

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 64 (1973)
Heft: 14

Artikel: Explosivschweissen : neue Verbindungstechnik für Aluminiumleiter
Autor: Iten, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915573>

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: 02.04.2025

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

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Explosivschweissen – neue Verbindungstechnik für Aluminiumleiter

Von W. Iten

621.791.12 : 662.2 : 621.316.992

Dank den technisch immer perfekter werdenden Verbindungsmethoden hat Aluminium als Leitmaterial in den letzten Jahren mehr und mehr Anwendungsgebiete erobert. Im Bestreben solche Verbindungen rationeller und vor allem noch sicherer zu bewerkstelligen, haben die Alcan-Laboratorien in Banbury (England) eine für dieses Anwendungsgebiet neue Technik, das sog. Explosivschweissen, entwickelt. In einer langen Reihe von Versuchen ging es dabei darum, gebrauchsfertige Sprengsätze für eine grosse Anzahl von Leitertypen zu konstruieren, die eine maximale Verbindung garantieren. Nebst dem Sprengstoff verwendete man bei diesen Versuchen vor allem ungefährliche (weiche) Materialien wie Karton, Kautschukstreifen, Klebbänder und Klebemittel, damit beim Explodieren keine harten und schweren Bruchstücke durch die Luft geschleudert würden.

Das Prinzip des Explosionsschweissens ist relativ einfach und sei im folgenden Beispiel der «Kalt-Verschweissung» von zwei Erdungsbändern aufgezeigt (Fig. 1):

Die zu verbindenden Enden der Erdungsbänder werden unter Zwischenlage von 2 Gummistreifen von ca. 2 mm Dicke mit einer Überlappung von einigen Zentimetern aufeinandergelegt (Fig. 2):

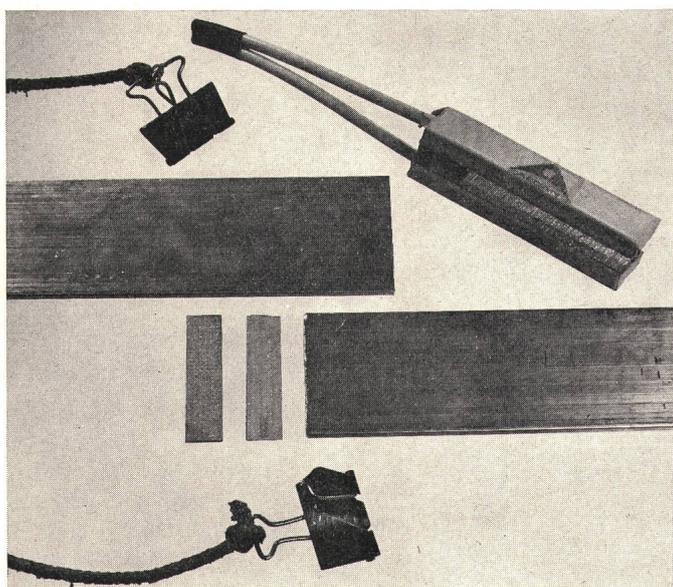


Fig. 1
Sprengsatz und Zubehör für das Explosivschweissen
von Al-Erdungsbändern

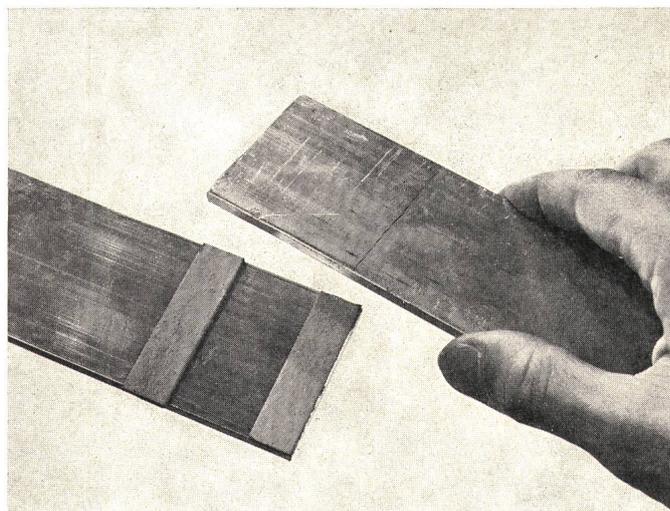


Fig. 2
Enden von zwei zu verschweisenden Al-Bändern,
eines davon mit aufgeklebten Distanzstücken

