

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

Artikel: Technologisches über Aluminium für Freileitungen
Autor: Preiswerk, M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060048>

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: 03.04.2025

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

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 Schleifkontakten (Kollektoren, Fahrleitungen).

Le rapporteur indique quelles sont les propriétés essentielles de l'aluminium et de l'alloy utilisés pour les lignes aériennes et de quelle façon ces deux matériaux peuvent être le mieux employés. L'aluminium et l'alloy 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 Zerreiissfestigkeit 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 Zerreiissfestigkeit, 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 \varnothing 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 auskristallisieren kann und sich so als Verunreinigung zwischen die Al-Kristalle lagert. Dies ist für die Korrosionsbeständigkeit des Aldrey ausschlaggebend. Die starke Querschnittabnahme 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-

Physikalische und mechanische Eigenschaften von Leitermaterial.

Tabelle I.

| Eigenschaft | Einheit | Aldrey | Rein-Alum. 99,5 | Kupfer | Bronze | verzinkter Eisendraht |
|---|----------------------|----------|--------------------|----------|----------|--------------------------|
| Zugfestigkeit | kg/mm ² | 30...36 | 16,5...18,5 | 40...45 | 60 | 45...50 |
| Dehnung | % | 5...9 | 2...4 | 1...3 | 1...2 | 5 |
| Streckgrenze | kg/mm ² | 27...31 | 15...17 | 35...40 | 36 | 30...35 |
| E-Grenze | kg/mm ² | 19...22 | 8...10 | 20...25 | — | — |
| Elastizitätsmodul | kg/mm ² | 6500 | 6000 | 11000 | 12000 | 19000 |
| El. Leitungsfähigkeit 20°C | m/Ω mm ² | 30,75 | 35,3 | 56,26 | 50 | 7 |
| Spez. Widerstand 20°C | Ω mm ² /m | 0,0325 | 0,0284 | 0,01777 | 0,02 | 0,143 |
| Temp.-koeff. des Widerstandes | | 0,0036 | 0,004 | 0,0038 | 0,004 | 0,005 |
| Spezifisches Gewicht | | 2,7 | 2,7 | 8,9 | 8,9 | 7,85 |
| Wärmeausdehnungskoeffizient | | 0,000023 | 0,000024 | 0,000017 | 0,000018 | 0,000012 |

griffen, wenn sie mit einem andern Stoff, dessen elektrochemisches Potential wesentlich verschieden und positiv gegenüber Aluminium ist, in Berührung kommen. Besonders ungünstig ist in dieser Beziehung Kupfer. Bei der Verarbeitung ist deshalb Sorge zu tragen, dass weder in der Legierung, noch auf der Oberfläche des Drahtes Kupfer vorkommen kann. Die Drahtwerke, die auch Kupfer verarbeiten, wissen, dass sie bei der Verarbeitung des Aluminiums sehr sauber vorgehen müssen, um das Aufwalzen oder Aufziehen von Kupferflittern zu vermeiden. Wo der Kontakt mit andern Metallen (Zink und Cadmium ist unschädlich) nötig ist, müssen besondere Konstruktionen verwendet werden, die in einfachen Formen entwickelt sind.

Elektrochemische Potentiale verschiedener Metalle und Legierungen gegen Reinaluminium.

Tabelle II.

