

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 31 (1940)
Heft: 10

Artikel: Aluminium im Freileitungsbau
Autor: Preiswerk, M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061363>

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: 17.05.2025

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 5 17 42
Postcheck-Konto VIII 8481

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

XXXI. Jahrgang

N^o 10

Mittwoch, 15. Mai 1940

Aluminium im Freileitungsbau.

Von M. Preiswerk, Neuhausen.

611.315.53

Das Thema Aluminium im Freileitungsbau war im Bulletin des SEV wiederholt Gegenstand von Einzeldarstellungen. Im folgenden veröffentlichen wir einen kurzen, zusammenfassenden Artikel darüber. Es werden darin die wichtigen Eigenschaften des Aluminiums und des Aldreys im Zusammenhang mit dem Leitungsbau und im Vergleich mit Kupfer dargestellt und die Besonderheiten des Leitungsbaus mit Aluminium und Aldrey erörtert.

Dans le Bulletin ASE, il a été question à plusieurs reprises de l'aluminium dans la construction des lignes aériennes. L'article ci-après donne un aperçu général de la question. Il traite des principales qualités de l'aluminium et de l'alldrey qui entrent en considération dans la construction des lignes, et les compare au cuivre. Finalement, il expose les particularités de la construction des lignes en aluminium et en alldrey.

Als die Elektrotechnik in ihren Kinderschuhen stand, gab es noch kein Aluminium. Erst ihre Entwicklung hat die praktische Gewinnung dieses Metalles ermöglicht. Deshalb ist es nicht verwunderlich, dass zur Herstellung elektrischer Maschinen und Leitungen anfänglich nur das altbekannte Kupfer verwendet wurde und die Elektrotechnik sich ganz auf diesen Werkstoff einstellte. Erst als Aluminium in grossen Mengen auf den Markt kam, fing man schüchtern an zu merken, dass es ein zweites Metall gibt, das der Elektrotechnik wichtige Dienste leisten kann und das auf vielen Anwendungsgebieten dem Kupfer gleichwertig, auf einigen sogar überlegen ist.

Das Gebiet der Elektrotechnik, auf dem Aluminium bisher am meisten Eingang gefunden hat, ist der Freileitungsbau. Um die Gründe dafür zu verstehen, sind in erster Linie die physikalischen Eigenschaften zu betrachten.

Für Tabelle I sind die Metalle in der Reinheit und dem Zustand angenommen, in welchem sie für Freileitungen verwendet werden.

Die Eigenschaften, die Aluminium für Freileitungen besonders geeignet machen, sind:

Die gute elektrische Leitfähigkeit.

Das niedrige spez. Gewicht (ein Leiter aus Aluminium wiegt bei gleicher Leitfähigkeit nur die Hälfte desjenigen aus Kupfer).

Die mechanische Festigkeit.

Die hohe chemische Beständigkeit.

Für Fälle, in denen die mechanische Festigkeit des reinen Aluminiumdrahtes nicht genügt, wurde eine Legierung, die unter dem Namen «Aldrey» bekannt ist, in der Schweiz entwickelt. Sie enthält neben 98,5 % Aluminium 0,5...0,6 % Si, 0,5...0,4 % Mg und in sehr kleinen Mengen die üblichen Verunreinigungen, hauptsächlich Fe. Ihre technischen Daten sind folgende:

Daten von Aluminium.

Tabelle I.

	Aluminium	Kupfer
Spez. Gewicht kg/dm ³	2,7	8,9
Wärmeausdehnungszahl für 1° C	0,000024	0,000017
Elastizitätsmodul kg/mm ²	5 600	13 000
Bruchfestigkeit kg/mm ²	18	40
Streckgrenze (0,2 % bleibende Dehnung) kg/mm ²	15	38
Elastizitätsgrenze (0,01 % bleibende Dehnung) kg/mm ²	9	22
Spez. Widerstand bei 20° C		
Ohm · mm ² /m	0,0284	0,01786
Elektr. Leitfähigkeit bei 20° C		
m/Ohm · mm ²	35,2	56
Widerstandstemperaturzahl f. 1° C	0,004	0,0038
Therm. Leitfähigkeit cal/cm · s · ° C	0,9	0,52
Schmelzpunkt °C	658	1 083
Spez. Wärme bei 100° C cal/g	0,23	0,094
Relative Wärmeabstrahlung:		
Walzblank	0,05...0,1	0,03...0,06
anod. oxydiert	0,5...0,8	0,6...0,7

Daten von Aldrey.

