

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 34 (1943)  
**Heft:** 23

**Artikel:** Die Grundlagen der Widerstandsschweissung  
**Autor:** Vögeli, P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1061777>

#### **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:** 12.01.2026

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

# Bericht über die Tagung des SEV für elektrisches Schweißen

vom 5. Mai 1943, in Basel

(Fortsetzung von Seite 641)

## Die Grundlagen der Widerstandsschweissung

Referat, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 5. Mai 1943 in Basel,  
von P. Vögeli, Wettingen

621.791.76

Die vier Hauptschweissarten der Widerstandsschweissung werden klassifiziert und die Gegensätze werden erläutert. Hierauf werden behandelt: Die Entstehung des Schweisspunktes, der Aufbau der Schweissmaschinen, die den Widerstand des Schweissgutes beeinflussenden Faktoren, ferner der Einfluss der Grösse der Fensteröffnung, der Eintauchtiefe des Bleches in die Fensteröffnung, der Dicke und der Materialart des Schweissgutes auf den Schweißstrom und die Anschlussleistung von Schweissmaschinen. Die Anschlussleistungen von verschiedenen Ausführungsarten von Punktschweissmaschinen werden behandelt und die Eigentümlichkeiten der Widerstandsschweissung von Leichtmetallen werden angeführt. Die Schweisszeitsteuerung von Punkt- und Nahtschweissmaschinen wird erläutert.

Classification et notions essentielles des quatre modes principaux de soudure par résistance. Formation du point de soudure, construction des machines à souder, facteurs qui influencent la résistance de la pièce à souder, influence des dimensions de la fenêtre, de la profondeur de plongée de la tôle dans l'ouverture de la fenêtre, de l'épaisseur et du genre de matériaux sur le courant de soudure et la puissance installée des machines à souder. Puissances installées de divers modèles de soudeuses par points. Particularités de la soudure par résistance des métaux légers. Commande de la durée de soudure des machines à souder par points et par cordons.

### A. Grundgesetze der Widerstandsschweissung

Unter Schweißen versteht man das Verbinden gleicher oder verschiedener Werkstoffe, mit oder ohne Verwendung von Zusatzwerkstoff. Dabei muss nach dem Schweißen die Verbindungsstelle ein untrennbares Ganzes bilden.

Bei der elektrischen Schweißung unterscheiden wir hauptsächlich zwei Arten:

- a) Die Lichtbogenschweissung.
- b) Die Widerstandsschweissung.

Bei der Lichtbogenschweissung wird der zwischen der Elektrode und dem Werkstück gebildete Lichtbogen zur Erzeugung der Schweißhitze ausgenutzt, durch die die Elektrode und das Werkstück miteinander verschmolzen werden. Es wird somit dem Werkstück Material zugefügt.

Bei Erreichung der Schweißtemperatur werden die Werkstücke unter Druck zusammen verschweißt. Die Schweißung erfolgt somit ohne Zusatzwerkstoff. Die Widerstandsschweissung wird vielfach auch mit Preßschweissung benannt, weil die Schweißung unter Druck ausgeführt wird.

Wir unterscheiden vier Hauptarten von Widerstandsschweissungen, wie Fig. 1 zeigt. Es sind dies:

- a) Die Punktschweissung,
- b) Die Rollen-Naht-Schweissung,
- c) Die Reliefschweissung,
- d) Die Stumpf- und Abbrennschweissung.

Die Punktschweissung ist die bekannteste und meistangewendete Schweißart. Sie dient zum Verschweißen von zwei oder mehreren Teilen miteinander und ist in den meisten Fällen ein voller Ersatz einer Nietung, Verschraubung oder andern Schweißart.