| Metalle | Potential gegen Reinaluminium 99,3 in 2%iger luftgesättigter NaCl-Lösung bei 18...20° in mV. |
|--|--|
| Magnesium | etwa — 850 |
| Zink | etwa — 300 |
| G Al ¹⁾ -Zn-Cu | — 150...— 100 |
| Al-Mg und G Al-Mg | — 100...— 50 |
| Al-Mg-Mn und G Al-Mg-Mn | — 60... 0 |
| Al-Mg-Si und G Al-Mg-Si | — 20...+ 10 |
| Cadmium | — 20...+ 10 |
| Reinaluminium 99,3 % | 0 |
| Al-Si und G Al-Si | + 10...+ 50 |
| Al-Cu und G Al-Cu | etwa + 100 |
| Al-Cu-Ni und G Al-Cu-Ni | etwa + 100 |
| Al-Cu-Mg (warmgehärtet) | etwa + 100 |
| Al-Cu-Mg (bei 20° ausgelagert) | etwa + 150 |
| Eisen, SM-Stahl | + 50...+ 150 |
| Blei | etwa + 250 |
| Zinn | etwa + 300 |
| Messing (50 % Zn) | etwa + 400 |
| Nickel | etwa + 480 |
| Messing (30 % Zn) | etwa + 500 |
| Kupfer | etwa + 500 |
| Silber | + 700...+ 800 |
| Quecksilber | etwa + 750 |
| V2A-Stahl | etwa + 850 |
| Gold | etwa + 1000 |
| Platin | + 950...+ 1100 |

¹⁾ G Al bezeichnet giessbare Al-Legierung.

Eine Zusammenstellung der elektrochemischen Potentiale einiger Metalle und Legierungen gegen Reinaluminium zeigt Tabelle II. Man sieht daraus, dass z. B. Kupfer gegen Aluminium in einem wä-

serigen Elektrolyten eine positive Spannung von 0,5 V annimmt, während Zink und Cadmium nur kleine, negative Spannungen bilden. Gefährdet ist aber nur der negative Pol eines solchen Elementes.

Fig. 1 stellt eine korrosionsgeschützte Abzweigung eines Kupferleiters von einem Aluminiumleiter dar. Ueber den Cu-Leiter ist ein weiches Al-Röhrchen geschoben, das vorteilhaft vorher einge-

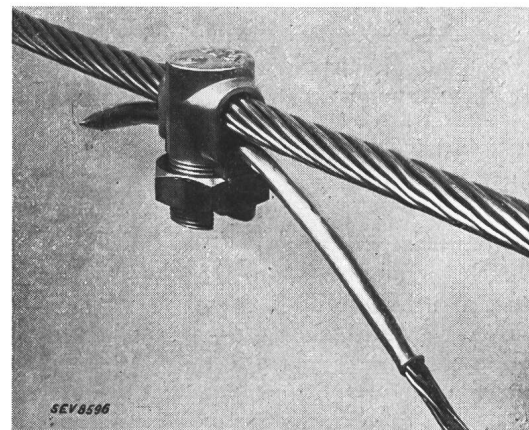


Fig. 1. Korrosionsfeste Cu-Al-Verbindung mit weichem Al-Röhrchen.

fettet wird. Das dabei verwendete Fett soll säurefrei sein. Als Klemme wird irgendeine im Handel erhältliche bewährte Konstruktion aus Anticorodal oder aus gut verzinktem Eisen benützt. Diese Methode zur Herstellung korrosionsgeschützter Verbindungen ist besonders einfach und gut. Es gibt im Handel auch andere Klemmen für Uebergang von Al auf Cu, die gut, aber meistens teurer sind.

Im weitem interessiert den Leitungsbauer die zulässige maximale Belastbarkeit der Leiter. Trotzdem die Leitungen meistens auf Spannungsabfall berechnet werden, muss sie doch bekannt sein. Leitwertgleiche Leiter aus Aluminium haben eine rund 25 % und aus Aldrey etwa 35 % grössere Oberfläche als Kupferleiter. Dementsprechend kann für gleiche Erwärmung die Stromdichte bei Al etwa 5 % und bei Aldrey etwa 8 % höher gehalten werden. Bei lange andauernden hohen Temperaturen nimmt die Festigkeit der hartgezogenen Metalle ab. Al und Aldrey verhalten sich dabei aber nicht ungünstiger als das altbewährte Kupfer.

