Verbot der Verwendung von Kupferleitern in Hausinstallationen sofort die nötigen Massnahmen treffen zu können. Von der Materialprüfanstalt des SEV wurden im Mai 1941 Versuche über das bei Klemmschrauben nötige Drehmoment in Abhängigkeit von der Temperatur vorgenommen; es wurde auch der sich bei Verwendung von Al-Leitern einstellende Spannungsabfall untersucht. Die Versuche ergaben, dass das nötige Drehmoment für ein sattes Anziehen der Klemmschrauben bei steigender Temperatur infolge der geringen Elastizität und des etwa 40 % grösseren Temperaturausdehnungskoeffizienten kleiner wird. Der Spannungsabfall zeigte dabei geringe Schwankungen in steigender und fallender Richtung. Im weiteren konnte kein Unterschied im Spannungsabfall bei geklemmten Drähten, die vorher geschabt und mit Vaselin eingefettet wurden, gegenüber solchen, die nicht geschabt und eingefettet waren, festgestellt werden.

Die Untersuchungen des Starkstrominspektors ergaben, dass infolge der geringen Leitfähigkeit des Aluminiums (der leitwertgleiche Al-Querschnitt muss ca. 1,6mal grösser sein als derjenige des Cu) und infolge des geringen spezifischen Gewichtes (ca. 30,4 % von Cu) die in § 129 der Hausinstallationsvorschriften aufgestellte Tabelle über Belastungsstromstärken für Al-Leiter so geändert werden muss, dass für eine bestimmte Nennstromstärke einer Sicherung für Kupferleiter der nächst grössere Querschnitt des Al-Leiters angewendet werden muss. Für die

Verwendung von Aluminium bei den verschiedenen Leiterklassen

wurden vom Starkstrominspektorat der Hausinstallationskommission folgende Anträge gestellt:

Installationsleiter: Für Gummischlauchleiter soll Aluminium zugelassen werden.

Bleikabel: Für Bleikabel sollte Aluminium grundsätzlich zugelassen werden. Da bei diesen die Querschnitte von 1...16 mm² genormt sind, sollte für Bleikabel mit Aluminium infolge der Möglichkeit des Abscherens kleiner Querschnitte in Klemmen usw. ein Minimalquerschnitt festgelegt werden; das Starkstrominspektorat schlug 2,5 mm² vor.

Fassungsadern: Da es sich hier um steife oder flexible genormte Ein- oder Zweileiterdrähte oder Litzen von 0,75 bis 1,5 mm² handelt, sollte mit Rücksicht auf die geringen Querschnitte Aluminium nicht verwendet werden.

Bewegliche Mehrfachleiter: Versuche der Materialprüfanstalt des SEV sowie Erfahrungen im Bahnbetrieb haben gezeigt, dass in solchen Leitern Litzenbrüche auftreten. Da über das Verhalten der Litzendrähte mit kleineren Querschnitten aus Aluminium bei uns noch keine Erfahrungen vorlagen und anderseits ausländische Erfahrungen ungünstig lauteten, soll Aluminium, obgleich Drähte bis 0,07 mm Durchmesser ohne Schwierigkeit hergestellt werden können, nicht angewendet werden.

Zur Abgrenzung des Anwendungsgebietes der Al-Leiter stellte sich das Starkstrominspektorat auf folgenden Standpunkt:

Installationsleiter können als Typ GS und GSV für Rohrmontage (Auf- und Unterputz) sowie bei Verwendung geeigneter Isolierkörper offen in trockenen Räumen verwendet werden.

Bleikabel mit Gummi- oder Papierisolation sollten in feuchten, nassen und durchtränkten Räumen zugelassen werden unter der Voraussetzung, dass die dazu verwendete Zubehör, wie Endverschlüsse, Verteildosen, Schalter, Armaturen usw. unter allen Umständen sichere Gewähr gegen das Eindringen von Feuchtigkeit bietet.

