

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 27 (1936)  
**Heft:** 25

**Artikel:** Aluminium : Gewinnung : das Aluminiumwerk Chippis : Verwendung in der Elektroindustrie  
**Autor:** Preiswerk, M.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1061531>

### **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:** 24.01.2026

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





der Navizance, der Borgne, des Illsees und des Turmannbaches in fünf Kraftwerken ausschliesslich zur Erzeugung von Aluminium nutzbar gemacht. Ferner ist die schweizerische Gesellschaft massgebend beteiligt an einem Aluminiumwerk in Porto Mar-

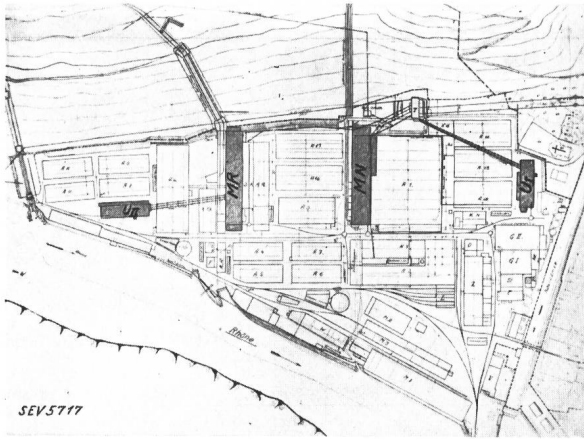


Fig. 4.  
Areal des Aluminiumwerkes Chippis.  
M R Maschinenhaus des Rhonewerkes.  
M N Maschinenhaus des Navizancewerkes.  
U I und U II Umformerwerk I und II.

ghera in Italien bei Venedig, dessen Kraftwerke in den Dolomiten sind, und Mitinhaberin eines kleineren spanischen Unternehmens. Zur Rohstoffsicherung beteiligte sie sich von Anfang an an Bauxitgruben und Tonerdefabriken in Frankreich, später an Bauxitgruben in Rumänien und an einem Tonerdewerk in Deutschland.

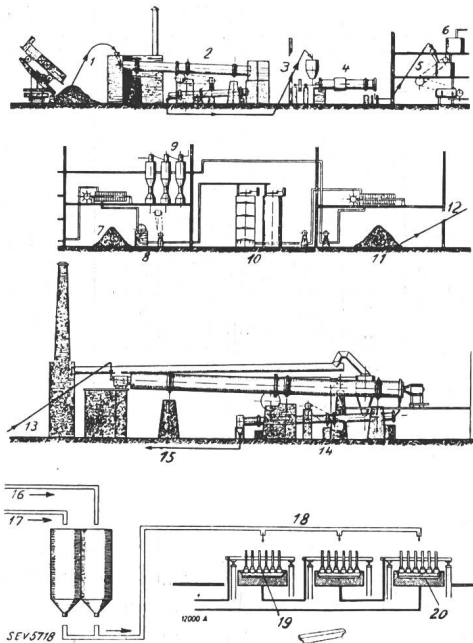


Fig. 5.  
Schematische Darstellung der Aluminium-Gewinnung.

1 Vorgebrochener Bauxit. 2 Bauxit-Kalzinieranlage. 3 kalzinierter Bauxit. 4 Bauxit-Müllerei. 5 gemahlener Bauxit. 6 Autoklavenhalle (Aufschluss). 7 Rotschlamm. 8 Rotpressenhalle. 9 Eindampfer. 10 Ausmahlhalle. 11 Weisspressenhalle. 12, 13 Tonerdehydrat. 14 Tonerde-Kalzinierung. 15 Abtransport der kalzinierten Tonerde. 16 Tonerde. 17 Kryolith. 18 Kryolith und Tonerde. 19 Kryolith-Tonerde-Schmelze. 20 Aluminium.

