

# Geschweißte elektrische Verbindungen

A. Kaifer, Schwanenmühle

Der elektrische Kontakt wird als das „Berühren oder Verbinden von elektrischen Leitern zum Herstellen einer elektrischen Verbindung“ definiert [1]. So wurde jahrelang gearbeitet und installiert: Lüsterklemmen bei kleinen, Kabelmuffen mit Quetsch- oder Schraubverbindern bei größeren Querschnitten. Kontakt ist aber nicht mehr gleich Kontakt. Die Anforderungen an geringe Übergangswiderstände zwischen den jeweiligen Leitern sind in der heutigen Computer- und Telekommunikationsgesellschaft zu hoch. Deshalb ist es notwendig, elektrische Verbindungen zu realisieren, die den gewachsenen Ansprüchen genügen.

## 1 Verbindungstechniken (Tafel 1)

Bei einer herkömmlichen mechanischen Verbindung – egal, ob Löt-, Klemm- oder Pressverbindung – besteht ein wesentlicher Unterschied zwischen der scheinbaren und der/den tatsächlichen Kontaktfläche/n (Bild 1). Somit ergibt sich immer ein zusätzlicher Widerstand. Dieser, wenn auch noch so gering, kann an der Kontaktstelle einer Erdungs- oder Hochstromanlage zu unerwünschter Wärmezeugung führen, im schlimmsten Fall sogar zu einem Brand und damit zur Zerstörung der elektrischen Anlage.

Die englische Norm BS 6651 (von 1992) spezifiziert sogar Folgendes: „Alle Verbindungsarten – außer der geschweißten – beeinflussen den Stromfluss und sind somit störanfällig.“

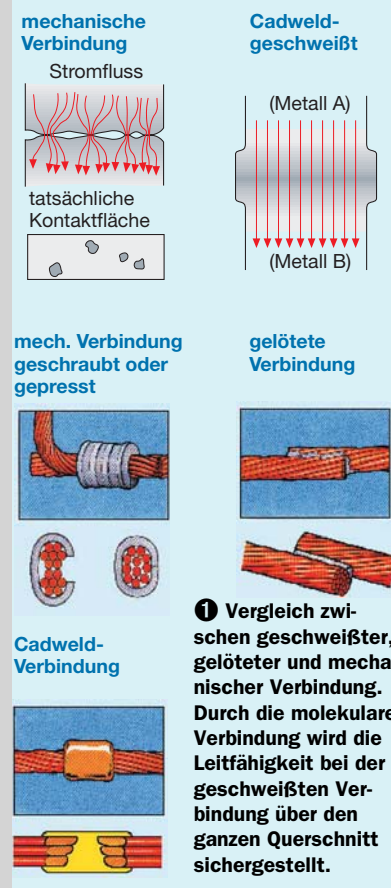
Mit dem aluminothermischen Schweißverfahren Cadweld® wird dem Installateur und Anlagenbauer ein Verfahren angeboten, das es gestattet, hochwertige Verbindungen zu schaffen, die den Stromfluss nicht beeinträchtigen. Ohne externe Energie- oder Wärmequelle ist es möglich, elektrisch leitende, molekulare Verbindungen herzustellen zwischen

- Cu(-legierungen) / Cu(-legierungen),
- Cu(-legierungen) / Al,
- Al/Al und
- Cu(-legierungen) / Fe(-legierungen), z. B. Bau- und Edelstahl, verzinktem Stahlband, Hütteneisen, Grauguss, Messing und Bronze.

An der Al/Fe-Verbindung wird mit Nachdruck gearbeitet.