Diese Vorschläge wurden u. a. von der Hausinstallationskommission behandelt und gutgeheissen; sie wurden dann als Vorschriftenänderung von der Verwaltungskommission des SEV und VSE genehmigt und in Kraft gesetzt. Die heutige Situation kann somit kurz folgendermassen umschrieben werden:

Al-Leiter mit einer Reinheit von 99,3...99,5 %, einer mittlern spezifischen Leitfähigkeit von 0,03 Ohm·mm²/m und einer Bruchfestigkeit von 13...17 kg/mm² sind bis zu einem Mindestquerschnitt von 2,5 mm² in Form von festen Drähten, steifen Seilen und Kabeln für feste Verlegung in Hausinstallationen zulässig. Mit Gummi oder mit thermoplastischen Massen isolierte Al-Leiter können, wie Kupferleiter, in trockenen und zeitweilig feuchten Räumen installiert werden. Gummiisolierte Al-Leiter, Typ GS, GSC, GSV und GSVC, sowie Gummi- oder Papierkabel mit Al-Leitern sind in feuchten, nassen und durchtränkten Räumen nur zulässig, wenn die Anschlussobjekte und weitere Zubehör, wie Verbindungsboxen, derart beschaffen sind, dass die Klemmstellen und Leiter gegen Korrosion wirksam geschützt sind. Die in § 129 der HV aufgestellte Leitertabelle über Belastungsstromstärken für Kupferleiter ist für Aluminiumleiter so anzuwenden, dass für eine bestimmte Nennstromstärke einer Sicherung für Kupferleiter der nächst grössere Querschnitt für Aluminiumleiter angenommen werden muss.

Bezüglich des genormten Installationsmaterials für feste Montage bis 60 A ist zu erwähnen, dass solches nach SEV-Normalien bei einem bestimmten Nennquerschnitt den Anschluss des nächst grösseren Querschnittes gestatten muss; d. h. ein genormter Apparat für eine Nennstromstärke von 6 A muss

ausser dem Anschluss eines Leiters von 1 mm² auch den Anschluss eines solchen von 1,5 mm² Querschnitt ermöglichen. Untersuchungen der Materialprüfanstalt haben gezeigt, dass die meisten Schalter, Steck- und Verbindungsboxen für 6 A den Anschluss von Leitern mit 2,5 mm² Querschnitt zulassen, so dass durch die Beschränkung des Mindestquerschnittes der Leiter auf 2,5 mm² in der Praxis keine Schwierigkeiten entstehen sollten.

Die Verarbeitung und Montage der Al-Leiter in Hausinstallationen.

Al-Leiter sind also in trockenen, zeitweilig feuchten, nassen und durchtränkten Räumen in bestimmtem Aufbau und z. T. unter gewissen Voraussetzungen zugelassen. Diese Zulassung erfolgte als eine kriegsbedingte Massnahme und nach Überwindung verschiedener Widerstände. Ohne die Gefahr der Korrosion übertreiben zu wollen, haben wir gewisse Bedenken, ob sich Al-Leiter in nassen und durchtränkten Räumen und selbst in gewissen Fällen in teilweise feuchten Räumen bewähren werden, weil die nötige Zubehör zu fehlen scheint, um z. B. Klemmstellen dauernd wirksam gegen Korrosion zu schützen. Wir empfehlen deshalb, die Al-Leiter nur in trockenen Räumen zu verwenden und für die andern Räume auf die noch vorhandenen Vorräte an Kupferdrähten zu greifen; im übrigen besteht eine gewisse Aussicht, dass die Querschnitte von 1 und 1,5 mm² weiterhin in Kupfer fabriziert werden können. Weitergehende Ratsschläge für die Installation von Al-Drähten können wir zurzeit keine geben, indem zuerst Erfahrungen mit solchen Installationen gesammelt werden müssen. Wir können, wie schon in den vorherigen Ausführungen über Freileitungen lediglich nochmals feststellen, dass nur sorgfältige und gewissenhafte Arbeit das zu erwartende Resultat zeitigen wird.

Diskussion.

Der Vorsitzende: Ich danke Herrn Zaruski für seinen überraushenden Vortrag. Er hat uns in vorbildlicher Weise auf alle Schwierigkeiten der Anwendung von Aluminium aufmerksam gemacht. Ich nehme an, dass die abschreckenden Beispiele, die Herr Zaruski vorgezeigt hat, Sie veranlassen werden, in der Zukunft Fehler zu vermeiden.

Ich bin leider auf dem Gebiet des Leitungsbau und der Hausinstallationen ein vollständiger Laie, so dass es mir nicht leicht fällt, die Diskussion darüber zu führen. Ich habe aber die Überzeugung, dass Ihnen Herr Zaruski soviel Material in die Hand gegeben hat, dass Sie trotzdem von seinem Referat und seiner Demonstration profitieren werden. Wollen Sie bitte alle Ihre Erfahrungen, die Sie fortan machen werden, dem Starkstrominspektorat zukommen lassen, damit dieses seinerseits die einzelnen Erfahrungen Ihnen aller wieder zur Verfügung stellen kann im Interesse der Elektrizitätsversorgung.

