

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 32 (1941)  
**Heft:** 24

**Artikel:** Technologie de l'aluminium utilisé pour les lignes aériennes  
**Autor:** Preiswerk, M.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1057666>

### **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:** 25.12.2024

**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:

## Technologie de l'aluminium utilisé pour les lignes aériennes.

Rapport présenté à la Journée de l'Aluminium organisée par l'ASE, le 10 octobre 1941, à Olten.  
par M. Preiswerk, Neuhausen-Ouchy.

621.315.53 : 621.315.1

*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).*

*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).*

(Traduction.)

L'aluminium ne se trouve nulle part à l'état naturel pur. Il se rencontre très fréquemment sous forme d'oxyde (bauxite, alumine). Il doit sa forme métallique à l'électricité, car le courant électrique est seul capable de séparer l'aluminium de l'oxygène auquel il est combiné. Issu de l'électricité, il peut rendre à son tour service à celle-ci, car ses propriétés le lui permettent parfaitement.

Tous ceux qui ont assisté aux démonstrations de jubilé de la S. A. Brown Boveri, à Baden, et ont suivi les explications de Monsieur l'ingénieur en chef Streiff sur l'utilisation de l'aluminium dans la construction des machines, savent combien ces applications de l'aluminium sont intéressantes. A la suite d'études détaillées des propriétés physiques et mécaniques de ce métal, l'industrie a pu remplacer le cuivre par l'aluminium pour certains usages où il est techniquement et économiquement équivalent au cuivre et parfois même plus avantageux. Pour vous faciliter ce travail auquel vous devrez bon gré mal gré vous attacher un jour ou l'autre, je me suis bien volontiers chargé de vous donner quelques brefs renseignements sur la technologie de l'aluminium.

L'aluminium destiné aux lignes aériennes s'utilise sous forme de fils étirés à froid ou de câbles en aluminium pur ou en aldrey. L'aluminium pur utilisé en électrotechnique a maintenant presque toujours une pureté de 99,5 %. Cette grande pureté lui confère une conductibilité maximum d'au moins 62 % de celle du fil de cuivre électrolytique, ainsi qu'une très bonne résistance aux intempéries. La tension de rupture diminue quand le diamètre du fil augmente; elle est de 18 kg/mm<sup>2</sup> pour les diamètres inférieurs à 3 mm, tandis que la conductibilité spécifique reste constante. L'allongement relatif est de 2 à 4 % à la rupture et de 80 à 90 % à la limite d'allongement, le module d'élasticité est de 6000 kg/mm<sup>2</sup>, le coefficient de variation de la résistivité avec la température est de 0,004 comme pour le cuivre, le coefficient de dilatation linéaires aux températures voisines de 20° C est de 0,00024, soit de 40 % supérieur à celui du cuivre. L'aluminium destiné aux lignes aériennes est normalisé par la Publication de l'ASE, No. 157, Règles pour l'aluminium.

L'aldrey remplace l'aluminium pur dans les cas où la résistance de ce dernier n'est pas suffisante. Il s'agit d'un alliage d'aluminium renfermant 98,5 % d'aluminium et une faible quantité de silicium (0,5 à 0,6 %) et de magnésium (0,4 à 0,5 %). Les barres de cet alliage sont laminées ou comprimées en fils de 15 à 20 mm de diamètre, qui sont ensuite recuits à 520° C, trempés à l'eau, étirés à l'épaisseur désirée et revenus pendant 6 à 8 heures à 165° C. Le premier traitement thermique a pour but de dissoudre les adjuvants dans l'aluminium. La trempe sert à la cristallisation de l'aldrey, afin que les composants de cet alliage ne se décristallisent pas par la suite et ne se déposent entre les cristaux d'aluminium sous forme d'impuretés. Ce processus a une grande importance pour la résistance de l'aldrey à la corrosion. La forte réduction de la section (au moins 95 %) par l'étirage provoque un effet de pétrissage qui donne une matière bien homogène, dense et par conséquent résistante. Le revenu à 165° C est en quelque sorte un vieillissement artificiel, qui évite toute modification ultérieure des qualités de cet alliage sous l'action de la chaleur. Il lui confère en outre sa conductibilité relativement élevée. Ces divers traitements doivent être effectués avec le plus grand soin et chaque fil doit être essayé au cours de la fabrication. L'aldrey n'est donc pas seulement un alliage, mais bien un matériau pour fils qui a subi tous les traitements que je viens d'énumérer. Sa résistance est presque le double de celle de l'aluminium pur, puisqu'elle atteint 30 à 36 kg/mm<sup>2</sup>, son allongement relatif à la rupture est de 5 à 9 %, donc supérieur à celui de tous les autres matériaux pour lignes aériennes, sa limite d'allongement n'est que de 10 à 15 % inférieure à la tension de rupture, son module d'élasticité est de 6500 kg/mm<sup>2</sup> et sa conductibilité de 30 à 32,5, soit le 56 % de celle du cuivre. Ses autres propriétés correspondent à celles de l'aluminium pur.