Tabelle II.

Spezifisches Gewicht	kg/dm ³	2,70
Wärmeausdehnungskoeffizient		0,000023
Elastizitätsmodul	kg/mm ²	6 500
Zugfestigkeit	kg/mm ²	33
Streckgrenze (bei 0,2 % bleibender Dehnung)	kg/mm ²	29
Spez. elektr. Widerstand bei 20° C	Ohm · mm ² /m	0,0325

Die erste grössere Aldreyleitung wurde im Jahre 1924 gebaut. Bis heute beträgt die in Europa verlegte Seillänge 27 000 km.

Ferner ist die Anwendung der sog. Stahl/Aluminium-Seile sehr verbreitet, bei denen die Aluminiumdrähte zur Verstärkung um ein dünnes Stahlseil verseilt werden.

In der Form von Draht oder Seil aus Reinaluminium oder Aldrey, oder vom Stahl/Aluminium-Seil, wird dieses Metall für jede Art von Freileitungen angewendet, nämlich für:

1. Hoch- und Höchstspannungsleitungen in Form dicker Aldrey- oder Stahl/Aluminium-Seile auf hohen Eisen- oder Betonmasten.

2. Mittelspannungsleitungen in Form dünner Reinaluminium-, Aldrey- oder Stahl/Aluminium-Seilen auf Holz- oder Betonmasten.

3. Niederspannungsleitungen in Form dicker Drähte oder dünner Seile aus Reinaluminium oder Aldrey auf Holzmasten.

4. Signal- und Telephonleitungen in Form von Draht oder dreidrähtigem Seil aus Aldrey auf Holzmasten.

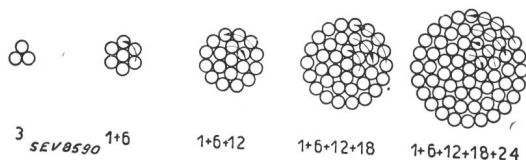


Fig. 1.

Normale Seilkonstruktionen.

Die grössten Aluminiummengen sind in Hoch- und Höchstspannungsleitungen investiert. In allen Ländern, auch in denen, die selbst Kupfer produzieren, werden für solche Leitungen vorzugsweise Aluminiumleiter verwendet. So ist z. B. das ganze englische Hochspannungsnetz, der Grid¹⁾, mit Stahl/Aluminium-Leitern ausgerüstet. Verschiedene

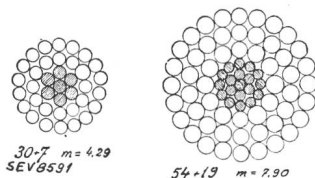


Fig. 2.

Stahl/Aluminium-Seile.

Gründe sind hierfür massgebend. Die Eigenschaften widerstandsgleicher Leiter aus Kupfer, Reinaluminium, Aldrey und Stahl/Aluminium sind in Tabelle III vergleichsweise zusammengestellt:

Vergleich von Freileitungsleitern.

Tabelle III.

	Kupfer	Reinaluminium	Aldrey	Stahl/Aluminium
Querschnitt	1	1,598	1,829	1,97
Durchmesser	1	1,263	1,351	1,402
Gewicht	1	0,485	0,555	0,81
Zerissfestigkeit	1	0,725	1,4	1,505
Durchhang (0° + 2 kg/m Schnee)	1	1,165	0,61	0,685
Zerisslänge	1	1,41	2,62	2,25

Da der widerstandsgleiche Aluminium-Leiter einen grösseren Durchmesser hat, sind bei hohen Spannungen die Coronalverluste niedriger, oder, in anderen Worten, eine Aluminium-Leitung kann bei gleichen Coronalverlusten mit höherer Spannung betrieben werden. Es lässt sich leicht errechnen, dass die widerstandsgleiche Aluminiumleitung wegen der Möglichkeit des Betriebes mit höherer Spannung bei gleichem prozentualen Effektverlust eine 60 % höhere Leistung zu übertragen imstande ist. In Fällen, in denen bei Kupfer schon zu komplizierten Hohlseilkonstruktionen geschritten werden muss, können bei Aluminium noch die normalen Seile angewendet werden.