Die heutige Gewinnung des Aluminiums aus dem Bauxit erfolgt in zwei getrennten Fabrikationszweigen. Im ersten wird der rote Bauxit auf chemisch reine, schneeweisse Tonerde (Aluminiumoxyd) aufgearbeitet und im zweiten wird auf elektrolytischem Wege die Reduktion der Tonerde zu Aluminium durchgeführt. Während die Tonerdefabrikation zur Ersparung unnötiger Transportkosten in der Regel in der Nähe von Bauxitfundstätten oder Kohlengruben vorgenommen wird, befinden sich die Aluminiumhütten dort, wo billige elektrische Energie zur Verfügung steht. In der Schweiz finden sich weder Bauxit- noch Kohlenlagerstätten, dagegen besitzen wir zur Erzeugung elektrischer Energie in unseren Flüssen und Bergbächen billige Wasserkräfte, die unserem Lande eine lohnende Aluminium-Herstellung ermöglichen.

Bei der Fabrikation der Tonerde arbeitet man heute meistens nach dem Bayer-Verfahren. Es würde zu weit führen, diesen rein chemischen Prozess hier zu erklären. Die für die Aluminiumherstellung verwendete pulverförmige Tonerde muss möglichst frei von Verunreinigungen sein, da die Qualität des fertigen Metalles von der Reinheit der Tonerde abhängig ist.

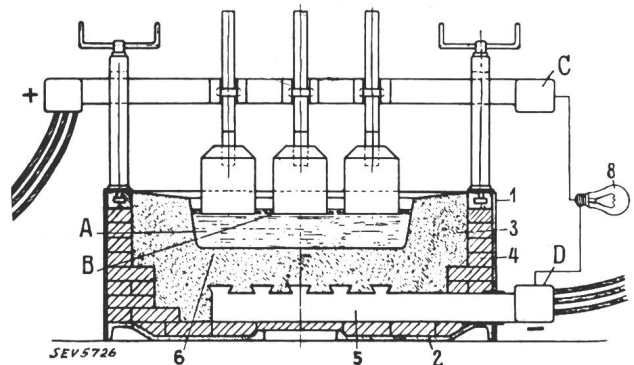


Fig. 6.  
8000-A-Zelle für Aluminiumelektrolyse.

- 1 Elektrolysegefäss. 3 Aufgestampftes Bodenfutter.
- 2 Anoden. 4 Mantel aus Mauerwerk.
- 5 Stromleiter. 6 Bodenplatte (Kathode).
- 7 Blechmantel. 8 Badboden.
- 9 Kathode. 10 Glühlampe als Spannungsmesser.

Die eigentliche Aluminium-Herstellung erfolgt in Elektrolysezellen, sogenannten Aluminiumöfen, durch Schmelzflusselektrolyse, d. h. aus dem aluminiumoxydhaltigen Schmelzflusse, dem Elektrolyten, wird das Aluminium mittels des elektrischen Stromes ausgeschieden. Die Aluminiumöfen sind viereckige oder runde, ungefähr einen Meter hohe Tröge. Der bekannteste Ofen besteht aus einem äusseren Eisenblechmantel, der mit Mauerwerk ausgekleidet und mit Kohlenmasse, die auf eine Guss-eisenplatte aufgestampft ist, ausgefüllt ist. Die Eisenplatte ist ausserhalb des Ofens an mehrere starke Stromleitungskabel angeschlossen, welche die leitende Verbindung zwischen dem als Kathode dienenden Ofenfutter und dem negativen Pol der Stromquelle herstellt. Die Anode wird von einer Anzahl leicht auswechsel- und verstellbarer Elek-



trodenkohlen gebildet, die von oben her in die Elektrolysenzelle hineinragen und in den Elektrolyten eintauchen. Der Elektrolyt (Ofenfluss) ist eine Kryolithschmelze, in welcher die zu reduzierende Tonerde gelöst ist. Der Ofenfluss wird durch die vom elektrischen Strom beim Durchgang entwickelte Wärme flüssig gehalten und hat eine Temperatur von annähernd 1000° C. Die Betriebsspannung beträgt ungefähr 6 V pro Ofen und der Strom je nach Ofengrösse 8000 bis 40 000 A. Beim Durchgang des elektrischen Stromes durch die Schmelze wird die in ihr gelöste Tonerde in Aluminium und Sauerstoff gespalten. Das Aluminium wandert zur

negativen Elektrode, der Kathode, und sammelt sich unter dem Schmelzfluss auf dem Boden der Elektrolysenzelle an, während der frei werdende Sauerstoff zur positiven Elektrode, der Anode geht und dort die Elektrodenkohlen zu Kohlensäure verbrennt.