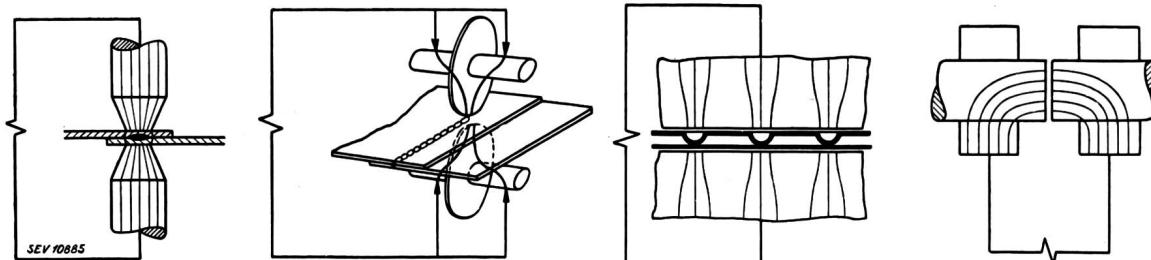


Fig. 1.

Die 4 Hauptschweissarten: Punkt-, Rollennaht-, Relief- und Stumpf- oder Abbrennschweissung  
Die 4 Figuren zeigen den Weg des Schweißstromes in den Elektroden und im Schweissgut.

Das Widerstandsschweißen können wir mit dem Hammerschweißen vergleichen, wo die zu verschweißenden Teile in der Regel im Kohlenfeuer bis zum Erweichungspunkt erhitzt und dann zusammengeschmiedet werden. Bei der Widerstandsschweissung wird aber die Schweißwärme im zu verschweißenden Material selbst erzeugt, indem durch dasselbe ein elektrischer Strom geleitet wird.

Die Rollen-Naht-Schweissung ist nichts anderes als ein Punktschweißen, wobei die Punkte dicht aneinander gereiht werden. Der Schweißstrom wird über Rollen dem Schweissgut zugeführt. Der Weg des Schweißstromes und die Stromdichte im Schweissgut ist wie bei der Punktschweissung von der Grösse der Berührungsfläche der Rollen und Elektroden bestimmt.

Bei der *Reliefschweissung* werden an einem der zu verschweisenden Teile buckelartige Erhöhungen eingepresst, deren Spitzen den andern Teil berühren. Wegen diesem Buckel wird diese Schweissart auch Buckel-, Warzen- oder Dellen-Schweissung genannt. Der Schweißstrom wird durch grossflächige Elektroden dem Schweissgut zugeführt und muss sich durch die kleinen Berührungsflächen der Buckel zwängen. Dadurch werden diese gleichmässig und schnell erwärmt, so dass mehrere Punkte gleichzeitig miteinander geschweisst werden können. Die Reliefschweissung eignet sich besonders für das Verbinden von Zieh-, Stanz- und Pressteilen, also Massenartikeln, bei denen die Buckel ohne besonderen Arbeitsgang eingepresst werden können.

Bei der *Stumpf- und Abbrennschweissung* wird die ganze Stossfläche vom Schweißstrom durchflossen. Die Elektroden sind als Spannbackenpaare ausgebildet, die die Werkstücke umfassen und den Schweißstrom zuführen. Das eine Spannbackenpaar ist in der Stauchrichtung beweglich angeordnet und überträgt die Stauchkraft auf die Schweißstelle.