Diese Verhältnisse zeigt Fig. 2. Nimmt man eine maximal zulässige Temperatur von 80° C, entsprechend einer Ubertemperatur von 40° C an, so darf eine Aldreyleitung von ca. 200 mm² Querschnitt mit etwa 2 A/mm² belastet werden. Die elektrische Belastbarkeit von Kupfer, Reinaluminium und Aldrey für verschiedene Seilquerschnitte ist Fig. 3 zu entnehmen.

Auch kurzfristige Stromerwärmungen, die bei *Kurzschlüssen und Erdschlüssen* auftreten, können eine Entfestigung des Materials zur Folge haben. Aber auch hier ist Kupfer nicht überlegen. Eine Stromstärke, welche bei einem Kupferseil eine Entfestigung von 40 % hervorruft, bewirkt beim leitwertgleichen Aldreyseil nur etwa 15 % Entfestigung. Dies ist auf die künstliche Alterung bei der Fabrikation zurückzuführen.

Man nimmt oft an, dass Al und Aldrey der direkten *Einwirkung elektrischer Lichtbögen* gegenüber weniger widerstandsfähig seien als Kupfer, dessen Schmelzpunkt höher ist. Theoretisch und experimentell lässt sich nachweisen, dass es etwa die gleiche Wärmemenge braucht, um gleich lange Stücke Kupferleiter und widerstandsgleiche Aluminiumleiter zu schmelzen. Ein Lichtbogen gleicher Intensität richtet also bei Kupfer und bei Aluminium praktisch gleichen Schaden an.

Ich habe mich bei meinen Ausführungen an das Gebiet des Leitungsbaues gehalten, weil es für die Verwendung des Aluminiums und die Einsparung von Kupfer das weitaus interessanteste ist. Im

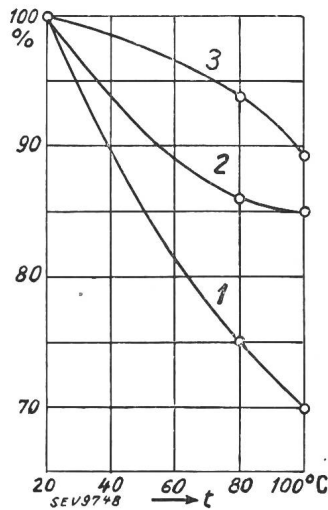


Fig. 2. Rückgang der Festigkeit von Cu (1), Al (2) und Aldrey (3) bei Erwärmung während 180 Tagen. Ausgangsfestigkeit = 100 %.

Leitungsbau kann Aluminium bestimmt gleich gute Dienste leisten wie das Kupfer, wenn man sich einmal die wenigen Massnahmen, die bei diesem Werkstoff zu beachten sind, angeeignet hat. Ebenso günstig liegen die Verhältnisse bei *Schaltanlagen*. Bei Innenraumanlagen sind keine besonderen Vorschriften für Verbindungen zwischen Kupfer und Aluminium nötig. Bei Freiluftanlagen sind korrosionsfreie Verbinder anzuwenden. Sehr zu empfehlen ist die Anwendung der Schweissung bei Schienen- oder Rohrverbindungen. Sie ergeben die billigste und beste Verbindung.

Ein Gebiet, in dem sich Aluminium wohl einwandfrei anwenden lässt, aber nicht mit demselben

wirtschaftlichen Interesse, ist dasjenige der *Wicklungen von elektrischen Maschinen und Transformatoren*.

Trotzdem meiner Ansicht nach wenig geeignet, wird Aluminium heute notgedrungen auch für *Hausinstallationen* verwendet. Es wird dabei vielfach durch Leute, die dafür wenig Verständnis haben, in Apparaten (Schaltern, Steckdosen, Ab-