Es ist noch ein Punkt, den wir sehr beachten müssen; es sind die Vorschriften, die unter Umständen der Einführung des Aluminiums und des verwandten Materials im Wege stehen. Wenn solche bestehen, bitte sagen Sie es uns. Diese Vorschriften sind ja von uns selbst gemacht worden, und wir sind immer nur zu gerne geneigt, Grenzflöcke um uns herum zu stecken. Was wir einmal als schlecht erfahren haben, braucht nicht immer schlecht zu sein, sondern wir können es ja verbessern.

Herr W. Beusch, Landis & Gyr A.-G., Zug: Schon im letzten Weltkrieg spielte die Material-Ersatzfrage eine wichtige Rolle. Sie war aber noch nicht so schlimm, wie sie jetzt ist und wie sie wahrscheinlich noch werden wird.

Die Verwendung von Aluminium im Zählerbau fand bereits vor dem ersten Weltkrieg statt. Die Triebsscheiben und das Zählergehäuseoberteil wurden von der Firma Landis & Gyr schon sehr frühzeitig aus Rein-Aluminium hergestellt. Dieses Metall hat sich bei vielen Millionen Zählern ganz ausgezeichnet bewährt.

Bereits 1931, also vor mehr als 10 Jahren, hat unsere Materialprüfstelle eine Anzahl Zähler hergestellt, in denen Aluminium und dessen Legierungen weitgehend verwendet wurden. Zwei dieser Versuchszähler habe ich mitgebracht, sie können nachher besichtigt werden. Der eine Zähler war zumeist in einem normalen Lagerraum aufbewahrt. Der andere Apparat wurde während 8 Jahren zeitweise in einem chemischen Laboratorium den Dämpfen ausgesetzt und zeitweise im Freien der Witterung. Es war für uns außerordentlich wertvoll, vor mehr als einem Jahr auf diese Versuche zurückgreifen zu können.

Wir müssen in erster Linie Messing sparen und ersetzen. Hierzu eignet sich Antikorodal und Avional ausgezeichnet. Schrauben, Distanzstücke und andere kleine Konstruktionselemente haben wir mit Erfolg aus dieser Legierung hergestellt. Hier ist wohl gar kein Risiko vorhanden. Viel bedeutungsvoller ist die Anwendung von Aluminium als Stromleiter. Die Leitfähigkeit des Aluminiums ist ja sehr gut, aber die Leitungsverbindungen sind nicht ganz einfach. Unsere Anschlussklemmen haben Einlagen aus Messing. Hierzu sind recht bedeutende Mengen nötig. Es lag nahe, zu versuchen, diese Einlagen aus Antikorodal herzustellen. Vor ca. 1 Jahr begannen wir mit ausführlichen Versuchen. Die Versuche wurden nach den Umstell-Vorschriften des VDE durchgeführt. Verschiedene Literatur mahnte zur Vorsicht. Es darf aber gesagt werden, dass die Ergebnisse über Erwarten gut ausfielen. Die Spannungsabfälle an den Klemmen waren am Ende der Versuche immer noch kleiner als die Spannungsabfälle an den bisherigen Klemmen mit Messing-Einlagen. Die Anschlussdrähte waren bei diesen Versuchen aus Kupfer.

Wie verhalten sich diese Antikorodal-Klemmen, wenn die Stromspule aus Aluminiumdraht hergestellt wird, wenn also der Rein-Aluminiumdraht der Stromspule mit der Klemme aus Antikorodal verbunden werden muss? Diese Versuche, die sich über $\frac{1}{2}$ Jahr erstreckten, haben gezeigt, dass, wenn die beiden zu verbindenden Teile vor dem Zusammenschluss gereinigt, dann sofort mit Vaseline eingefettet und nachher unter Zwischenlage einer federnden Unterlagscheibe fest miteinander verschraubt werden, ein sehr gleichmässiger Uebergangswiderstand gesichert sein sollte.

Wohl das schwierigste Problem ist die Verbindung der äusseren Anschlussdrähte aus Aluminium mit der Büchsenklemme, sei nun diese aus Messing oder aus Antikorodal.