## 2 Cadweld-Verbindung

Das Prinzip besteht darin, dass die zu verbindenden Metalle und ein entsprechendes Schweißgranulat in einer geeigneten Form (Tiegel) zusammen gebracht werden. Die Gestaltung des Tiegels und seiner Abmessungen sowie die Zusammensetzung und Dosierung des Schweißgranulats



Tafel 1 Vergleich der drei Verbindungstechniken für elektrische Leiter/Schienen

Mechanische Verbindung - geschraubt/gespresst	Gelötete Verbindung	Cadweld-Verbindung
<b>Technik</b>		
Die zu verbindenden Leiter werden in einer Hülse stark oder weniger stark verpresst oder mittels verschiedener Klemmen verschraubt.	Die zu verbindenden Leiter werden mittels eines Lots (Zinn, Silber, o. ä.) verbunden	Ein durch exothermische Reaktion entstandenes flüssiges Metall verschweißt die Leiter, und verbindet sie beim Abkühlen „molekular“
<b>Elektrischer Widerstand</b>		
Ist schwer zu berechnen, da von folgenden Variablen abhängig: • Eine gleichmäßige Pressung im Querschnitt und in der Länge ist nicht gewährleistet. • Auch bei sehr guter Verpressung ist die Struktur der Kontaktflächen unterschiedlich und entspricht meist nicht dem Querschnitt des Leiters. • Ungewollte Erwärmung und größere Übergangswiderstände sind nicht zu vermeiden.	Ist schwer zu berechnen, da von Länge, der Güte der Arbeit und der Qualität des Lötmaterials abhängig; da verschiedene Arten von Lötungen möglich sind, kann ohne genaue Ausschreibung und Kontrolle keine gleichbleibende Qualität gewährleistet werden.	Ist im Voraus bekannt; die im Querschnitt größere Schweißung ist durch die werkseitige Konzipierung der Schweißkammer gegeben. Der Widerstand ist dadurch nie größer als der des Leiters; keine Erwärmung möglich.
<b>Oxidation</b>		
Ist zu berücksichtigen, weil sie durch eindringende Feuchtigkeit und Erwärmung entsteht.	Kann bei einer guten Lötstelle vernachlässigt werden.	Ist nicht möglich – die molekulare Verbindung schließt jede Erwärmung und Oxidation aus.
<b>Schmelzpunkt</b>		
Die durch die Oxidation entstehende Erwärmung löst eine „Kettenreaktion“ aus: Zunahme der Temperatur → verstärkte Oxidation → Vergrößerung des Widerstandes → Zunahme der Temperatur usw., der Schmelzpunkt des Leiters ist somit schnell erreicht.	Ist abhängig vom Schmelzpunkt des verwendeten Lotes; dieser liegt je nach Lötverfahren zwischen 200 °C und 1000 °C.	Liegt immer höher als der Schmelzpunkt der Leiter.
<b>Notwendiger Querschnitt für einen vorgegebenen Strom von 43 kA (atmosphärisch, 0,5 s)</b>		
185 mm <sup>2</sup>	150 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>

**Autor**  
Andreas Kaifer ist AreaSalesManager der Erico GmbH, Schwanenmühle.

sind von den zu verschweißenden Leitern und deren Querschnitten abhängig. Möglich sind Verbindungen für Querschnitte von 16 mm<sup>2</sup> bis über 250.000 mm<sup>2</sup>. Die Zusammensetzung des Schweißgranulats hängt dabei von den Metallen ab, die miteinander verbunden werden sollen, z. B. werden Kupferoxid und Aluminium für eine Kupfer/Kupferverbindung eingesetzt. Die einzelnen Arbeitsschritte zeigt Bild 2. Das Verfahren kann, nach einer kurzen Schulung, direkt vor Ort durch Personal angewendet werden, das nicht unbedingt über eine Schweißerqualifikation verfügen muss.

**Schritt 1**, Bild 2a: Die Leiterenden mit einer Kabelbürste sorgfältig reinigen und die Enden in den geöffneten, trockenen und gesäuberten Tiegel einlegen.

**Schritt 2**, Bild 2b: Mit dem dafür vorgesehenen Halter den Tiegel schließen, arretieren und das Metallplättchen in die trichterförmige Öffnung des Gießkanals einlegen. Dieses dient dazu, dass Schweißgranulat bis zur vollständigen Verflüssigung im Reaktionsraum zurück zu halten.