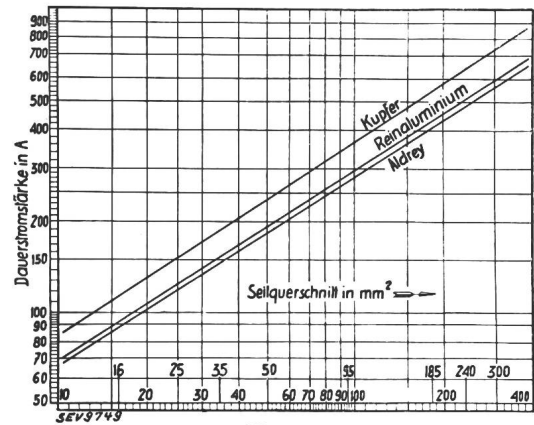


Fig. 3. Dauerstromstärken von Freileitungsseilen für 40° Ubertemperatur und Windstille.

zweigdosen usw. verwendet, die für Kupfer gebaut sind. Schlechte Kontakte und Korrosion werden trotz Verordnungen unvermeidlich sein.

Überall dort, wo Schalt- oder Schleifkontakte auftreten, ist Aluminium *nicht* anwendbar. So ist es *ungeeignet* für Kollektoren, Schleifringe oder Fahrleitungen. Aluminium überzieht sich an der Luft mit einer dünnen, unsichtbaren Oxydhaut, die isolierend ist (bei Kupfer leitend). Bei Stromübergang entstehen Funken, die Oxydschicht wird abgekratzt und das Material rasch abgenützt. Schaltkontakte können durch Plattieren mit Kupfer oder Silber, das nach einem ganz neuen Verfahren hart gelötet wird, verbessert werden.

Zum Schluss möchte ich noch auf die geringe Reibfestigkeit des Aluminiums hinweisen. Deshalb sind bei Konstruktionen nicht geschmierte, reibende Stellen aus Aluminium zu vermeiden. Schon beim Abwickeln von Drähten ist Sorgfalt nötig, damit die Drähte sich gegenseitig nicht verkratzen. Schuld an dieser Eigenschaft ist die harte Oxydhaut, die bei Verletzung wie Schmirgelpulver wirkt.

Die Kenntnis der wichtigsten technologischen Eigenschaften, die ich hier kurz erläutert habe, gibt die Möglichkeit, selbst zu beurteilen, ob und wie Aluminium in der Elektrotechnik angewendet werden kann.

Diskussion.

Der Vorsitzende: Ich danke Herrn Preiswerk für sein interessantes Referat. Herr Preiswerk hat in ganz kurzen Zügen das Wesentlichste aus der Technologie angegeben. Sie sehen auch aus diesen Ausführungen, dass man die Technologie des Aluminiums und seiner Anwendungen sehr gut beherrscht.

Herr Fr. Hofer, EW der Stadt Bern: Wir haben von gelöteten Verbindungen gehört. Nun fragt es sich, ob an Stelle von Schraubverbindungen im Schaltanlagebau auch Schweissverbindungen vorgenommen werden können. Vielleicht ist Herr Preiswerk so freundlich, uns mitzuteilen, was er von Schweissverbindungen hält und ob solche beispielsweise in irgendwelchen Schlosserwerkstätten hergestellt werden können.

Herr M. Preiswerk: Das Schweissen von Aluminium in Schaltanlagen ist sehr zu empfehlen. Es ist auch die billigste Verbindung. Durch die Vereinfachung, dass die Schienen aneinandergesetzt werden können, statt sie übereinander anordnen zu müssen, dass man ferner keine Löcher bohren und keine Schrauben verwenden muss, wird die Materialersparnis so gross, dass das Schweissen unbedingt wirtschaftlich ist. Es ist auch verhältnismässig einfach durchzuführen. Das Schweissen von Aluminium ist nicht komplizierter als das Schweissen von Eisen. Die Aluminium-Industrie A.-G. führt regelmässig Schweisskurse durch. Ich lade Sie ein, Ihre Monteure an einen solchen Schweisskurs zu schicken.