Die Überlappung wird durch zwei starke Klammern fixiert und nachher der Sprengsatz, der Form nach einer Wäscheklammer nicht unähnlich, darübergeschoben (Fig. 3):

Die Zündung des Sprengsatzes, kurz «Pack» genannt, geschieht auf konventionelle Art, das heisst, eine langsam (1 cm/s) brennende Zündschnur wird durch ein Streichholz in Brand gesetzt und bringt eine Kombination von Zündkapsel, Detonationszündschnur und Sprengstoff zur Explosion. Durch den gleichzeitig auf beiden Seiten der Verbindungsstelle auftretenden ungeheuren Explosionsdruck werden die

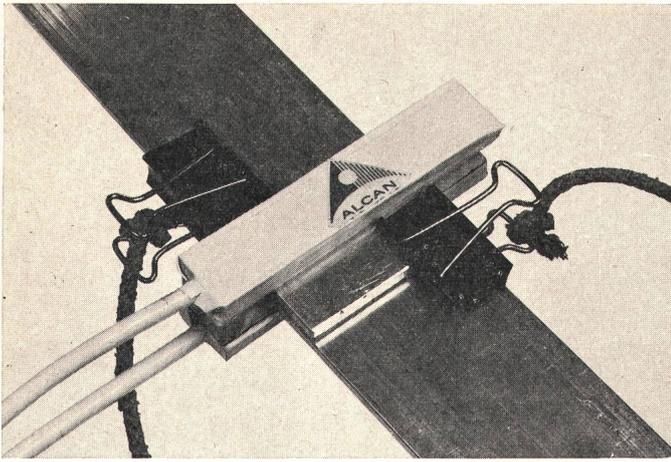


Fig. 3
Vorbereitete Verbindungsstelle, vor der Zündung

Enden der Erdungsbänder an einer etwa 1 cm breiten Stelle zusammengefügt und dabei kalt verschweisst. Diese Methode ergibt eine sehr gute und dauerhafte Verbindung sowohl in mechanischer wie auch in elektrischer Hinsicht.

Bei Prüfung der mechanischen Festigkeit mit einer Zerreißmaschine befindet sich die Bruchstelle immer ausserhalb der Schweisszone (Fig. 4):

Dass die elektrische Verbindung ebenso tadellos ist, sieht man beim Betrachten des Gefügebildes der Grenzschicht durch das Mikroskop. Die Oxidschicht der beiden Aluminiumbänder ist aufgerissen, und die reinen Metalloberflächen sind wellenförmig miteinander verbunden (Fig. 5). Vergleichende Widerstandsmessungen bestätigen die ausgezeichnete Leitfähigkeit der Verbindungsstelle (der Widerstand gegenüber dem Leiter ist ca. 30 % geringer).

Erdungsbänder werden während ihrer ganzen Lebensdauer sehr selten elektrisch so stark beansprucht, wie der Leitungsquerschnitt eigentlich dimensioniert ist. In solchen entscheidenden Sekundenbruchteilen muss aber die Verbindung absolut zuverlässig sein, um den Erdschlußstrom möglichst ungefährlich ableiten zu können.