Werden Aluminiumdrähte durch Druckschrauben unter einen gewissen Druck gesetzt, so gibt das Material allmählich nach und der Kontakt wird schlecht. Sofern eine federnde Unterlagscheibe verwendet werden kann, ist das Problem, wie bei der Verbindung der Stromspule, mit der Klemme leicht lösbar. Bei einer reinen Druckschraube ist die Lösung viel schwieriger. Namentlich in der deutschen Patent- und Gebrauchsmuster-Literatur findet man sehr viele Vorschläge für zuverlässige Verbindungen von Aluminiumdrähten. Wir setzten uns das Ziel, eine Schraube zu entwickeln, die gegen eine vorhandene, normale ausgetauscht werden kann. Eine solche Schraube liegt nun in einer fabrikationsreifen Ausführung vor (Fig. 1).

Zusammenfassend dürfen wir feststellen, dass nach unserer Auffassung Klemmen aus Antikorodal und Stromspulen aus Rein-Aluminiumdraht im Zählerbau verwendet werden dürfen. Bevor die Verbindungen vorgenommen werden, muss die Oberfläche

gereinigt und mit Vaseline eingefettet werden. Bei Aluminiumdrähten sind federnde Zwischenglieder einzuführen, damit beim Nachgeben des Materials der Druck nur unwesentlich abnimmt.

Herr W. Howald, Bank für elektrische Unternehmungen, Zürich: Ueber Erfahrungen mit Aluminium in den USA kann ich Ihnen von einer praktischen Beobachtung berichten, die ich vor 15 Jahren machte. Wir hatten damals im Mittelwesten eine zwölfjährige 11-kV-Regelleitung im Umbau auf 60-kV-Weitspannleitung mit Gittermasten. Diese Gegend weist Temperaturdifferenzen von 60...70° C zwischen Sommer und Winter auf und ist starken Winden und Regen und beträchtlicher Glatteisbildung ausgesetzt. Die Leitung ist somit mechanisch stark beansprucht.

Als Leiter diente ein Reinaluminiumseil von etwa 200 mm² Querschnitt. Das Mastbild war normal und mit OB-Stützisolatoren ausgerüstet. An den Befestigungspunkten wurde das Seil sorgfältig mit Aluminiumband umwickelt und darüber mit Aluminiumdraht der Böglbund ausgeführt. Diese Montage hat sich bewährt. Als Verbinder dienten die bereits erwähnten Würgverbinder, die zu keinen Klagen Anlass gaben.

Wegen der beim normalen Mastbild unzulässig grossen Schnellhöhe des Aluminiumseiles war die Leitung sehr störungsanfällig und musste recht oft geflickt werden. Auch hierfür eigneten sich die Würgverbinder, die mit Fett behandelt wurden, gut, da sie eine leichte Montage im Betrieb erlauben.

Der Umbau erfolgte, um die Störungshäufigkeit zu mindern und gleichzeitig die Uebertragungsleistung zu erhöhen. Hierbei wurden die Seile wenn immer möglich nicht zerschnitten, sondern sorgfältig auf die neuen Gittermasten umgelegt. Wir haben nach dem Umbau die Leitung nachgemessen und trotz der vielen alten Verbindungsstellen einen Gleichstromwiderstand gefunden, der nur um einige Promille (vielleicht 4...7 %) über dem theoretischen Aluminiumwert lag. Dieses Resultat dürfte die Zweckmässigkeit der Würgverbinder beweisen.

Die Montage der Verbinder erfolgte auf einer Vorrichtung ähnlich einer Drehbank. Das eine Ende wurde fest eingespannt, das andere an einer Art Drehknopf mit Kurbel befestigt. Dadurch ergab sich eine geradlinige, glatte Torsion auch bei grossen Querschnitten.

In neuerer Zeit sind die Kerbverbinder aufgekommen. Diese bestehen ebenfalls in einem Flachrohr, in das die beiden Seilenden in entgegengesetzter Richtung nebeneinander liegend eingeführt werden. Auch hier werden bei Aluminium-Stahlseilen die Stahlseele und der Aluminiummantel nicht separat abgespannt. Nachteile haben sich meines Wissens im allgemeinen kaum gezeigt. Die Verkerbung wird in einfacher Weise mechanisch ausgeführt. Ich habe hierfür einmal eine Vorrichtung gesehen, die ähnlich einer Profilrichtmaschine aus drei Rollen bestand, wovon zwei auf der einen Seite, die dritte in der Mitte auf der anderen Seite angeordnet waren. Diese Rollen hatten Zähne, die den beabsichtigten Einkerbungen entsprachen. Beim Durchwalzen des Verbinder entstanden damit in gleichmässigen Abständen und mit immer gleichem Druck die Kerben.