Les principales propriétés physiques et mécaniques de quelques matériaux pour lignes aériennes sont groupées dans le tableau I.

La résistance aux intempéries ou résistance à la corrosion de ces deux matériaux est particulièrement intéressante. Il ne s'agit pas là d'un aussi

## Propriétés physiques et mécaniques de matériaux conducteurs.

Tableau I.

Propriété	Unité	Aldrey	Aluminium pur 99,3	Cuivre	Bronze	Fil en fer zingué
Résistance à la rupture . . . . .	kg/mm <sup>2</sup>	30...36	16,5...18,5	40...45	60	45...50
Allongement . . . . .	%	5...9	2...4	1...3	1...2	5
Limite d'allongement . . . . .	kg/mm <sup>2</sup>	27...31	15...17	35...40	36	30...35
Limite d'élasticité . . . . .	kg/mm <sup>2</sup>	19...22	8...10	20...25	—	—
Module d'élasticité . . . . .	kg/mm <sup>2</sup>	6500	6000	11000	12000	19000
Conductibilité électr. (à 20° C) .	m/Ω mm <sup>2</sup>	30,75	35,3	56,26	50	7
Résistivité à 20° . . . . .	Ω mm <sup>2</sup> /m	0,0325	0,0284	0,01777	0,02	0,143
Coefficient de temp. de la résist.		0,0036	0,004	0,0038	0,004	0,005
Poids spécifique . . . . .		2,7	2,7	8,9	8,9	7,85
Coeff. de dilatation thermique . .		0,000023	0,000024	0,000017	0,000018	0,000012

grand danger que celui de la rouille du fer. L'aluminium et l'alldrey supportent fort bien les intempéries. Ils ne sont attaqués par l'humidité que s'ils sont en contact avec un autre matériau dont le potentiel électrochimique est très différent, positivement, de celui de l'aluminium. A cet égard, le cuivre exerce une action très défavorable. Au cours de l'usinage et de l'emploi de ces deux matériaux, il faut par conséquent veiller à ce qu'aucune trace de cuivre ne se trouve dans l'alliage, ni à la surface de celui-ci. Les tréfileries qui travaillent aussi le cuivre savent qu'il faut procéder très proprement au tréfilage de l'aluminium, pour éviter toute occlusion de cuivre. Lorsque le contact avec d'autres métaux (le zinc et le cadmium sont sans danger)

## Potentiels électrochimiques de différents métaux et alliages par rapport à l'aluminium pur.

Tableau II

Métaux et alliages	Potentiel par rapport à l'aluminium pur 99,3, dans une solution à 2% de NaCl saturée d'air, à 18...20 °C, en mV
Magnésium . . . . .	env. — 850
Zinc . . . . .	env. — 300
F Al <sup>1)</sup> -Zn-Cu . . . . .	— 150...— 100
Al-Mg et F Al-Mg . . . . .	— 100...— 50
Al-Mg-Mn et F Al-Mg-Mn . . . . .	— 60... 0
Al-Mg-Si et F Al-Mg-Si . . . . .	— 20...+ 10
Cadmium . . . . .	— 20...+ 10
Aluminium pur 99,3 % . . . . .	0
Al-Si et F Al-Si . . . . .	+ 10...+ 50
Al-Cu et F Al-Cu . . . . .	env. + 100
Al-Cu-Ni et F Al-Cu-Ni . . . . .	env. + 100
Al-Cu-Mg (durci à chaud) . . . . .	env. + 100
Al-Cu-Mg (stocké à 20°C) . . . . .	env. + 150
Fer, Acier SM . . . . .	+ 50...+ 150
Plomb . . . . .	env. + 250
Étain . . . . .	env. + 300
Laiton (50 % Zn) . . . . .	env. + 400
Nickel . . . . .	env. + 480
Laiton (30 % Zn) . . . . .	env. + 500
Cuivre . . . . .	env. + 500
Argent . . . . .	+ 700...+ 800
Mercure . . . . .	env. + 750
Acier V2A . . . . .	env. + 850
Or . . . . .	env. + 1000
Platine . . . . .	+ 950...+ 1100

<sup>1)</sup> F Al signifie que l'alliage en question est destiné à la fonte.

est indispensable, il faut avoir recours à des constructions spéciales, de formes simples. Le tableau II indique les potentiels électrochimiques de quelques métaux et alliages par rapport à l'aluminium pur. On constatera que, dans un électrolyte aqueux, le

cuivre prend par rapport à l'aluminium un potentiel positif de 0,5 V, tandis que le zinc et le cadmium ne forment que des faibles tensions négatives. Dans un tel élément, ce n'est que le pôle positif qui est en danger.