Mit der Verwendung von Aluminiumbändern als oberirdische Zuleitungen zu den Erdungen und der Anwendung des Explosionsschweißens können ganz erhebliche Kosten

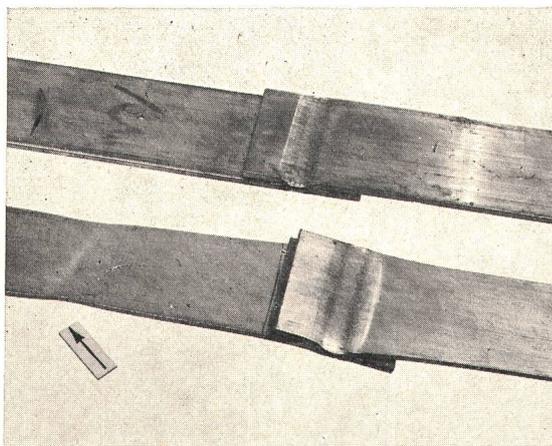


Fig. 4
Explosivgeschweisste Verbindungen
oben: vor der Zerreißprobe
unten: nach der Zerreißprobe; Einschnürung deutlich erkennbar links von der Schweißstelle

eingespart werden. Die Übergangsverbindungen zu den eigentlichen Erdungen (Tiefenerder usw.) werden in gleicher Art und Weise ausgeführt, wobei dann aber Aluminium mit Kupfer verschweisst wird. Diese Verbindungsstellen müssen selbstverständlich durch Lackieren, Teeren oder Einbinden mit Bändern vor Korrosion geschützt werden. Das Explosionsschweißen von zwei verschiedenen Metallen eröffnet übrigens eine grosse Anzahl von Anwendungen auch auf nichtelektrischem Gebiet.

Aus dem Entwicklungsstadium heraus und praktisch im Einsatz sind auch schon einige Typen von Packs für die Verbindungen von Freileitungsseilen. Bei dieser Anwendung ist die Ladung so dosiert, dass nicht eine eigentliche Verschweissung stattfindet, sondern dass die mechanische, stufenweise erfolgende Verpressung durch den zeitlich sehr kurzen Explosionsdruck ersetzt wird. Die Packs bestehen aus röhrenförmigen Kartons, auf deren Aussenseite der Explosivstoff, gleichmässig über die Oberfläche verteilt, angebracht ist. Die Zündung erfolgt auch wieder über Normalzündschnur – Zündkapsel – Detonationszündschnur. Letztere ist fest mit dem Zentrum des Sprengsatzes verbunden. Bei Reinaluminiumseilen wird die Verbindungshülse über



Fig. 5
Mikro-Aufnahme Gefügebild (100 ×) Explosivschweißstelle
Um die Verschmelzung deutlicher hervorzuheben, ist Reinaluminium mit einer Al-Cu-Legierung (4 % Cu) verschweisst worden. Die helle Fläche auf der Photographie ist das Reinaluminium, die dunkle die Al-Cu-Legierung. Die grauen Flächen zeigen deutlich die Stellen der vollständigen Verschmelzung (Cu-Gehalt 2 %)

die Seilenden geschoben, so dass diese in der Hülsenmitte aufeinandertreffen. Der Pack wird gezündet – und die Verbindung ist fertig. Bei Stahlaluminiumseilen wird zuerst eine Stahlhülse mit der entsprechenden Ladung über die Enden des Stahlkerns geschoben und zur Explosion gebracht. In einem zweiten Arbeitsgang wird der schon vorher über das Seil etwas abseits geschobene Pack mit der Aluminiumverbindungshülse wieder über der Verbindungsstelle plaziert und gezündet. Auf dieselbe Art können Pressabspannklemmen am Seilende angebracht werden.