¹⁾ Vgl. Bull. SEV 1935, Nr. 3, S. 57.

Eine andere Ueberlegung rechtfertigt auch die Verwendung von Aluminium, insbesondere von Aldrey und Stahl/Aluminium. Der Durchhang eines Seiles, der für die Höhe der Maste und für die Grösse der Spannweite ausschlaggebend ist, errechnet sich nach der Formel:

$$f = \frac{a^2 \cdot G}{8 \cdot F},$$

wo

f Durchhang in m

a Spannweite in m

F totale Beanspruchung im Seil in kg

G Gewicht von 1 m Seil in kg

bedeuten. Spannt man z. B. ein widerstandsgleiches Aldreyseil mit gleichem Durchhang wie das Kupferseil, so wird nach obiger Formel die Beanspruchung nur etwa halb so gross. Deshalb können die Maste schwächer gebaut werden. Spannt man aber mit gleicher Beanspruchung, so ist der Durchhang nur etwa die Hälfte. Deshalb können die Maste niedriger gebaut werden, oder die Spannweite kann vergrössert werden. Da aber das Aldreyseil grössere Festigkeit hat als das widerstandsgleiche Kupferseil, kommt dieser Vorteil, der sich in einer Erniedrigung der Maste, Fundamente-, Isolations- und Armaturenkosten auswirkt, noch mehr zur Geltung. Hochspannungs- und Weitspannungsleitungen aus Aluminium müssen deshalb bei Annahme gleichen Leiterpreises billiger sein als Kupferleitungen. Wegen der Möglichkeit, grosse Spannweiten zu überbrücken, eignet sich Aldrey sehr gut für Leitungen im Gebirge. Die kleinen Transportgewichte sind dabei auch von Vorteil.

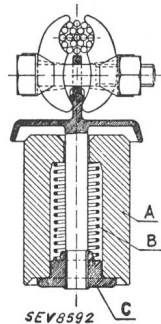


Fig. 3.

Stossgewicht-dämpfer (Mstb. 1:5).

Als wirtschaftliche Ueberlegungen die Weitspannungsleitungen und die hoch beanspruchten Leitermaterialien brachten, traten Ermüdungsbrüche einzelner Drähte der Leitungsseile bei den Tragklemmen auf, die auf rasche Schwingungen zurückzuführen sind, die man im Brummen und Summen der Telephondrähte längst kennt. Bei den dickeren Leitungsseilen sind diese Schwingungen, die durch schwache, senkrecht zur Leitung einfallende Winde erregt werden, als stehende Wellen sichtbar. Sie haben Amplituden von etwa Seildicke, Knotenpunktabstände von 3...15 m und Frequenzen von 7...50 Schwingungen pro Sekunde, je nach Seildicke. In der Schweiz sind Schäden an Leitungen durch diese Schwingungen nur sehr vereinzelt aufgetreten, da das coupierete Gelände selten gleichmässige Winde aufkommen lässt. Hingegen wurden aus andern Ländern, die Leitungen in grossen Ebenen haben, viele Draht- und sogar Seilbrüche bekannt. Verschiedene schwingungsdämpfende Einrichtungen wurden entwickelt. Sehr gut hat sich der Stossgewichtdämpfer²⁾ bewährt, der in der Schweiz erfunden und am meisten angewendet

wird. Er ist bei mindestens gleichwertiger Wirkungsweise bedeutend billiger und leichter als die ausländischen Produkte. Ebenfalls in der Schweiz wurde das sogenannte schwingungsdämpfende Seil erfunden, das die Eigenschaft hat, nicht zu schwingen³⁾. Es ist gleich aufgebaut wie ein normales Stahl/Aluminium-Seil, nur ist die Stahlseele dünner, so dass sie im Aluminiummantel etwas Spiel hat. Da die Stahlseele bei der Montage stärker gespannt wird, ist ihre Eigenfrequenz und somit die Wellenfortpflanzungsgeschwindigkeit grösser als beim Aluminiummantel. Schwingungen können deshalb nicht aufkommen. Von diesen schwingungsdämpfenden Seilen sind bisher über 3000 km in Betrieb und bewähren sich ausgezeichnet.