Der Herr Vorsitzende hat mich gebeten, noch etwas über das Löten zu sagen. Das Löten ist in der letzten Zeit stark entwickelt worden. Heute ist das Löten von Aluminium nicht mehr komplizierter als das irgendeines andern Metalls. Man verwendet dazu in erster Linie die Reibblote. Auf diesem Gebiet hat die Maschinenfabrik Oerlikon auch einige interessante Versuche durchgeführt und Entwicklungsarbeit geleistet. Das Löten hat einzig den Nachteil, dass die Verbindung nicht korrosionsfest ist. Man verlangt eben von gelöteten Verbindungen, auch bei Freileitungen, dass sie dauernd gut bleiben. Das Löten kann an Schaltanlagen oder selbst an Maschinen, wo keine Feuchtigkeit zutritt, ohne weiteres vorgenommen werden. Man unterscheidet auch hier zwischen Weichlöten und Hartlöten. Für das Weichlöten mit Temperaturen von 200...300° C werden hauptsächlich die Reibblote verwendet. Das Hartlöten verlangt Temperaturen bis ungefähr 500° C.

Der Vorsitzende: Ich kann Ihnen nur bestätigen, dass die Erfahrungen, die wir im Schweissen und Löten von Aluminium gemacht haben, wirklich ganz ausgezeichnet sind. Es ist eine Arbeit, die, wenn gewissenhaft vorgenommen, mit Leichtigkeit durchgeführt werden kann.

Herr A. Zaruski, Starkstrominspektorat, Zürich: Während der internen Aussprache des VSE von heute vormittag wurden u. a. zwei Fragen gestellt. Die eine lautet: Wie verhält sich Kupfer und Aluminium bei Gleichstromleitungen? Die zweite: Kann man Altaluminium oder Altdrey wieder verwenden? Kann man es einschmelzen und wieder installationsfähig machen? Ich möchte Herrn Preiswerk bitten, über diese beiden Fragen Auskunft zu geben.

Herr M. Preiswerk: Ich kann mir nicht recht vorstellen, dass bei Gleichstromleitungen das Verhalten der Verbindungen zwischen Kupfer und Aluminium anders sein sollte als bei Wechselstromleitungen. Solange wir nicht einen Elektrolyten in der Verbindungsstelle haben, d. h. solange wir einen Elektronenübergang an der Verbindungsstelle haben, wird sich Gleichstrom bestimmt nicht anders verhalten als Wechselstrom. Die Verhältnisse ändern sich erst, wenn wir einen Ionenübergang haben. Zur Beruhigung kann ich Ihnen sagen, dass die Aluminium-Industrie seit Jahrzehnten Aluminiumleiter für Gleichströme bis zu 40 000 A benützt, die sie an Maschinen anschliesst, welche Kupferanschlüsse, Kupferklemmen haben. Wir haben noch nie irgendeine Schwierigkeit an der Uebergangsstelle gehabt.

Die zweite Frage, die Wiederverwendung von Altaluminium und Altdrey, ist unbedingt zu bejahen. Die Aluminium-Industrie ist auch in der Lage, besonders in den heutigen Zeiten, diese Materialien zurückzunehmen und umzuschmelzen. Reinaluminium kann ohne weiteres wieder verwendet werden, Aldrey ebenfalls, sobald man genau weiss, um welche Legierung es sich handelt. In dieser Beziehung sind diese beiden Metalle günstiger zu trennen als zum Beispiel Stahlaluminium, weil hier die Trennung, das Herausnehmen der Stahlseele, eine zusätzliche Arbeit verlangt, die sich in gewissen Zeiten kaum lohnt.

Herr A. Kleiner, Generalsekretär des SEV und VSE: Gestatten Sie, dass ich, dem Vortrag von Herrn Zaruski folgend, etwas aus der Schule schwatze von heute morgen. Es wurden da einige Fragen aufgeworfen, und ich glaube, dass Herr Preiswerk der richtige Mann wäre, sie zu beantworten.

Wir haben gehört, dass die Nachteile des Reinaluminiums im Freileitungsbau, speziell seine Verwendung als Massivdrähte, überwunden wurden durch die Einführung des Aldreys. Die Hilfe, die hier gebracht wurde, besteht gerade darin, dass die negativen mechanischen Eigenschaften des Aluminiums überwunden wurden.