Der Explosionsdruck dieser Packs ist so bemessen, dass in erster Linie eine sehr gute Verpressung stattfindet, aber dennoch die Aluminiumdrähte nur minimal und die Stahldrähte überhaupt nicht deformiert werden. Schliffbilder zeigen eine sehr kompakte Verpressung. Die von den meisten nationalen und internationalen Normen geforderte Bruchfestigkeit der Verbindung (95 % der Bruchfestigkeit des Seiles) ist vollkommen gewährleistet. Die Vorteile dieser Verbindungsmethode sind offensichtlich:

Die Anschaffung und der Unterhalt von teuren Presswerkzeugen, Matrizen und eventuell dazugehörigen Motorpumpen fällt vollkommen weg. Das Vorbereiten der Seilenden erfordert etwa gleich viel Zeit wie bei der konventionellen Verpressung mit hydraulischen Werkzeugen. Hingegen geschieht die Verpressung selber, inklusive Brenndauer der Zündschnur, innert weniger als 1 min. Dies ergibt gesamthaft gesehen eine bedeutende Reduktion der Montagezeiten.

Ein anderer Vorteil besteht darin, dass keine schweren Presswerkzeuge an die Montagestelle transportiert und, im Falle der Abspanner, auf die Masten gehievt werden müssen. Damit fällt auch wieder ein ziemlich grosser Arbeitsaufwand weg. Bei Leitungstrassen im Gebirge ist diese Erleichterung sicher nicht unerwünscht. Die Qualität solcher Verbindungen ist unabhängig vom Geschick und vom Ausbildungsstand der damit beauftragten Personen.

Bei dieser neuen Verbindungsmethode dürfen die folgenden zwei Faktoren nicht ausser acht gelassen werden:

1. Lärm

Es ist klar, dass bei der Explosion eines Packs ein ziemlich lauter Knall entsteht. Auf einer Baustelle ist dies aber eine alltägliche Sache. Berücksichtigt man die örtlichen Gegebenheiten, zum Beispiel beim Bau einer Schaltstation, so sollte die Lärmimmission eines solchen Montageverfahrens nicht zu sehr ins Gewicht fallen. Der Lärm beim Verbinden von Erdungsbändern ist vergleichbar mit dem Schaltknall eines Druckluftschalters.

Übertragungsleitungen befinden sich meistens in einem geeigneten Abstand von Siedlungen, so dass auch hier nicht von einer grossen Beeinträchtigung des Ruhebedürfnisses der Bevölkerung gesprochen werden kann. Bei zwingenden Umständen kann der Lärm durch Anbringen von schallschluckendem Material, wie zum Beispiel Schaumgummimatten, stark reduziert werden.

2. Unfallgefahr

Beim Umgang mit Sprengstoffen müssen einige, mancherorts gesetzlich vorgeschriebene Vorsichtsmassnahmen getroffen werden. Es betrifft dies die Lagerung, den Transport und das Hantieren mit Sprengstoff. Das Detonieren von Packs kann man aber nicht mit üblichen Sprengungen vergleichen, bei denen feste Stoffe wie zum Beispiel Erde, Fels, Baumstrünke, Abbruchhäuser (um nur einige zivile Anwendungsgebiete zu erwähnen) auseinander gesprengt werden. Bei solchen Sprengungen wird die Ladung im Zentrum oder an der wirkungsvollsten Stelle des zu

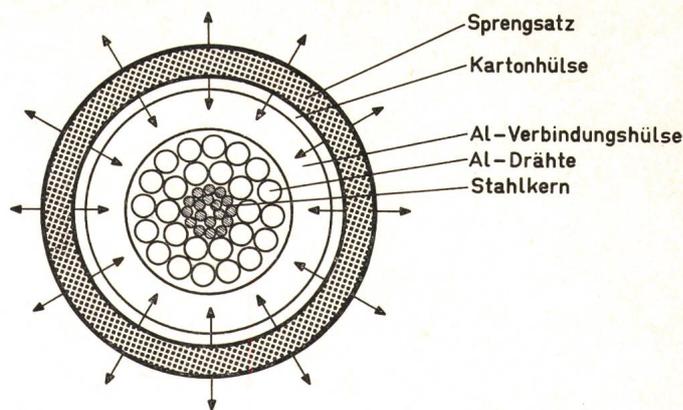


Fig. 6
Druckwellen bei einer Explosion

sprengenden Objektes angebracht, während beim Explosivschweissen und -pressen die Ladung möglichst gleichmässig rund um das Verbindungsstück herum verteilt ist. Bei der Explosion entstehen nun, vereinfacht gesagt, Druckwellen, die sich in zwei verschiedene Richtungen bewegen. Die eine Druckwelle bewegt sich radial vom Explosionszentrum weg, die andere prallt auf die sich im Zentrum befindende Verbindung (Fig. 6).