Das an der Kathode angesammelte, flüssige Aluminium wird von Zeit zu Zeit dem ununterbrochen arbeitenden Ofen durch Abstich oder Schöpfung entnommen und in eisernen Formen zu «Masseln» gegossen.

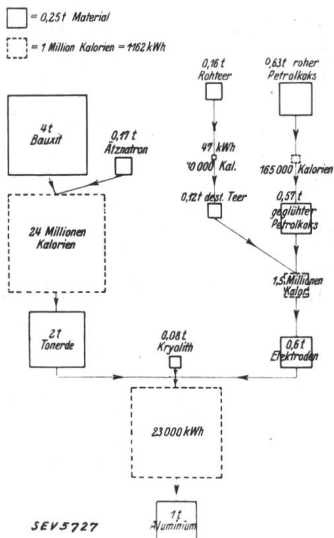


Fig. 7. Rohstoff- und Energie-Bedarf zur Herstellung von Aluminium.

Das handelsübliche Reinaluminium enthält 99,0 bis 99,5 % Aluminium; der Rest besteht vorwiegend aus Eisen und Silizium. Es ist aber heute durchaus möglich, bei Verwendung reiner Tonerde und aschefreier Anodenkohle, Reinaluminium mit mehr als 99,9 % Reingehalt in der Elektrolyse herzustellen.

Die Erzeugung von 1 kg Aluminium erfordert in der Reihenfolge der Verarbeitung:

- 4 kg Bauxiterz,
- 26 000 kcal Wärme,
- 0,17 kg Aetzatron,
- 24 kWh Gleichstrom,
- 0,63 kg Koks,
- 0,16 kg Teer,
- 0,08 kg Kryolith.

Es können somit in einem Aluminiumofen, der mit 8000 A belastet ist, täglich ungefähr 50 bis 60 kg Aluminium gewonnen werden.

Das aus der Elektrolyse erhaltene Rohaluminium wird entsprechend seiner analytisch ermittelten Zusammensetzung gattiert, in Flammöfen oder elektrisch geheizten Öfen umgeschmolzen und in die handelsüblichen Formen (Walzbarren, Drahtbarren, Pressbolzen, Masseln und gekerbte Blöckchen) vergossen.

Das Aluminium wird teils als solches, teils in Form von Legierungen zu Blechen, Stangen, Profilen, Rohren, Drähten und Folien verarbeitet oder zur Herstellung von Formguss verwendet.

Aus dieser theoretischen Abhandlung geht hervor, dass man zur Erzeugung von 1 kg Al ca. 24 kWh Gleichstrom braucht, so dass für die etwa 20 000 t Al (Mittel 1926 bis 1930) betragende Jahresproduktion pro Jahr etwa 480 Millionen kWh Gleichstrom nötig waren. Kein anderes elektrochemisches Produkt braucht, auf die Gewichtseinheit berechnet, zur Herstellung auch nur annähernd solch grosse Energiemengen. Es ist deshalb eine Lebensnotwendigkeit der Aluminiumfabrikation, elektrische Energie in genügendem Masse und zu niedrigem Preis zur Verfügung zu haben und deshalb hat die Aluminium-Herstellung im Wallis, des an Wasserkräften so reichen Kantons, Fuss gefasst.

## 2. Die elektrischen Anlagen des Werkes Chippis.

Das Werk Chippis wird, wie schon erwähnt, von fünf Kraftwerken mit elektrischer Energie versorgt, nämlich den Werken an der Navizance, an der Rhone, an der Borgne mit Dixence, am Turtmannbach und am Illsee.

Die Maschinenhäuser des Navizance- und des Rhonewerkes sind direkt im Werkareal Chippis, während die andern drei Werke ihre Produktion mit Uebertragungsleitungen nach Chippis liefern.