Nun sind aber bei Aldrey neue Bedenken aufgetaucht, die vielleicht doch noch zerstreut werden müssen. Herr Preiswerk hat berichtet, dass das Aluminium bei Aldrey seine Eigenschaften zuletzt noch durch eine thermische Vergütung bei 165° kriegt. 165° ist nun nicht so sehr viel. Nun stellt sich folgende Frage: Wenn ein Kurzschluss auf einer Leitung entsteht, oder wenn man — was ja auch vorkommt — gezwungen ist, den Schnee herunterzuschmelzen, indem man die Leitung kurzschliesst und einen grossen Strom hindurchschickt, muss man dann nicht riskieren, dass das Aldrey höher als auf 165° erwärmt wird und seine guten Eigenschaften verliert? Wenn ich Herrn Preiswerk richtig verstanden habe, sollte dies zwar nicht eintreten; aber ich glaube, es würde das Zutrauen zum Aldrey ganz bedeutend stärken, wenn dieser Punkt abgeklärt werden könnte.

Dann darf ich vielleicht noch auf einen Punkt aufmerksam machen, der sich aus der letzten Tabelle ergeben hat: Für die Verbindungen Cu/Al eignet sich glücklicherweise das Metall, das man sonst viel gebraucht, aber in Verbindung mit Cu und Al ungewohnt ist, nämlich das verzinkte Eisen, offenbar weitaus am besten. Die Ausführungen von heute morgen haben ergeben, dass Verbindungen aus verzinktem Eisen weitaus die besten Resultate gezeigt haben; warum, das hat uns die Tabelle mit den Potentialen gezeigt.

Vielleicht darf ich auch noch etwas ergänzen hinsichtlich der Installationsmaterialien. Ich glaube, Herr Zaruski hat es schon erwähnt; ich möchte es aber unterstreichen. Man hat gefürchtet, wenn man in Hausinstallationen Aluminium verwenden wolle, dann sei unser gesamtes Installationsmaterial — Abzweidosen, Schalter usw. — nichts wert, weil es eben für Kupferverwendung konstruiert ist. Wir haben dann in der Materialprüfungsanstalt Versuche gemacht und eigentlich nichts gefunden, was der Verwendung des normalen Materials für Al-Leiter entgegenstehen würde. Man hatte befürchtet, dass, wenn man die Klemmen anziehe, sie nach kurzer Zeit locker würden und nicht mehr zu gebrauchen seien. Das hat sich nicht so herausgestellt: Das Material war besser, als man ihm zugetraut hatte.

Im Ausland, speziell in Deutschland, wurden für Aluminium besondere Klemmen mit federnden Zwischenlagen konstruiert. Unsere Industrie war noch nicht soweit, solche Spezialklemmen auf den Markt zu bringen. Es bestand daher eine gewisse Gefahr, dass nun alles mit diesem ausländischen Material ausgerüstet würde. Wir glauben, dass das nicht nötig sei und dass man, bis solche Neukonstruktionen vorliegen, ziemlich ruhig die bewährten verwenden kann, ohne befürchten zu müssen, dass man das Aluminium nach zwei Jahren wieder herausreissen müsste.

Gleichzeitig möchte ich aber an die Fabrikanten von Installationsmaterialien die Anfrage stellen, wie weit sie heute sind in der Herstellung von Material, das für die Verwendung von Aluminium besonders geeignet und ausgebildet ist und alle die Gefahren und Nachteile vermeidet, speziell auch von Armaturen für feuchte Räume. Ich fürchte nämlich sehr, dass, wenn das Aluminium zugelassen ist, man nicht Halt machen wird vor den feuchten Räumen, sondern dass man es auch dort verwendet. Da ist die Gefahr schon etwas grösser, wenn das Material in sehr kurzer Zeit zu korrodieren beginnt oder verbrennt. Besonders in Räumen mit Explosivgasen — z. B. in Autogaragen — kann das derart gefährlich werden, dass vielleicht eine gewisse Zurückhaltung gegenüber dem Aluminium eintreten würde, was unbedingt vermieden werden sollte.