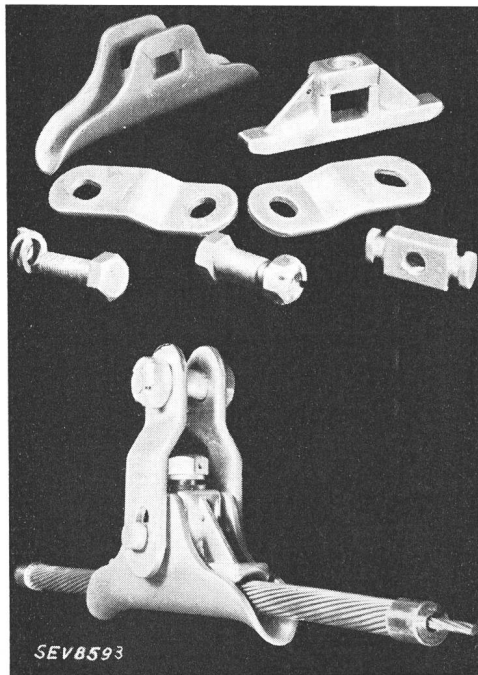


Fig. 4.

Tragklemme Typ P, Seilmulde aus Anticorodalblech, Pressdeckel Anticorodalguss, übrige Teile aus verzinktem Stahl.

In Gegenden, in denen Schwingungen nicht häufig auftreten können, genügt es, bei Aluminiumleitungen möglichst leicht konstruierte Klemmen zu verwenden. Angenommen, die Tragklemme wäre gewichtlos, würde sie den Bewegungen des Seiles momentan folgen, und es würden keine Ermüdungsbeanspruchungen entstehen. Schwere Klemmen hingegen bilden für die Schwingungen einen Reflexionspunkt, vor dem das Seil wie vor einer Einspannstelle dauernd auf und ab gebogen und dadurch ermüdet wird. Eine solche, aus hochfestem Antikorodalblech hergestellte Tragklemme, die ebenfalls in der Schweiz entwickelt wurde, hat sich seit mehreren Jahren sehr gut bewährt. Es ist noch kein Fall eines in dieser in mehr als 17 000 Exemplaren angewendeten Klemme entstandenen Ermüdungsbruches bekannt.

²⁾ Vgl. Bull. SEV 1937, Nr. 23, S. 588.

³⁾ Vgl. Bull. SEV 1934, Nr. 10, S. 252; 1936, Nr. 19, S. 543.

Mittelspannungsleitungen aus Aluminium sind in der Schweiz noch verhältnismässig selten. Immerhin existieren einige, und deren erste, die Leitung Klosters-Zizers, wurde schon im Jahre 1909 erstellt. Sie ist heute noch zur vollständigen Zufriedenheit ihrer Besitzer im Betrieb. Im devisenbewirtschafteten Ausland wird Aluminium für Mittel- und Niederspannungsleitungen allgemein angewendet. Die Einführung wurde durch Kupfer-

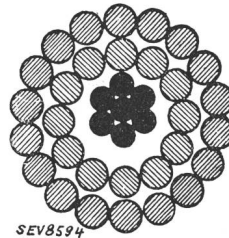


Fig. 5.

Konstruktion eines schwingungsdämpfenden Seiles.

verbote erleichtert. Die Erfahrungen damit, nachdem sich die Leitungsbauer an die besonderen Eigenschaften und Behandlungsweisen dieses für sie neuen Metalles gewöhnt hatten, sind restlos gut. Man hört oft die berechtigte Auffassung, dass auch bei Freigabe des Kupfers der Leitungsbau nicht mehr von Aluminium abgehen würde.