Beim Stumpfschweissen unterscheiden wir die Druckschweissung und die Abschmelz- oder Abbrennschweissung. Die Druckschweissung ist das ältere Verfahren und wird heute ausser für Kupfer und Aluminium bei Eisen nur noch für Querschnitte bis zu ca. 200 mm<sup>2</sup> verwendet. Die Druckschweissung wird folgendermassen durchgeführt: Die durch die Spannbacken gefassten Werkstücke werden mittels der Stauchvorrichtung fest zusammengepresst. Hierauf wird der Strom eingeschaltet. Die Stossflächen müssen eben, also wenn möglich bearbeitet und gleich gross sein. Durch den Stromdurchgang werden die Teile erwärmt, und zwar erfolgt die grösste Erwärmung an der Trennstelle, weil hier der grösste Widerstand als Uebergangswiderstand vorhanden ist. Sobald die Schweiss temperatur erreicht ist, was durch das Sprühen sichtbar ist, werden durch kräftiges Stauchen die beiden Teile zusammen verschweisst und gleichzeitig der Strom abgeschaltet. Damit sich nicht das ganze Werkstück zu stark erwärmt und die Schweissung infolge der grossen Wärmeverluste unwirtschaftlich machen würde, muss die Erwärmung sehr rasch erfolgen, was natürlich einen entsprechend grossen Strom erfordert. Durch das Stauchen entsteht, besonders bei Eisen und Stahl, an der Stauchstelle ein Wulst, der durch Abdrehen oder Abschmirgeln entfernt werden muss. Die Qualität der Schweissung ist stark von der Zubereitung der Stossflächen abhängig. Aber auch bei genau passenden und sauberen Stossflächen können sich im Innern der Schweißstelle Lunker bilden oder es können sonstige Verunreinigungen zurückbleiben.

Für alle schweisbaren Stahlsorten wird heute fast ausschliesslich das Abschmelz- oder Abbrennschweissen angewendet. Das Abbrennschweissen ist der Druckschweissung in jeder Beziehung überlegen. Es erfordert im allgemeinen keine besondere Zubereitung der Stossflächen. Wir unterscheiden das kalte und das warme Abbrennen. Die Schweis-

sung beim kalten Abbrennen wird folgendermassen durchgeführt:

Nachdem die beiden zu verschweisenden Teile in die Schweissbacken eingespannt sind, wird die Spannung eingeschaltet, jedoch ohne dass die beiden Werkstücke sich berühren. Durch die Stauchvorrichtung wird das eine Stück zum andern geschoben, bis sie sich leicht berühren. Da die Stossflächen nicht bearbeitet sind, berühren sie sich nur an einzelnen Stellen. Diese werden durch die grosse Stromdichte sehr rasch erwärmt, so dass durch die entstehenden Metalldämpfe das flüssige Metall explosionsartig aus den Stossflächen herausgeschleudert wird. Durch den Stauchschlitten wird das Werkstück in beschleunigtem Tempo nachgeschoben, damit sich der erwähnte Vorgang immer wiederholt, und dadurch ein ganzer Funkenregen entsteht. Die beiden Stossflächen passen sich immer mehr einander an. Das Abbrennen wird solange fortgesetzt, bis der ganze Querschnitt die Schweiss temperatur erreicht hat. In diesem Augenblick wird die Stauchung schlagartig ausgeführt und der Schweißstrom abgeschaltet, womit die Schweissung beendet ist.

Beim warmen Abbrennen, das besonders für grosse Querschnitte und Spezialstähle angewendet wird, werden die zu verschweisenden Teile auf Rotglut vorgewärmt. Dies erfolgt im Prinzip nach der Druckschweissung. Für das Abbrennen, das in gleicher Weise wie beim kalten Abbrennen erfolgt, ist ein grösserer Strom nötig als für das Vorwärmten. Zu diesem Zwecke muss die Schweissmaschine entsprechend umgeschaltet werden.

Bei der Abbrennschweissung wird nur ein kurzer Teil der zu verschweisenden Teile auf die Schweiss temperatur erwärmt. Durch das Stauchen werden die verbrannten und überhitzten Teile der Trennstellen nach aussen gequetscht, so dass sich rund um die Schweißstelle ein perlartiger Grat bildet. Durch die beim Abbrennen entstehenden Metall dämpfe erfolgt die Schweissung vollständig unter Luftabschluss.

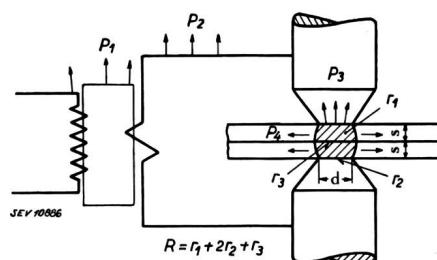


Fig. 2.