Die Wasser der Navizance, die bei Vissoye im Val d'Anniviers gefasst werden, gelangen durch einen Freispiegelstollen und zwei Druckleitungen

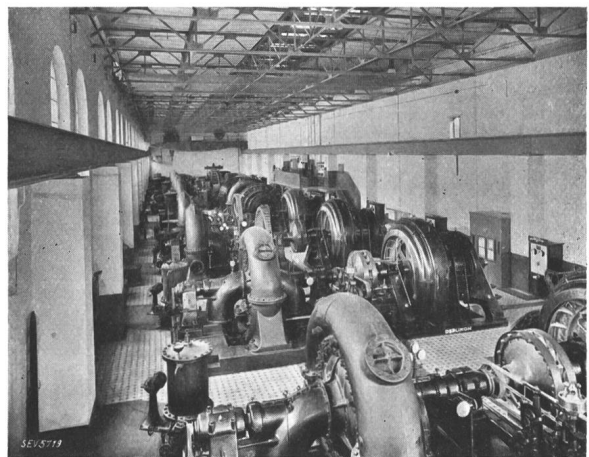


Fig. 8. Maschinensaal des Rhonewerkes.

mit einem Gefälle von 567 m in das Maschinenhaus, wo sie in 15 Pelton-turbinen ausgenutzt werden. Abgesehen von drei kleinen Maschinen, welche für die Nebenbetriebe bestimmt sind, erzeugt eine Maschine eine Leistung von 2700 kW und elf andere je 1850 kW. Sie sind direkt mit Gleichstromgeneratoren gekuppelt, welche 8000 A bei 220, bzw. 350 V erzeugen können.

Das Rhonewerk nützt die Rhone von Leuk/Susten bis Chippis aus, mit einem Gefälle von 80 m.

Das Wasser fliesst zuerst in einem offenen Kanal und dann in einem Freilaufstollen bis zum Wasserschloss und wird von dort in zwei Druckleitungen von 3 m Durchmesser dem Maschinenhaus zugeführt, in dem 11 Francis-Turbinen aufgestellt sind. Davon haben fünf Turbinen eine Leistung von 5500 kW, vier eine solche von 3000 kW und zwei eine kleinere Leistung für Erregerzwecke. Zwei der grossen Turbinen sind mit Drehstromgeneratoren direkt gekuppelt, während drei derselben je zwei Gleichstromgeneratoren und die vier 3000 kW-Turbinen je einen Gleichstrom-Generator direkt antreiben. Auch in diesem Werk wird also ein grosser Teil der Turbinen-Leistung direkt in Gleichstrom umgewandelt.

Im Maschinenhaus *Bramois*, welches die Wasser der Borgne und der Dixence mit einem Gefälle von 366 m ausnützt, sind vier Pelton-Turbinen mit Drehstrom-Generatoren von je 6000 kW Leistung aufgestellt. Das zugeführte Wasser kann in einem Reservoir bei Luette und beim Wasserschloss für Ausgleichzwecke aufgespeichert werden. Die in Bramois erzeugte Energie wird über vier Drehstromleitungen mit einer Spannung von 42 kV nach Chippis übertragen.

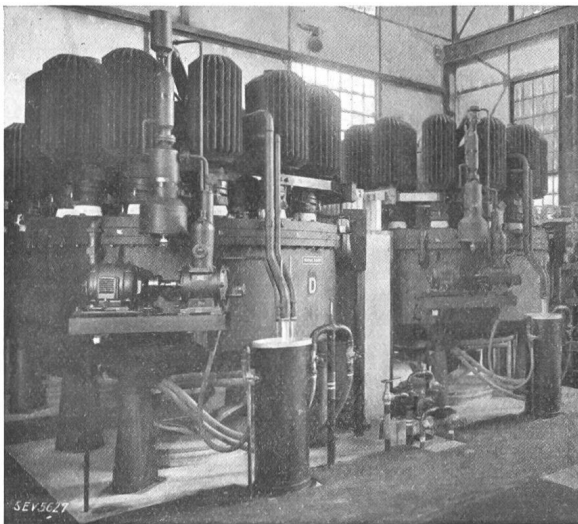


Fig. 9.

Mutatoranlage des Aluminiumwerkes Chippis für total 16 000 bis 18 000 A bei 450 V Gleichspannung, mit automatischer Regulierung des Stromes durch Gittersteuerung.