Später ist man teilweise zu den Fließverbbindern übergegangen. Hier wird bei Aluminiumstahlseilen jeder Teil für sich abgespannt. Zuerst wird über beide freigelegten Stahlseilen eine Stahlhülse übergeschoben und so stark gepresst, dass sie mit dem Material der Stahlseele zusammenfließt. Gleich wird mit dem Aluminiummantel verfahren, wobei die Hülse natürlich aus Aluminium besteht. Das Material wird in diesem Fall bis über die Fließgrenze beansprucht. Die Seilenden stossen im Verbinder aneinander und liegen nicht nebeneinander wie in den zwei ersterwähnten Verbinder. Der Stromdurchgang muss also über die Mantelhülse erfolgen.

Weniger bewährt haben sich Verbinder, bei denen die Stahlseile in einem Konus abgespannt wurden und wo auch die Mantelhülse mehrteilig war und verschraubt werden musste. Die Montage war teuer, umständlich und nicht für das Feld bestimmt. Sie gab auch die Möglichkeit von Wassereindringen in die Muffen mit nachfolgendem Rosten der Stahlseele und Korrosion des Aluminiummantels.

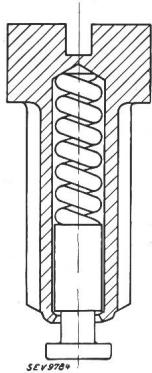


Fig. 1.
Klemmschraube
mit Federung.

Alle solchen Ausführungen, die montagetechnisch auf dem Bau grosse Anforderungen stellen und viele Arbeitsstunden benötigen, kann man drüben nicht brauchen und so geht man eher wieder zu den alten bewährten Konstruktionen zurück.

Der Vorsitzende dankt den Herren Diskussionsrednern für ihre Beiträge und erteilt das Wort Herrn Oberingenieur M. Preiswerk von der Aluminium-Industrie A.-G., Neuhausen-Ouchy:

Technologisches über Aluminium für Freileitungen.

Referat, gehalten an der Aluminiumtagung des SEV, am 10. Oktober 1941, in Olten,
von M. Preiswerk, Neuhausen-Ouchy.

621.315.53 : 621.315.1

Die für Freileitungen wesentlichen Eigenschaften von Al und Aldrey werden erwähnt und die zweckmässige Anwendung dieser Werkstoffe wird gestreift. Al und Aldrey eignen sich hervorragend für Freileitungen, ferner für Schaltanlagen, z.T. auch für Wicklungen. Wenig günstig ist die Verwendung in Hausinstallationen und ungeeignet ist Al bei Schleifkontakte (Kollektoren, Fahrleitungen).

Le rapporteur indique quelles sont les propriétés essentielles de l'aluminium et de l'aldrey utilisés pour les lignes aériennes et de quelle façon ces deux matériaux peuvent être le mieux employés. L'aluminium et l'aldrey sont parfaitement appropriés aux lignes aériennes, ainsi qu'aux installations de couplage et pour certains bobinages. Leur emploi dans les installations intérieures est moins avantageux. L'aluminium ne peut pas servir aux contacts glissants (collecteurs, lignes de contact).

Aluminium wird in der Natur nirgends in reinem Zustand angetroffen. Es findet sich in der Erdkruste sehr häufig, aber nur als Oxyd, der sogenannten Tonerde. Seine Existenz als reines Metall verdankt es der Elektrizität. Nur der elektrische Strom ist stark genug, das Aluminium von dem mit ihm verbundenen Sauerstoff zu trennen. Es möchte nun als Kind der Elektrizität dieser auch seine Dienste anbieten, zu denen es auf Grund seiner Eigenschaften unbedingt gut geeignet ist.

Wie interessant diese Anwendung sein kann, werden diejenigen Anwesenden beurteilen können, welche bei der Jubiläumsdemonstration von Brown Boveri die Vorführungen und die Erklärungen von Herrn Oberingenieur Streiff über die Verwendung von Aluminium im Elektromaschinenbau verfolgten. Durch genaues Studium der physikalischen und mechanischen Eigenschaften fand die Industrie Möglichkeiten, das Kupfer nicht nur technisch und wirtschaftlich gleichwertig, sondern teilweise mit Vorteil durch Aluminium zu ersetzen. Um auch Ihnen diese Arbeit, an die Sie gern oder ungern herantreten müssen, zu erleichtern, habe ich die Aufgabe übernommen, Ihnen etwas über die Technologie des Aluminiums zu berichten.