Prinzipschaltung der Punktschweissmaschine

Diese Abbildung zeigt den Aufbau des Widerstandes vom Schweissgut sowie die Wärme entwickelnden Leistungen.

Bei allen vier erklärten Hauptschweissarten entsteht die Schweissung im Prinzip auf gleiche Art und Weise. Es genügt deshalb, wenn wir für die Punktschweissung die Entstehung des Schweiss punktes näher betrachten. Mit Fig. 2 ist die Prinzip schaltung der Punktschweissmaschine angegeben.

Die in einem stromdurchflossenen Leiter entstehende Wärme ist um so grösser, je grösser

die spezifische Belastung und der spezifische Widerstand ist. Beim Sekundärstromkreis ist im Schweißgut der grösste Widerstand und die grösste Stromkonzentration vorhanden, so dass hier die grösste Erwärmung auftritt. Der Widerstand des Schweißgutes  $R$  besteht aus dem Widerstand des Materials  $r_1$ , dem Uebergangswiderstand Elektrode-Blech  $r_2$  und dem Uebergangswiderstand Blech-Blech  $r_3$ .

$$R = r_1 + 2r_2 + r_3$$

Von diesen 3 Widerständen ist der Uebergangswiderstand  $r_3$  am grössten, so dass hier die grösste Erwärmung und zuerst eine Erweichung des Materials erfolgt. Auch die Abkühlung ist an dieser Stelle am kleinsten, so dass sich der Schweißpunkt von diesem Punkt aus ausbildet. Bei genügender Erweichung des Materials wird durch die Elektrodenkraft das teigige Material zusammengepresst, wobei gleichzeitig der Schweißstrom abgeschaltet werden muss. Damit ist die Schweißung beendet. Ein Teil der im Schweißpunkt erzeugten Wärme wird in das Blech und die wassergekühlten Elektroden abgeleitet. Ausser der Wärmeleitung muss auch die Wärmestrahlung, besonders bei längeren Schweißzeiten berücksichtigt werden. Die Wärmestrahlung nimmt mit der 4. Potenz der absoluten Temperatur zu. Wir sehen also hier bereits, dass zur Erreichung einer guten Wärmeausnutzung mit möglichst kurzen Schweißzeiten gearbeitet werden muss.

Die für den Schweißpunkt effektiv nötige Wärmemenge, ohne Wärmeverluste, kann nach der Formel

$$Q = G \cdot c_m \cdot \Delta\theta$$

berechnet werden. Darin bedeutet  $G$  das Gewicht des Schweißpunktes,  $c_m$  die mittlere spez. Wärme (0,167 für Fe und 0,225 cal/g °C für Al);  $\Delta\theta$  ist die Differenz zwischen Schweißtemperatur und Raumtemperatur.

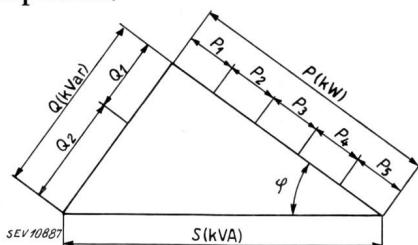


Fig. 3.

Leistungsdiagramm einer Punktschweißmaschine

Diese Abbildung legt eindrücklich dar, dass die für den Schweißpunkt notwendige Leistung  $P_5$  klein ist gegenüber der von der Maschine aufgenommenen Leistung  $P$  in kW oder  $S$  in kVA.

Wirkleistung      Blindleistung

Transformator	$P_1$	$Q_1$
Sekundärschleife	$P_2$	$Q_2$
Elektroden	$P_3$	
Werkstück	$P_4$	
Schweißpunkt	$P_5$	

Die für den Schweißpunkt erforderliche Leistung  $P$  wird nach folgender Formel berechnet

$$P = 4,184 \cdot \frac{\pi \cdot d^2 \cdot 2s \cdot \gamma \cdot c_m \cdot \Delta\theta}{4 \cdot t} \text{ Watt}$$

Aus dem Leistungsdreieck Fig. 3 sind die von der Schweißmaschine aufgenommenen Teilleistungen und die Scheinleistung ersichtlich. Jeder Wechselstromverbraucher nimmt eine Wirkleistung als wärmebildende Verlustleistung und eine Blindleistung, verursacht durch magnetische Felder, auf. Wärmeverluste entstehen im Transformator als Wicklungsverluste, in den Schweißarmen, den Elektrodenhaltern und im Schweißgut selbst.