Bei der Befestigung der Leiter an Stützisolatoren sind die Bündel so auszuführen, dass der Leiter nicht direkt am Isolator anliegt, was durch Um-

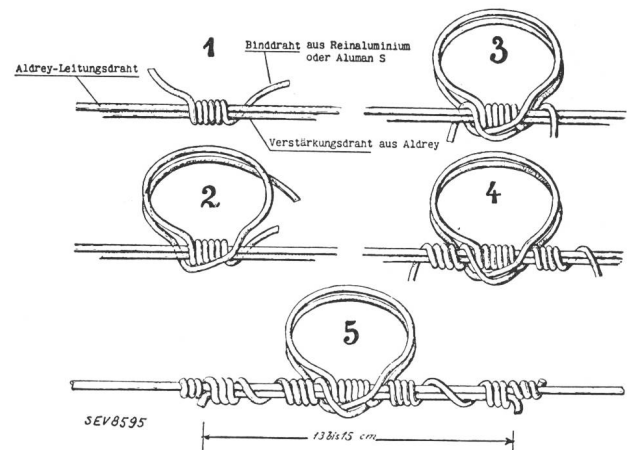


Fig. 6.

Bund für Telephondraht mit Verstärkung durch Beilagedraht.

wickeln mit Bindendraht oder Wickelband verhindert werden muss. Selbstverständlich ist hiezu nur Aluminium zu verwenden, da jeder Kontakt mit anderen Metallen, wo die Möglichkeit des Zutrittes von Feuchtigkeit besteht, vermieden werden muss. Als Bindendraht verwendet man halbharten oder weichen Reinaluminiumdraht, der etwas dicker ist als der bei Kupfer übliche Bindendraht.

Wenn Verbindungen zwischen Kupfer und Aluminiumleitungen im Freien unvermeidlich sind, ist zu bedenken, dass bei Zutritt von Feuchtigkeit als Elektrolyt zwischen diesen Metallen ein elektrochemisches Potential mit einer Spannung von 0,5 Volt entsteht, wobei das Aluminium der negative Pol ist. Wie bei jedem galvanischen Element wird dieser zersetzt, und es entsteht die bekannte Kontaktkorrosion. Deshalb müssen solche Verbin-

dungen so ausgeführt werden, dass der Zutritt von Feuchtigkeit an die Berührungsstelle zuverlässig vermieden ist oder dass eine Korrosion nur dort auftreten kann, wo sie nichts schadet. Eine einfache Lösung besteht darin, dass man über den Kupfer-

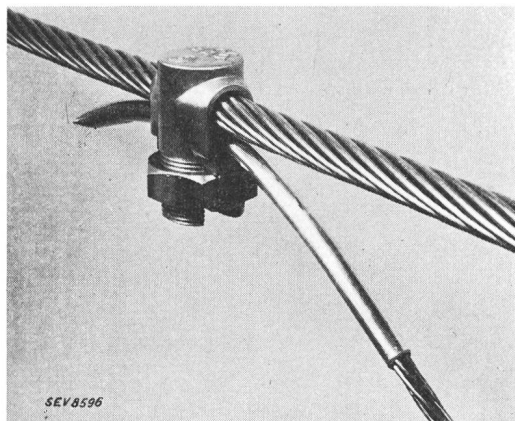


Fig. 7.

Korrosionsfreie Verbindung Aluminium auf Kupfer mit über Kupferseil geschobenem, weichem Aluminiumröhrchen.

leiter ein weiches Reinaluminiumröhrchen schiebt und die Verbindung so ausführt, wie bei Aluminium-Aluminium. Die Enden des Röhrchens müssen nach unten gebogen sein, damit kein Wasser eintreten kann. Günstig ist, den Kupferleiter vor Einschieben mit Vaseline zu fetten. Auf dem Markt sind auch spezielle Cu-Al-Verbindungsklemmen erhältlich.