Ich glaube, es dürfte sich lohnen, diese beiden Fragen noch zu besprechen.

Der **Vorsitzende**: Ich danke Herrn Kleiner für seine Anregungen und Fragen. Vielleicht darf ich zuerst Herrn Preiswerk das Wort geben.

Herr **M. Preiswerk**: Herr Kleiner hat die Befürchtung ausgesprochen, dass Aldrey seine spezifischen Eigenschaften verliere, wenn es z. B. durch Kurzschlüsse oder durch Rauhreifabheizung über die Temperatur von 165° C erwärmt werde. Rauhreifabheizung scheidet schon deshalb aus, weil der Rauhreif bei 0° schmilzt und im Leiter nie so hohe Temperaturen erzeugt werden. Kurzschlüsse dauern nur kurze Zeit. Selbst Temperaturerhöhungen von 300° schaden dem Aldrey nicht, wenn sie nur kurze Zeit dauern. Erst wenn (nach Fig 2) hohe Temperaturen sehr lange Zeit — z. B. 100°C während 180 Tagen — einwirken, kann eine Aenderung der Festigkeit hervorgerufen werden.

Ferner wurde als Klemmenmaterial verzinktes Eisen erwähnt. Dieses Material kann ich Ihnen nur sehr empfehlen. Sie wissen, dass z. B. bei Al-Freileitungen Tragklemmen aus verzinktem Eisen hergestellt sind; diese Tragklemmen haben sich sehr gut gehalten. Man verwendet gelegentlich auch Wickelbänder aus Al, um das Aluminium gegen den Druck der Klemmen und auch gegen etwelche Korrosionseinflüsse zu schützen. Wenn Sie aber nach vielen Jahren eine solche Klemme öffnen, finden Sie äusserst selten ein weisses Pünktchen darin, das auf Tonerdebildung, also auf Korrosion schliessen liesse.

Mit den federnden Klemmen, die für Installationsmaterialien gefordert werden, darf man auch nicht zu weit gehen. Diese Federwirkung soll vorhanden sein. Eine direkte Schraube, die gar keine Federwirkung ausüben kann, ist natürlich nicht gut; sobald aber z. B. eine Bride unterlegt wird, die durch das Anziehen der Schraube ein wenig durchfedern kann, genügt das vollständig. Es braucht also keine komplizierten Konstruktionen mit Federn, sondern man muss die Konstruktion nur so überlegen, dass sie beim Nachgeben des Aluminiums um vielleicht einige Zehntels- oder Hundertstelsmillimeter nachrückt. Diese federnden Zusammenschlüsse empfehlen wir hauptsächlich auch bei Schaltanlagen,

wenn mehrere dicke Aluminiumschienen durch Schrauben aufeinander gepresst werden. Das Aluminium hat einen andern Wärmeausdehnungskoeffizienten als das Eisen der Schraube, nämlich ungefähr den doppelten des Eisens. Wenn die Verbindungsstelle warm wird, drücken sich die Schrauben ins Aluminium ein; wenn sie kalt wird, werden sie wieder locker. Ich kann in solchen Fällen empfehlen, federnde Unterlagsscheiben zu verwenden; am besten sind leicht bombierte Stahlfederscheiben, sogenannte Bellevillescheiben.