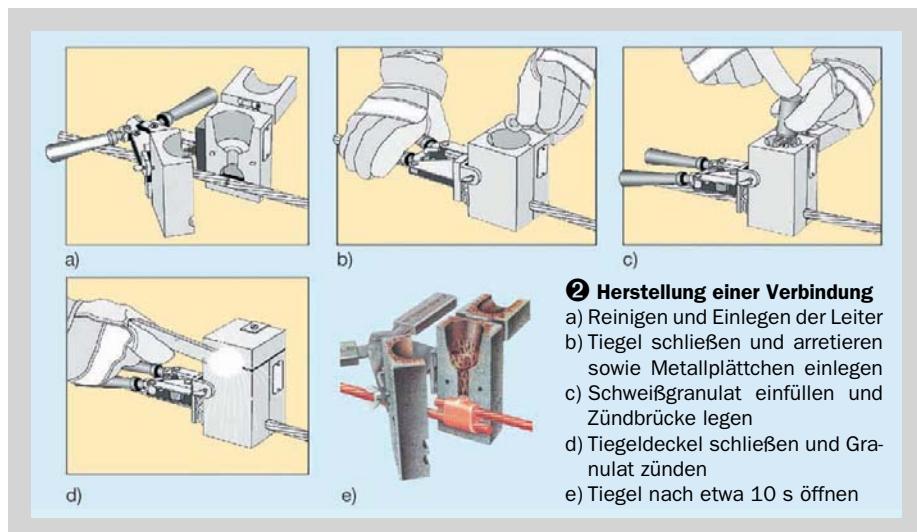
**Schritt 3**, Bild 2c: Schweißgranulat einfüllen, von dem Startpulver eine kleine Menge als Zündbrücke auf den Tiegelrand geben und den Rest über dem Granulat verteilen.

**Schritt 4**, Bild 2d: Den Tiegeldeckel schließen und das Granulat mit einem Funken aus der Zündpistole zur Reaktion bringen.

Bei Reduktion des Kupferoxids, ausgelöst durch das Aluminium, entstehen sehr hohe Temperaturen. Dabei wird das Kupfer verflüssigt (Schmelzpunkt: 1083 °C), und es entsteht eine Aluminiumoxid-Schlacke. Das flüssige Kupfer ergießt sich über die zu verbindenden Leiter und verschmilzt diese miteinander, wodurch zwischen den einzelnen Teilen eine molekulare Verbindung hergestellt wird. Nach ungefähr 10 Sekunden, wenn das Metall erstarrt ist, kann der Tiegel geöffnet werden (Bild 2e).

Mit den so hergestellten molekularen Verbindungen wird die gleiche elektrische Leitfähigkeit wie die der verbundenen Metalle erreicht. Aufgrund der Tatsache, dass der elektrische Widerstand einer Schweißverbindung stets dem Widerstand des jeweiligen Leiters entspricht, erwärmt sich die Schweißverbindung – bedingt durch Überströme oder Kurzschlüsse – höchstens in dem Maß, in dem sich der Leiter selbst erwärmt. Da aber die Schmelztemperaturen der Schweißwerkstoffe immer über den Schmelzpunkten der Leiter liegen, werden bei außergewöhnlichen Belastungen immer zuerst die eigentlichen Leiter zerstört.

Für die Herstellung von speziellen Schweißverbindungen oder Schweißungen an außergewöhnlich dicken Verbindungsstellen, z. B. Stromschiene in Elektrolyse-



**2 Herstellung einer Verbindung**

- a) Reinigen und Einlegen der Leiter
- b) Tiegel schließen und arretieren sowie Metallplättchen einlegen
- c) Schweißgranulat einfüllen und Zündbrücke legen
- d) Tiegeldeckel schließen und Granulat zünden
- e) Tiegel nach etwa 10 s öffnen

anlagen, wird vom Hersteller Unterstützung vor Ort angeboten.