Für Freileitungen kommen hartgezogene Drähte als Einzeldraht oder als Seil aus Reinaluminium oder aus Aldrey in Frage. Das in der Elektrotechnik angewandte *Reinaluminium* hat heute fast ausschliesslich eine Reinheit von 99,5 %. Diese sehr hohe Reinheit ergibt eine optimale Leitfähigkeit von mindestens 62 % des Elektrolytkupferdrahtes und daneben sehr gute Wetterbeständigkeit. Die Zerreissfestigkeit nimmt mit wachsendem Drahtdurchmesser ab; sie beträgt ca. 18 kg/mm² bei Durchmessern unter 3 mm, während die spezifische Leitfähigkeit konstant bleibt. Die Bruchdehnung liegt zwischen 2...4 %, die Streckgrenze bei 80...90 % der Zerreissfestigkeit, Elastizitätsmodul bei 6000 kg/mm², der Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes bei 0,004 wie bei Kupfer, der Wärmeausdehnungskoeffizient mit 0,00024 40 % über dem des Kupfers. Das Aluminium für Freileitungen ist durch die SEV-Publikation Nr. 157, Regeln für Aluminium, genormt.

Das Aldrey wurde entwickelt, weil für viele Fälle die Festigkeitseigenschaften des Reinaluminiums

nicht genügen. Aldrey ist eine Al-Legierung, die neben 98,5 % Al geringe Zusätze von Silizium und Magnesium enthält (0,5...0,6 % Si und 0,4...0,5 % Mg). Der legierte Barren wird durch Walzen oder Pressen in Draht von 15...20 mm Ø verformt, dann gegläht (520°) und abgeschreckt, hernach auf die gewünschte Dicke heruntergezogen und zuletzt während 6...8 Stunden bei 165° angelassen. Die erste thermische Behandlung bezweckt die Lösung des Legierungszusatzes im Aluminium und das Abschrecken die rasche Aldrey-Mischkristallbildung, damit der Legierungsbestandteil nicht wieder auskristallisiert und sich so als Verunreinigung zwischen die Al-Kristalle lagert. Dies ist für die Korrosionsbeständigkeit des Aldrey ausschlaggebend. Die starke Querschnittsabnahme durch Ziehen um mindestens 95 % ergibt durch die Knetwirkung ein homogenes, dichtes und damit widerstandsfähiges Material. Das Anlassen zuletzt entspricht einer künstlichen Alterung, so dass sich später die Eigenschaften durch Erwärmen nicht mehr ändern. Auch wird erst dadurch die verhältnismässig hohe Leitfähigkeit erreicht. Die hier beschriebenen Bearbeitungsvorschriften müssen sehr sorgfältig durchgeführt werden; deshalb wird bei der Fabrikation auch jeder einzelne Draht geprüft. Aldrey ist also nicht nur eine Legierung, sondern ein Drahtmaterial, das alle hier beschriebenen Prozesse durchgemacht hat. Seine Festigkeit ist fast doppelt so hoch als diejenige von Reinaluminium, nämlich 30...36 kg/mm², die Dehnung liegt mit 5...9 % höher als für jedes andere Leitungsmaterial, die Streckgrenze ist nur 10...15 % unter der Bruchfestigkeit, der Elastizitätsmodul liegt bei 6500 kg/mm² und die Leitfähigkeit mit 30...32,5 bei etwa 56 % derjenigen des Kupfers. Die übrigen Eigenschaften entsprechen denjenigen des Reinaluminiums. In Tabelle I sind die wichtigsten physikalischen und mechanischen Eigenschaften einiger Leitermaterialien zusammengestellt.

Besonders interessiert die *Witterungsbeständigkeit* dieser beiden Materialien, oder wie man sie auch nennt, die Korrosionsfestigkeit. Unter diesem schrecklichen Wort hat man bei weitem nichts so schlimmes zu verstehen wie unter Rost bei Eisen. Aluminium und Aldrey sind weitgehend witterungsbeständig. Sie werden durch Feuchtigkeit nur ange-