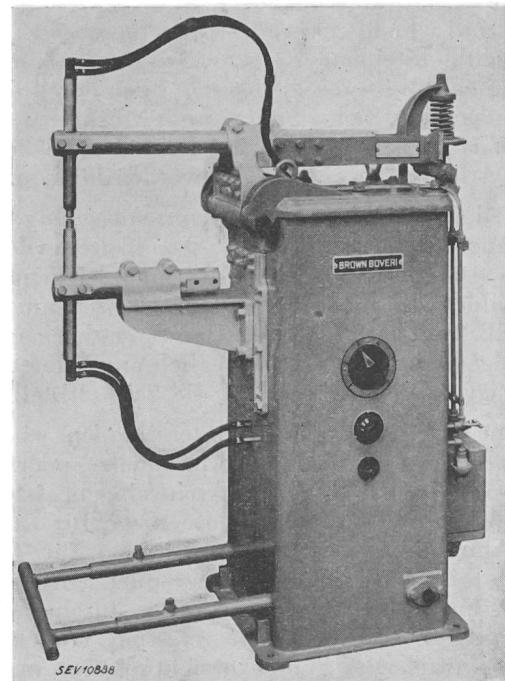


Fig. 4.

Brown Boveri-Punktschweißmaschine mit verstellbarer Fensteröffnung zum Verschweissen von Eisen. Die gute Regulierfähigkeit des Schweißstromes, der Schweißzeit und der Elektrodenkraft bürgt für wirtschaftliche und zuverlässige Schweißung.

troden und im Schweißgut selbst. Die für den Schweißpunkt nötige Leistung ist ebenfalls eine Wirkleistung. Aus dem Leistungsdreieck ist ersichtlich, dass der Wirkungsgrad einer Schweißmaschine sehr klein ist. Zur Erzielung eines guten Wirkungsgrades müssen somit alle stromdurchflossenen Leiter möglichst reichlich dimensioniert und die Schweißzeit möglichst kurz gehalten werden, damit kleine Wärmeverluste entstehen.

Blindleistung tritt im Transformator und in der Sekundärschleife, d. h. in den Schweißarmen und den Elektrodenhaltern auf.

Fig. 4 zeigt den Aufbau einer Brown-Boveri-Punktschweißmaschine Typ PF 4. Diese ist so gebaut, dass sie zu einer Rollen-Naht-Schweißmaschine ergänzt werden kann. Fig. 5 zeigt eine solche Maschine. Die Elektrodenhalter werden dabei durch Rollen ersetzt. Neu hinzu kommt der Antriebsmotor mit dem Uebersetzungsgetriebe zum Antrieb der oberen Rolle für den Blechvorschub.

Von einer guten Schweißmaschine wird eine genaue Regulierfähigkeit für alle die Schweißung beeinflussenden Größen: Schweißstrom, Schweißzeit und Elektrodenkraft, verlangt. Für diejenigen Fälle, wo eine sehr feine Stromregulierung nötig

ist, wird die Schweißmaschine mit einem stufenlosen Stromregler ausgerüstet. Die Schweißmaschinen nach Fig. 4 und 5 nehmen bei einer Armausladung von 400 mm und einem Armabstand von 360 mm beim Verschweissen von Eisen eine Leistung von ca. 43 kVA auf. Mit diesen Maschinen kann Eisen bis zu  $2 \times 6$  mm punktgeschweißt und  $2 \times 2$  mm nahtgeschweißt werden.