Die neuesten, erst in den Jahren 1924 bis 1927 gebauten Anlagen sind diejenigen der *Illsee-Turtmann*-Werke. Das Wasser des Illsees, welcher ein Fassungsvermögen von fünf bis sechs Millionen m<sup>3</sup> hat und der von der Pumpanlage Meretschi aus gefüllt wird, wird nur für Winter- und Spitzenkraft angewendet. Im Maschinenhaus Oberems sind zwei Maschinen-Einheiten von zusammen 8000 kW, die mit einem Druck von 983 m aus dem Illsee gespeisen werden. Das Unterwasser dieses Kraftwerkes mischt sich mit dem Wasser des Turtmannbaches, welcher im Turtmantal gefasst und mit einem Druckstollen nach Oberems geleitet wird. Diese

Wasser werden dem Kraftwerk Turtmann mit einem Gefälle von 734 m zugeführt. Hier sind zwei Turbinengruppen, welche zusammen 14 000 kW abgeben. Die Pumpanlage Meretschi sowie die Anlage Oberems sind durch Kabelleitungen mit dem Maschinenhaus Turtmann verbunden. Die Energie wird über zwei Drehstromleitungen von 60 kV nach Chippis transportiert.

In Chippis wird die ankommende Drehstromenergie auf das allgemeine 5 kV-Netz transformiert und in Umformer- oder Mutatoranlagen in Gleichstrom umgewandelt. Die Umformer bestehen aus Synchron- oder Asynchronmotoren, die mit einem oder zwei Gleichstrom-Generatoren direkt gekuppelt sind. Jeder erzeugt 8000 bis 8500 A, bei einer Spannung von 200 bis 400 V. Für grössere Ströme werden mehrere dieser Gleichstrom-Generatoren parallel geschaltet. Die Mutatoranlage erzeugt Gleichstrom von 16 000 bis 18 000 A, bei max. 450 V. Sie ist mit vier parallel arbeitenden Mutatoren zu je 12 Anoden ausgerüstet, die mit automatischer Gittersteuerung auf konstanten Strom reguliert werden.

Die Aluminium-Oefen, deren Konstruktion vorher besprochen wurde, brauchen, wie erwähnt, eine Spannung von ca. 6 V. Deshalb arbeitet jede Maschine auf eine Serie hintereinandergeschalteter Oefen, deren Zahl zwischen 30 und 70, je nach der zur Verfügung stehenden Leistung, schwankt.

Neben der Energieabgabe an die Elektrolyse wird in einem Aluminiumwerk auch viel elektrische Energie für Nebenbetriebe gebraucht. Hier sei nur die elektrische Umschmelzerei und die elektrische Koksglühung erwähnt. Auch eine respektable Leistung benötigt das Legierungs-Walzwerk für die vielen, teilweise grossen Motoren und die Vergütungs- und Glühöfen.

Diese grosse Konzentration von Erzeugung und Verbrauch elektrischer Energie bringt es mit sich, dass auch mit umliegenden Kraftwerken Energie-Handel, -Lieferung und -Bezug, stattfindet. Deshalb ist das Werk Chippis über die Gemmi mit dem Netz der Bernischen Kraftwerke A.-G. verbunden. Ferner existieren Verbindungsleitungen mit Lonza, Energie de l'Ouest Suisse, Dixence und Dala.

### 3. Die Verwendung des Aluminiums in der Elektrotechnik.

In den Anlagen der AIAG, insbesondere in Chippis, wird das Aluminium für Schaltanlagen und Hochstromleitungen in sehr grossem Umfang verwendet. In Hoch- und Niederspannungsschaltanlagen hat sich dieses Metall seit der Erstellung des Werkes eingeführt und vollständig bewährt. Auch die Hochspannungsleitung Bramois-Chippis hat Aluminium-Leiter. Auf der Leitung Turtmann-Chippis wurde im Jahre 1924 erstmals die von der AIAG für Freileitungszwecke entwickelte Aluminium-Legierung «*Aldrey*» angewendet, die bei guter Leitfähigkeit eine fast doppelt so grosse Festigkeit hat wie Reinaluminium. Nach diesen Anfängen hat

das Aluminium im Inland und Ausland in der Elektrotechnik grossen Eingang gefunden. Ganz besonders im Leitungsbau wird es in immer grösserem Masse angewendet. In der Schweiz bestehen sehr viele grosse Uebertragungsleitungen aus Aldrey,