Was die Verwendung des Aluminiums in den Hausinstallationen betrifft, bin ich persönlich sehr froh, dass das Starkstrominspektorat hier Zurückhaltung empfiehlt. Wenn für diese Verwendung noch irgendwie Kupfer frei gemacht werden kann, sogar indem man vielleicht Kupfer-Freileitungen demontiert und dafür Aluminiumleitungen aufhängt, sind wir auf dem richtigen Weg mit der Verwendung von Aluminium, denn bei Freileitungen wird es sich restlos in alle Zukunft bewähren; aber für die Hausinstallationen sind doch gewisse Gefahren vorhanden. Man spricht davon, Aluminium nur in trockenen Räumen zu verwenden. Meine Herren, ist ein Neubau ein «trockener Raum»? Ein Neubau ist sehr feucht. Trocken wird er erst, wenn er bewohnt ist, vielleicht in einem Jahr. Es ist vielleicht empfehlenswert, die Kontaktstellen einzufetten, damit die in den Dosen unter Bronze eingeklemmten Aluminiumdrähte vor dem Zutritt von Feuchtigkeit geschützt sind.

Der **Vorsitzende**: Ich danke Herrn Preiswerk für seine zusätzlichen Bemerkungen. Darf ich vielleicht das Wort einem Herrn aus der Industrie für Installationsmaterialien noch geben? Will noch jemand sich zum Vortrag von Herrn Preiswerk äussern? — Wenn das nicht der Fall ist, möchte ich Herrn Preiswerk für sein Referat und seine sehr interessanten Aufschlüsse herzlich danken und das Wort Herrn Foretay von den Câbleries de Cossonay erteilen zu seinem Vortrag: «Fabrication et emploi des conducteurs d'aluminium pour les lignes aériennes et les câbles sous plomb.»

Fabrication et emploi des conducteurs d'aluminium pour les lignes aériennes et les câbles sous plomb.

Communication faite le 10 octobre 1941, à Olten, en séance de l'ASE,
par E. Foretay, Cossonay-Gare.

621.315.53

L'auteur décrit la fabrication et les propriétés des fils d'aluminium, des conducteurs pour lignes aériennes, et des câbles sous plomb pour transport d'énergie et pour télécommunication. Il traite ensuite des jonctions des conducteurs en aluminium et des autres applications de ce métal à la technique des câbles.

Der Autor beschreibt Herstellung und Eigenschaften der Aluminiumdrähte, der Leiter für Freileitungen und der Al-Bleikabel für Starkstrom- und Fernsprechtechnik. Es werden ferner die Verbindungen von Al-Leitern und weitere Anwendungsmöglichkeiten des Aluminiums in der Kabeltechnik behandelt.

1° Introduction.

Parmi les métaux usuels, l'aluminium est celui dont la conductibilité électrique est la meilleure après le cuivre, c'est pourquoi il est appelé actuellement à le remplacer dans la fabrication des câbles. Il ne faut pas oublier toutefois que son poids beaucoup plus faible l'a fait adopter il y a longtemps déjà comme métal pour les lignes aériennes à haute tension, surtout en combinaison avec l'acier.

Le tableau I résume les principales propriétés physiques de l'aluminium et du cuivre.

L'aluminium peut remplacer le cuivre dans la plupart de ses applications comme conducteur électrique: lignes aériennes, barres et tubes dans les tableaux et installations à haute et basse tension, câbles sous plomb pour transport d'énergie et pour télécommunication.

Le texte qui suit décrit les divers stades de fabrication des conducteurs d'aluminium.

Tableau comparatif des principales propriétés physiques de l'aluminium et du cuivre. Tableau I.

| | Aluminium | Cuivre |
|--|-----------|---------|
| Poids spécifique | 2,72 | 8,90 |
| Résistivité à 20° microhms · cm | 2,87 | 1,73 |
| Augmentation de résistivité par degré C | 0,00400 | 0,00393 |
| Résistivité relative | 1 | 0,6 |
| Section relative pour une même résistance électrique | 1,66 | 1,0 |
| Poids relatif des conducteurs équivalents | 0,5 | 1,0 |
| Point de fusion degrés C | 658 | 1090 |
| Charge de rupture kg/mm ² {dur | 19 | 40 |
| {recuit | 10 | 25 |

2° Fabrication des fils d'aluminium.

Laminage.

L'aluminium est livré habituellement sous forme de blocs de section carrée de 10×10 cm,