Mit der Druckwelle nach aussen werden natürlich Bruchstücke des Packs, zum Beispiel Kartonfetzen, Klebebänder usw., mitgeschleudert. Diese Partikel können aber bei einem Abstand von nur wenigen Metern den mit dem Explosivschweissen beschäftigten Personen nicht mehr gefährlich werden. Mit einiger Umsicht lässt sich auch jeder Sachschaden verhüten. Zudem besitzen Leitungsbauleute meist genügend praktische Erfahrung im Umgang mit Sprengstoffen von andern Anwendungen her.

Adresse des Autors:

W. Iten, Alcan S.A., Dufourstrasse 43, 8022 Zürich.

ALBERT AICHELE

1865 — 1922



Grosse Erfindungen setzen neue Zielpunkte. Aber diese Ziele sind nur erreichbar, wenn die zuerst gebauten, physikalischen Apparaten gleichenden Einrichtungen in ausdauernder und mühsamer Arbeit zu robusten Maschinen und brauchbaren Geräten weiterentwickelt werden. Ausser elektrischen Generatoren und Motoren braucht man in der Elektrotechnik auch Schalter, Sicherungen, Relais und vieles andere mehr.

Gerade auf diesem Gebiet der Verbesserungen und Weiterentwicklungen hat Albert Aichele vieles geleistet. In 14-jähriger Arbeit entwickelte er bei Brown, Boveri die ersten stromabhängigen Primär- und Sekundärrelais, einen Gleichstrom-Schnellschalter, verbesserte die Ölschalter durch eine mechanische Dämpfung und indem er die gegen Schläge empfindliche Porzellanisolation durch Hartpapier ersetzte. Unter seinen vielen Patenten findet man ferner verbesserte Zugbeleuchtungsregler, einen Trenner mit Axialbewegung und den Webstuhltrieb mit Wippe.

Aichele wurde am 13. Februar 1865 als Basler Bürger in Lörrach geboren. Seine Gymnasialzeit verbrachte er teils in Basel, teils in Lausanne. Dann ging er auf das Eidg. Polytechnikum in Zürich, wo ihn Prof. H.F. Weber für die Elektrotechnik begeisterte. Noch vor dem Abschluss seiner Studien trat er eine Stelle bei der Maschinenfabrik Oerlikon an, für die er kurze Zeit in Südamerika arbeitete. Als C.E.L. Brown und W. Boveri 1891 in Baden ihre eigene Firma gründeten, ging Aichele ebenfalls nach Baden. Dort leitete er, anfänglich zusammen mit Dr. Sulzberger, dann von 1902 an allein, das Versuchslokal. 1909 wurde er zum Direktor befördert, in welcher Eigenschaft er als Erfinder und Konstrukteur eine besonders fruchtbare Tätigkeit entwickelte.

Als junger Mann war Aichele ein ebenso begeisterter wie erfolgreicher Hochradfahrer gewesen und hatte sogar an verschiedenen internationalen Hochradrennen teilgenommen. Später interessierte ihn das Auto. In Basel war er der erste Automobilist.

Aichele war ein sehr ideenreicher Kopf, verfügte über ein sicheres technisches Urteil und getraute sich auch neue Wege einzuschlagen. Seine rastlose Tätigkeit verbrauchte aber seine Kräfte vorzeitig. Erst 57-jährig wurde er am 17. November 1922 seiner Familie und der Unternehmung durch ein Herzleiden entrissen.

H. Wüger