**3 Einsatzbereiche**

Schweißverbindungen werden immer dann empfohlen, wenn einer der folgenden Aspekte bei der Herstellung von elektrischen Verbindungen zu beachten ist:

**Leitfähigkeit**

- Die Verbindung soll großen Stromstärken standhalten, z. B. Ströme bis zu 200 kA in der Aluminium-Elektrolyseanlage.
- Ein Spannungsfall in der Verbindung kann zu wesentlichen Beeinträchtigungen der Leistung führen; zudem bedeutet jeder Spannungsfall auch Energieverschwendung und damit verbundene, nicht unerhebliche Mehrkosten, z. B. in Stromschiensystemen, die mit Gleichspannung betrieben werden.

**Korrosionsbeständigkeit**

- Hohe Umgebungsfeuchtigkeit oder Sättigung der Umgebungsluft mit chemischen Dämpfen.
- Schweißverbindungen, die im Erdboden verlegt werden, z. B. Kathodenschutz.
- Schweißverbindungen in Küstennähe.

**Überlastsicherheit**

- Schaltkreise mit unterschiedlichen Funktionen, z. B. Computer- und Telekommunikationsanlagen.
- Hohes Fehlerstromrisiko.
- Blitzschutz.

**Zuverlässiger Personenschutz**

- Gesicherte Beständigkeit und lange Lebensdauer der Schweißverbindungen in Schutzkreisen.
- Lockerungsbeständige Schweißverbindung.
- Kein Funkenschlag in explosionsgefährdeter Umgebung.

**Technische Gegebenheiten**

- Schweißverbindungen dürfen nicht aufgetragen.
- Verbindungen für Leiter mit großem Querschnitt.
- Doppelbodenerdungen.

**4 Spezialanwendungen**

Cadweld-Schweißverbindungen stehen für folgende Spezialanwendungen zur Verfügung:

**Heavy Duty:** Besonders leistungsstarke Verbindungen für Anwendungen mit extrem hoher mechanischer Beanspruchung oder kritischen Umgebungsbedingungen, bei denen größere Verbindungsdicken erforderlich sind.

**Overflow:** Besonders geeignet für Anwendungen, bei denen eine Vergrößerung im Leiterdurchmesser aufgrund der geforderten Abmessungen oder der Isolierung nicht zulässig ist, z. B. bei Kabel-/Seilverbindungen.

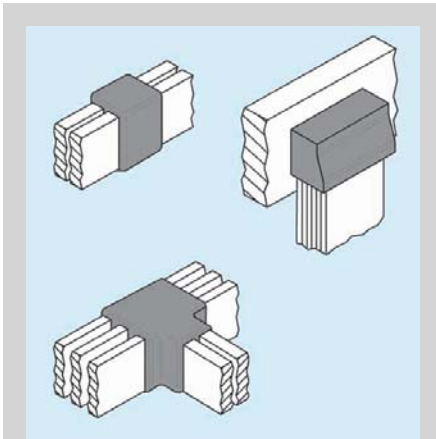
**High Voltage:** Für Verbindungen von Hochspannungsleitern, bei denen Spitzen und Kanten vermieden werden müssen.

**Eriveld:** Für Metalle, die aufgrund ihrer Struktur oder Dicke die klassische Cadweld-Schweißung, bedingt durch den dabei auftretenden Temperaturanstieg, nicht zulassen, z. B. bei Erdungsverbindungen an der Eisenbahnschiene oder bei kathodischem Korrosionsschutz an einer Pipeline.

Drei Einsatzbereiche – diese sind die hauptsächlichsten Anwendungen – werden im Folgenden etwas näher erläutert.