La fig. 1 représente une connexion cuivre-aluminium protégée contre la corrosion. Une gaine d'alu-

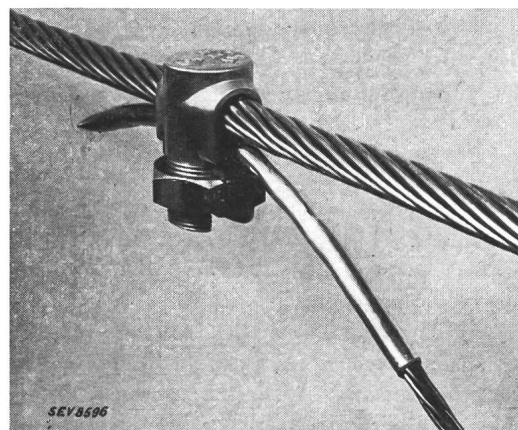


Fig. 1.

Connexion cuivre-aluminium résistante aux corrosions avec gaine en aluminium écroui.

minium écroui préalablement graissée est enfilée sur le conducteur de cuivre. La graisse utilisée doit être exempte d'acidité. Le serrage peut se faire à l'aide d'une construction éprouvée quelconque en anticorodal ou en fer bien galvanisé. Ce système de connexion protégée contre les corrosions est particulièrement simple et efficace. Il existe d'autres systèmes de serrage pour aluminium et cuivre, qui sont également excellents, mais généralement beaucoup plus coûteux.

Un autre point qui intéresse les constructeurs de lignes aériennes est la *charge maximum* que peuvent supporter les conducteurs. Bien que les lignes soient généralement calculées en tenant compte de la chute de tension, elles doivent être connues. Les conducteurs de même conductibilité en aluminium ont une surface de 25 % plus grande que les conducteurs en cuivre; celle des conducteurs en alldrey est de 35 % plus grande. Pour un même échauffement, la densité de courant peut donc être de 5 % plus élevée pour l'aluminium et de 8 % pour l'alldrey. A des températures élevées durant une longue durée, la résistance des métaux étirés à froid dimi-

nue. A ce point de vue, l'aluminium et l'aldray ne se comportent pas plus mal que le bon vieux cuivre (voir fig. 2). Si la température maximum admissible est de 80° C, correspondant à une surélévation de température de 40° C, une ligne en aldray de 200 mm<sup>2</sup> de section peut être chargée à environ 2 A/mm<sup>2</sup>. La fig. 3 indique la capacité de charge électrique du cuivre, de l'aluminium pur et de l'aldray pour différentes sections de câbles.

Des échauffements de brève durée, dus au passage du courant lors de *courts-circuits* ou de *défauts à la terre*, peuvent également provoquer un affaiblissement de ces métaux, mais le cuivre ne se comporte pas mieux à cet égard. En effet, une intensité de courant qui provoque dans un câble en cuivre un affaiblissement de 40 % n'affaiblit que de 15 % la résistance d'un câble en aldray de même conductibilité. Cet écart est le résultat du vieillissement artificiel que subit l'aldray au cours de sa fabrication.

On admet souvent que l'aluminium et l'aldray résistent moins bien que le cuivre à l'effet direct de l'arc électrique, le point de fusion du cuivre étant plus élevé. Or, il est prouvé mathématiquement et par l'expérience qu'il faut à peu près la même quantité de chaleur pour fondre un conducteur en cuivre qu'un conducteur en aldray de même longueur et de même résistance. En pratique, un arc

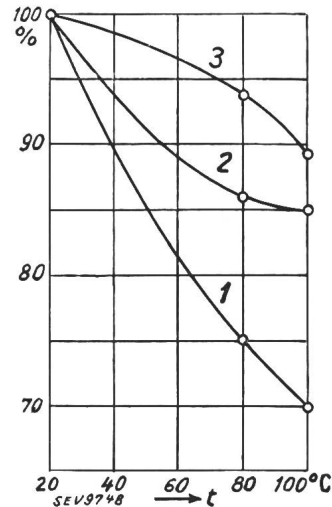


Fig. 2. Affaiblissement du cuivre (1), de l'aluminium (2) et de l'aldray (3) à la suite d'un échauffement pendant 180 jours. Résistance initiale = 100 %.

de même intensité provoque chez le cuivre et chez l'aluminium les mêmes dégâts.