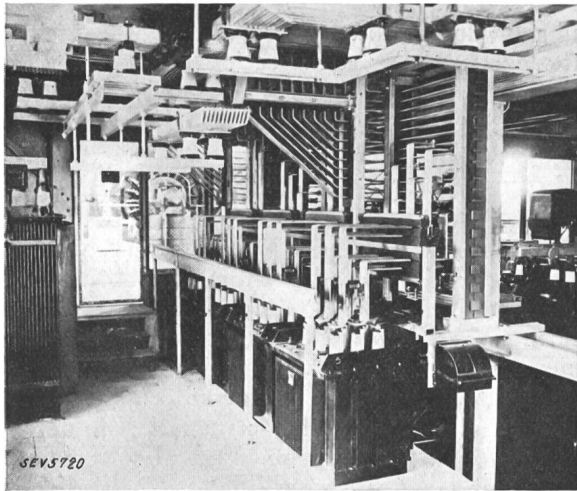


Fig. 10.

Aluminium-Schienenverbindungen einer Umformeranlage.

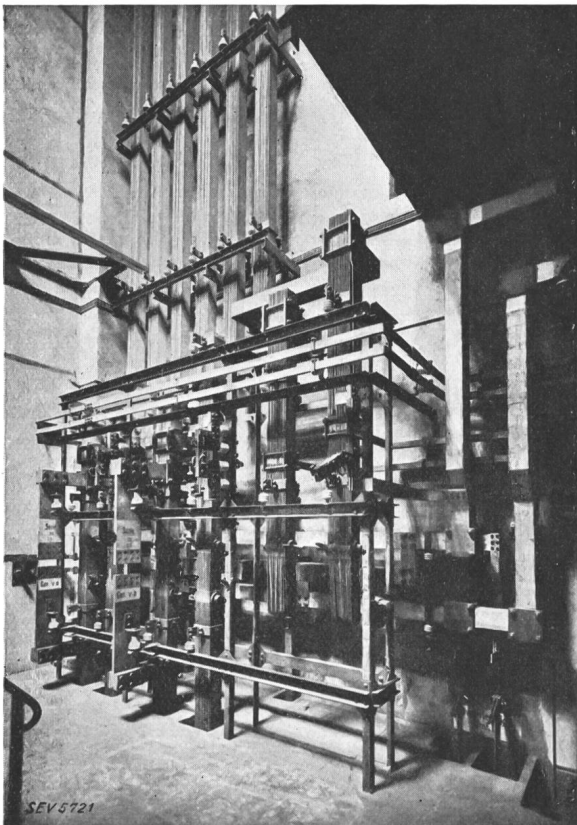


Fig. 11.

Teil einer Hochstromschaltanlage in Chippis, ausgeführt mit Aluminium-Schienen.

Stahl-Aluminium oder Reinaluminium<sup>1)</sup>). Hier sei nur auf die 132 kV-Uebertragungsleitung Puidoux-Rupperswil der Schweiz. Bundesbahnen hingewie-

<sup>1)</sup> Bull. SEV 1934, Nr. 4, S. 99.

sen, welche als erste grosse Aldreyleitung im Jahre 1925 gebaut wurde und die Erwartungen ihrer Erbauer vollständig erfüllt hat.

Aber nicht nur als aktives Material, d. h. als Stromleiter hat das Aluminium in die Elektrotech-

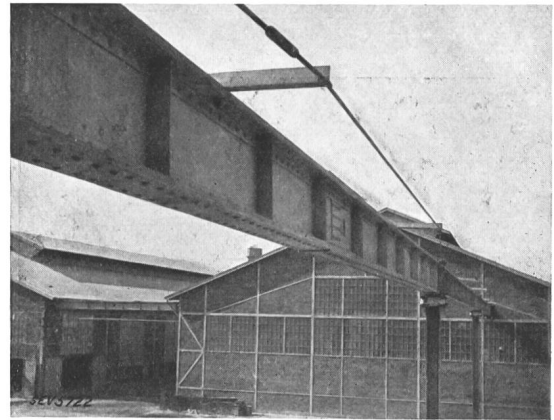


Fig. 12.