**4.1 Verbindungen von Stromschiensystemen und in der Elektrolyse**

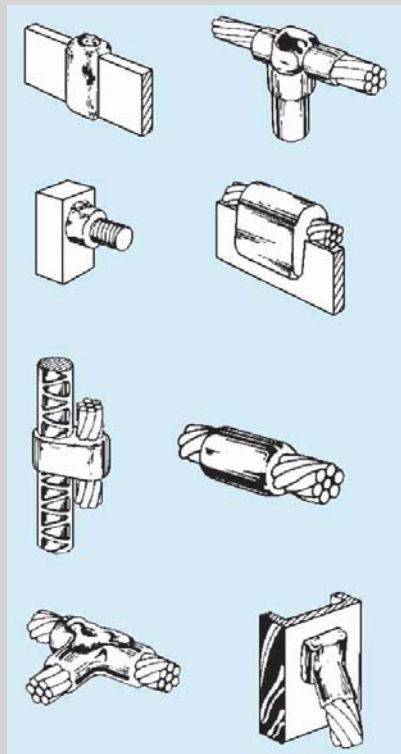
Durch den Einsatz der Schweißverbindungstechnik können Stromschiensysteme (Bild 3) vor Ort platziert, verschweißt und somit unnötige Energie-, Transport- und Wartungskosten vermieden werden.



3 Verbindungen von Stromschienensystemen



4 HS-Kabelverbindung



5 Auswahl spezieller Verbindungen in Erdungsanlagen

Den größten Vorteil bieten Schweißverbindungen jedoch im Bereich der Aluminiumelektrolyse. Sowohl die Schienenverbindungen/-ausbesserungen als auch die Schweißungen von flexiblen Stromzuführungen (Lamellenbänder) können im eingeschalteten Zustand der Anlage (keine

Produktionsunterbrechung!) durchgeführt werden, da sowohl das zu verwendende Schweißgranulat als auch die Graphittiegel unempfindlich gegenüber den starken Magnetfeldern sind. Desweiteren wird für die Herstellung von Verschweißungen bei großen Querschnitten viel weniger Zeit als für WIG-(Wolfram-Inert-Gas) oder MIG-geschweißte (Metall-Inert-Gas) Verbindungen benötigt.

Der Ablauf des Schweißens von Aluminium ähnelt dem schon vorher beschriebenen Verfahren für Cu-Verbindungen – mit folgenden Abweichungen:

- Es wird ein spezielles Granulat verwendet.
- Die zu verbindenden Leiter müssen vor dem Schweißen grundsätzlich entfettet, blank gebürstet und mit einem Flussmittel eingesprüht werden.
- Die Schweißtiegel für Al-Verbindungen sind etwas höher (evtl. auch mit Rauchfilter), weil die Schweißgase aus dem Tiegel abgeleitet werden müssen.

#### 4.2 HS-Kabelverbindungen (Bild 4)

Die normale Cadweld-Verbindung besitzt einen Aufbau, der wie eine Muffe um den Leiter liegt. In einigen Anwendungsfällen, z. B. bei Hochspannungskabeln, ist dieser Aufbau unerwünscht. Weltweit setzen alle namhaften HS-Kabel-Hersteller für annähernd durchmessergleiche Verbindungen diesen so genannten Überlauf(overflow)-Tiegel ein, in dem die überschüssige Schmelze, die aber für die Energieerzeugung notwendig ist, einfließt und nach dem Abkühlen abgeschlagen werden kann.

So benötigt der Monteur für die anschließende Isolierung weniger Material, und das Kabel kann inklusive der Schweißverbindung in gleichem Maße aufgetrommelt werden.

#### 4.3 Erdungsanlagen

Der empfindlichste Teil im Erdungsnetz sind die Verbindungen. Mit Cadweld-Multi (technische Weiterentwicklung des klassischen Cadweld-Verfahrens) wird ein speziell für Installationen von Erdungsanlagen geeignetes Verfahren angeboten. Ein universaler Tiegel und ein Werkzeug ersetzen über 30 herkömmliche Schweißformen und erlauben so eine große Anzahl von verschiedenen Verbindungsarten.

Das Verfahren ist eine Kombination von Universaltiegel und Dichtungen, die je nach Anordnung, die Herstellung von verschiedenen Verbindungen (Bild 5) erlauben. Die Leiter und Dichtungen werden eingelegt, das Schweißgranulat eingefüllt und gezündet. Der ganze Verbindungsvorgang ist in ungefähr einer Minute erledigt.

#### Literatur

[1] Tabellenbuch Elektrotechnik. 10. Auflage. Wuppertal:Verlag Europa-Lehrmittel 1981.