Si je n'ai considéré jusqu'ici que les lignes aériennes, c'est que cette application de l'aluminium est la plus intéressante et permet de grosses économies de cuivre. L'aluminium est capable de rendre, dans la construction des lignes aériennes, les mêmes services que le cuivre, lorsque l'on connaît bien ce métal et que l'on observe les quelques mesures qu'il est nécessaire de prendre. Les conditions sont aussi favorables pour les *installations de couplage*. Dans les installations logées dans les locaux, il n'y a pas lieu de prendre de mesures spéciales pour les connexions cuivre-aluminium. Par contre, dans les installations en plein air, il faut avoir recours à des dispositifs de serrage résistants aux corrosions. La soudure autogène des barres et des tubes est très recommandable, car elle constitue la connexion la moins coûteuse et la meilleure.

Un autre domaine, où l'aluminium peut être fort bien utilisé, mais avec un peu moins d'avantages économiques, est celui des *bobinages des machines et transformateurs électriques*.

Actuellement, l'aluminium s'utilise de plus en plus dans les *installations intérieures* pour lesquelles il ne me paraît pas être très indiqué, mais nécessité fait loi. Il arrive qu'on l'utilise sans discernement dans les interrupteurs, prises de courant, boîtes de dérivation, etc., qui sont normalement prévus pour du cuivre. Malgré toutes les ordonnances officielles, de mauvais contacts et des corrosions sont alors inévitables.

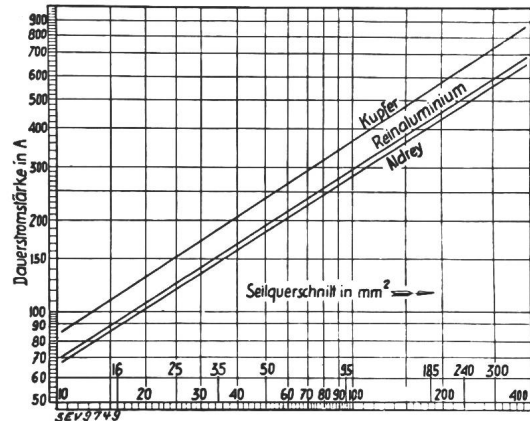


Fig. 3. Intensité de courant, en A, admissible en permanence pour des câbles de lignes aériennes, pour une surélévation de température de 40° C, par temps calme, en fonction de la section du câble, en mm<sup>2</sup>, pour cuivre, aluminium pur et aldray.

Partout où il existe des contacts d'interrupteur ou des contacts à frottement, l'aluminium *ne doit pas* être utilisé. L'aluminium est *mal approprié* aux collecteurs, aux bagues et aux lignes de contact. Sous l'action de l'air, il se recouvre d'une fine pellicule d'oxyde invisible, qui est isolante (tandis qu'avec le cuivre cette pellicule est conductrice). Au passage du courant, des étincelles se produisent, la pellicule d'oxyde s'érafle et l'aluminium s'use rapidement. Les contacts d'interrupteur en aluminium peuvent être quelque peu améliorés par un placage de cuivre ou d'argent soudé à froid selon un procédé tout récent.

Pour terminer, j'aimerais attirer l'attention sur la faible résistance de l'aluminium aux frottements. Les constructeurs doivent éviter d'utiliser ce métal aux endroits où peuvent se produire des frottements, s'il n'est pas graissé. Le déroulage des fils d'aluminium doit se faire avec beaucoup de ménagements pour éviter que les fils ne s'éraflent mutuellement, car la couche d'oxyde agit comme un abrasif quand elle est entamée.

Après ces quelques brèves explications sur les propriétés technologiques de l'aluminium, vous pourrez plus facilement décider si l'aluminium est capable de rendre service et de quelle façon.

**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 Reiblote. 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 Reiblote 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, Altdrey ebenfalls, sobald man genau weiss, um welche Legierung es sich handelt. In dieser Beziehung sind diese beiden Metalle günstiger zu trennen als zum Beispiel Stahllaluminium, 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 Aldreys neue Bedenken aufgetaucht, die vielleicht doch noch zerstreut werden müssen. Herr Preiswerk hat berichtet, dass das Aluminium bei Aldreys 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 Aldreys 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 Aldreys 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 gezeitigt 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 sonst 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 <sup>2</sup> { 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,