Träger aus Aluminium, als Stromleiter für 18 000 A verwendet.

nik Eingang gefunden, sondern auch als passives oder Konstruktionsmaterial, und zwar überall dort, wo seine besondern Eigenschaften Vorteile bringen. Dazu hat die Entwicklung der Aluminium-Legierungen, die in den letzten Jahren grosse Fortschritte gemacht hat, wesentlich beigetragen. Sie sind in der Schweiz unter den Namen: Anticorodal, Avional, Aluman, Silumin und Alufont bekannt. Die Eigenschaften, welche bei der Anwendung von Aluminium oder dessen Legierungen besonders beachtet werden müssen, sind folgende:

1. Hohe Leitfähigkeit.
2. Geringes spezifisches Gewicht.
3. Gute mechanische Eigenschaften, besonders hochfester Konstruktionslegierungen.

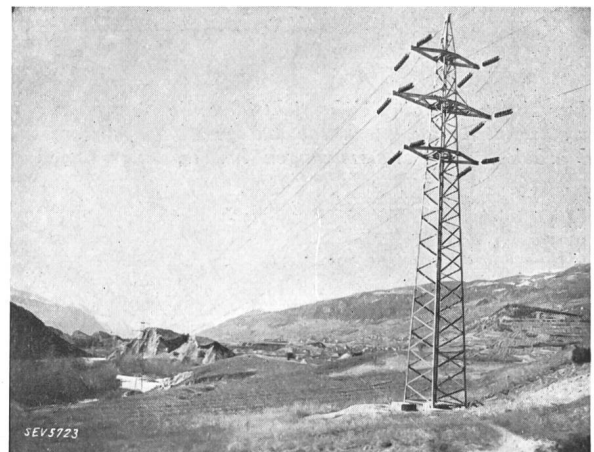


Fig. 13.

Abspannmast der Leitung von Turtmann nach Chippis, der ersten Aldrey-Leitung.

4. Gute Giessbarkeit und hohe Dehnung der Gusslegierungen.
5. Leichte Verarbeitbarkeit, biegen und schweissen.
6. Rostfreiheit, gute chemische und Wetterbeständigkeit.
7. Fehlen von ferromagnetischen Eigenschaften.
8. Bildung nichtleitender Verbrennungsrückstände.



Diese Eigenschaften machen das Metall vorteilhaft zur Verwendung für Verschaltungen von Maschinen, Bürstenbrücken, Käfiganker von Kurzschlussmotoren, Propellerräder, Getriebegehäuse, Schalteredel und Traversen, Kondensatorbeläge, Radio- und Telefonapparate und viele andere Gebiete.

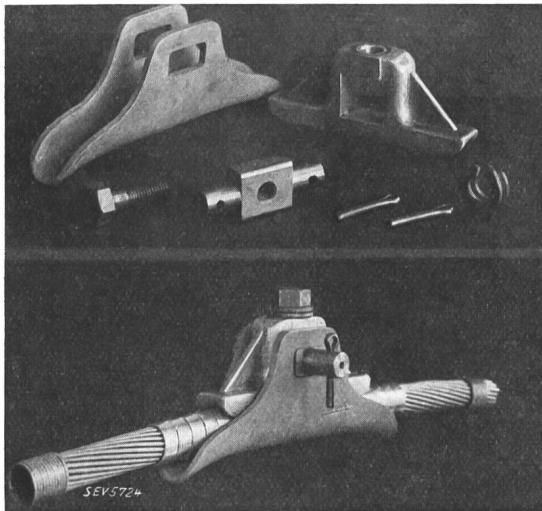


Fig. 14.

Leichte und bewegliche Tragklemme aus Anticorodal für Freileitungen, speziell für Seile aus Aluminium, Aldrey oder Stahl/Aluminium geeignet.

Leider hat die Verwendung von Aluminium, dieses jüngsten aller Metalle, in der Schweiz noch nicht die grosse Bedeutung erlangt wie in andern Ländern, besonders wie in dem devisenschwachen Deutschland<sup>2)</sup>. Wenn wir hoffentlich in der

<sup>2)</sup> Siehe Bull. SEV 1934, Nr. 14, S. 393.