Für Telefonleitungen eignet sich besonders die Al-Legierung Aldrey. Sie wird in Form eines einzelnen Drahtes oder eines 3drähtigen Seiles angewendet. Aus den erwähnten Gründen befriedigen die für Eisen- oder Bronzedraht üblichen

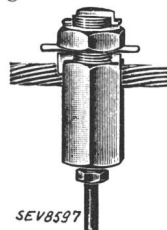


Fig. 8.

Korrosionsfreie Verbinder Aluminium auf Kupfer.

Bünde zur Befestigung an Stützisolatoren nicht. In eingehenden Draht-Schwingungsversuchen, die vom Bureau International pour l'Application de l'Aluminium angeordnet worden sind, wurden verschiedene Bünde für Aldreydrähte untersucht und der brauchbarste festgestellt.

Allgemein muss gesagt werden, dass Aluminium sich sehr gut als Leiter für jede Art von Freileitungen eignet. Man darf aber die Montagemethoden und Armaturen, welche sich für das schwere Kupfer gut eignen mögen, nicht kritiklos für Aluminium anwenden. Genau so, wie ein Bauwerk, etwa eine Brücke aus Holz, Eisen oder Stein, ganz verschieden aussieht, so muss man auch bei der Verwendung von Aluminium im Leitungsbau den besonderen Eigenschaften dieses Metalles Rechnung tragen. Heute sind die Bedingungen bekannt, die der Verwendung von Aluminium im Leitungsbau vollen Erfolg garantieren.

Aluminium in der Elektroindustrie.

Von J. U. Brunner, Zürich-Oerlikon.

621.315.53

Das Aluminium wird als wichtiger Werkstoff für den Bau elektrischer Maschinen und Apparate beschrieben. Auch die werkstattechnische Behandlung (Schweissen, Nieten, Schrauben) wird kurz erläutert. Zahlreiche Anwendungsbeispiele werden angegeben.

L'aluminium est une matière première importante pour la construction des machines et des appareils. L'auteur en traite brièvement l'usinage (soudure, rivetage, vis) et cite un grand nombre d'applications pratiques.

Einleitung.

Wie aus der Aluminiumschau an der Schweizerischen Landesausstellung hervorging, sind die wechselseitigen Beziehungen zwischen Aluminium und Elektroindustrie mannigfaltig und fruchtbar. Die Aluminium-Erzeugung hat ihrerseits auf die Entwicklung grosser Gleichstrom-Maschinen, in letzter Zeit auch der Grossgleichrichter, und der Apparate für grosse Stromstärken fördernd eingewirkt. Bereits im Jahre 1888 baute die Maschinenfabrik Oerlikon eine 6polige Gleichstrom-Dynamo, die für damalige Begriffe als «Riesendynamo» von 120 kW Leistung bei 6000 A und 16 ... 20 V Spannung gebührend bewundert wurde. Sie gelangte in der Anlage Neuhausen der Schweizerischen Metallurgischen Gesellschaft, der späteren Aluminium Industrie AG. Neuhausen, zur Herstellung von Aluminium zur Aufstellung. Andererseits hat die Elektroindustrie im Aluminium einen Baustoff zur Verfügung, der in manchen Fällen die Lösung schwieri-

ger Probleme ermöglicht. Aluminium und seine Legierungen werden sowohl für die Herstellung elektrischer Leiter, als auch für mechanische Bestandteile elektrischer Maschinen und Apparate verwendet.

Reinaluminium, wie auch verschiedene Aluminiumlegierungen sind genormt. Es sei auf die entsprechenden Normblätter des Vereins Schweizerischer Maschinenindustrieller, auf die Deutschen Industrie-Normen, diejenigen der englischen BESA und Air Ministry-Specifications hingewiesen, ferner auf die Regeln des SEV für Aluminium. Erwähnung verdienen ferner die Richtlinienblätter der Aluminium-Industrie AG. Neuhausen für die Verwendung von Aluminium und dessen Behandlung während der Weiterverarbeitung.

Eigenschaften des Aluminiums.

Die elektrische Leitfähigkeit des Aluminiums beträgt ca. 60 % derjenigen des Kupfers und ist stark