Schweiz von Kupferverbot und ähnlichen Beschränkungen, die in Deutschland bestehen, verschont bleiben, dürfen wir doch nicht vergessen, dass das Aluminium das einzige in der Schweiz hergestellte Metall ist, für dessen Herstellung nur ein kleiner Prozentsatz für Rohprodukte ins Ausland geht, der Hauptanteil aber der schweizerischen Wirtschaft und der schweizerischen Arbeiterschaft verbleibt<sup>3)</sup>.

Bei den ersten Anwendungen von Aluminium machte man nicht immer nur gute Erfahrungen. Der Fehler lag fast ausnahmslos daran, dass der neue Werkstoff ohne Rücksicht auf seine speziellen Eigenschaften angewendet wurde. Konstruktionen, die sich für Kupfer oder Bronze ergeben hatten, wurden kritiklos auf Aluminium übertragen. Es sei hier nur darauf hingedeutet, dass Aluminium im Freien, wo Feuchtigkeit zutreten kann, nur mit Metallen, mit denen es nicht korrodiert, in Kontakt kommen soll, also ja nicht etwa mit Kupfer oder kupferhaltigen Legierungen. Fast alle Korrosionsschäden sind auf Elementbildung mit Kupfer zurückzuführen.

Die Aluminiumwerke unterhalten Versuchs- und Materialprüflaboratorien und Auskunftsstellen, welche dieses noch so junge Metall nach allen erdenklichen Methoden untersuchen und Auskunft erteilen, damit Fehler nach Möglichkeit vermieden und die guten Eigenschaften richtig ausgenützt werden.

<sup>3)</sup> Bei der Exkursion nach Chippis am 9. September 1935 hatte man Gelegenheit, die Herstellung von Blechen, Profilen, Rohren aus diesen Legierungen zu sehen; die Vorstellung über Aluminium, die sich bei vielen noch mit dem Bild einer Pfanne mit verbeultem Boden deckt, hat dabei andern Vorstellungen gründlich Platz gemacht. Red.

## Zur Begründung der Operatorenrechnung.

Von Ernst Völm, Zollikon.

517.43

*Der Autor gibt eine Uebersicht über die Begründung der Operatorenrechnung durch die Laplacesche Transformation und arbeitet die Voraussetzungen heraus, unter denen die Operatorenrechnung angewendet werden darf. Auf Einzelheiten wird nicht näher eingegangen.*

*L'auteur donne un aperçu des bases du calcul opératoire par la transformation de Laplace et déduit les conditions à remplir pour pouvoir appliquer ce mode de calcul, sans entrer dans les détails de la méthode.*

### 1. Einleitung.

Die Operatorenrechnung, ein von Heaviside eingeführtes Verfahren zur Integration von Differentialgleichungen, erfreut sich besonders bei den Elektroingenieuren steigender Beliebtheit. Es existieren bereits einige Lehrbücher über diesen Gegenstand. Wie wertvoll diese von Praktikern verfassten Werke hinsichtlich der gebotenen Anwendungsbeispiele auch sind, so befriedigen sie weder den Ingenieur noch den Mathematiker vollständig.

Heaviside selbst hat die Rechenregeln des nach ihm benannten symbolischen Kalküls zum Teil, von Analogien geleitet, ohne Beweis auf intuitivem Wege gewonnen. Andere Autoren haben die Richtigkeit der Ergebnisse der symbolischen Methode

für gewisse Typen von Differentialgleichungen nachgewiesen, indem sie die Uebereinstimmung mit den auf klassischem Wege gewonnenen Lösungen feststellten. Dieses Verfahren ist offenbar unbefriedigend, da es weder neue Ergebnisse noch neue Begründungen bekannter Sätze liefert. Wieder andere, um eine selbständige Begründung bemühte Verfasser beweisen gewisse Sätze und wenden sie dann auf viel allgemeinere Fälle an, die den Voraussetzungen des Satzes nicht genügen.

Einwandfrei begründen und leichtfasslich herleiten lassen sich die bekannten Regeln der Operatorenrechnung, seitdem man weiss, dass sie eng mit der Laplaceschen Transformation zusammenhängt. Der Zweck der folgenden Zeilen ist, die Leser dieser