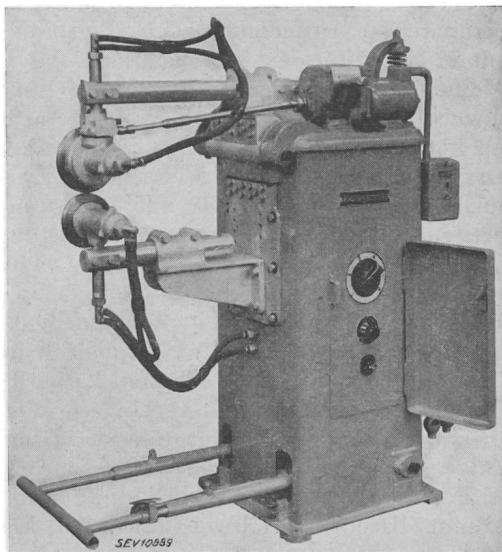


Fig. 5.

Brown Boveri-Punktschweißmaschine mit Rollen und Rollenantrieb als Nahtschweißmaschine ausgerüstet

### B. Die verschiedenen Einflüsse auf den Widerstand des Schweißgutes, den Schweißstrom und die Anschlussleistung von Schweißmaschinen

Die von einem Strom erzeugte Wärmemenge errechnet sich nach der Formel

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t \cdot 0,238 \text{ cal}$$

Wir haben somit in dieser Formel drei variable Größen: Den Widerstand des Schweißgutes, den Schweißstrom und die Schweisszeit. Es wird nun untersucht, welchen Einflüssen diese variablen Größen unterworfen sind.

#### I. Widerstand des Schweißgutes

Wie bereits erwähnt wurde, setzt sich der Widerstand des Schweißgutes aus dem Widerstand des Materials und den Uebergangswiderständen: Elektrode-Blech und Blech-Blech, zusammen. Der Widerstand des Schweißpunktes ist abhängig vom spez. Widerstand des Materials. Die Uebergangswiderstände sind abhängig von:

1. dem Zustand der Blechoberfläche, ob blank, oxydiert oder verzundert.
2. der Form und dem Zustand der Elektroden,
3. der Elektrodenkraft als Haupteinflussgröße.

Aus oszillographischen Messungen wurde für Eisen je nach Blechdicke und Elektrodenkraft ein Schweißgutwiderstand von  $0,3 \dots 2,5 \cdot 10^{-4} \Omega$  gemessen.

Aus der Formel zur Berechnung der Wärmemenge für einen Schweißpunkt ist ersichtlich, dass die Wärmemenge direkt proportional der Schweiß-

zeit und dem Widerstand des Schweißgutes ist. Wir können somit durch Änderung der Elektrodenkraft die Schweisszeit beeinflussen. Je grösser die Elektrodenkraft gewählt wird, um so kleiner wird der Widerstand des Schweißgutes und eine um so grössere Schweisszeit ist nötig.

#### II. Der Schweißstrom

Nach dem Jouleschen Gesetz ändert die Wärmemenge im Quadrat mit dem Schweißstrom. Es ist deshalb von sehr grosser Wichtigkeit, die verschiedenen Einflüsse auf den Schweißstrom einer Schweißmaschine genau zu kennen.

Bei einer gegebenen Strom- bzw. Spannungsstufe ist der zu erwartende Schweißstrom von folgenden Faktoren abhängig:

1. Von der Stabilität des Netzes und der Stärke der Installationen, d. h. der Leiterquerschnitte. Je schwächer das Netz und die Leiterquerschnitte sind, um so grösser wird der Spannungsabfall beim Einschalten der Maschine, und um so kleineren Schweißstrom erhält man. Die Reduktion des Schweißstromes ist proportional dem Spannungsabfall.

2. Die jeweilige Belastung des Netzes hat ebenfalls einen Einfluss auf den zu erwartenden Schweißstrom. Während der verschiedenen Tageszeiten kann die Netzspannung ziemlich stark variieren, z. B. während der Hauptbeleuchtungszeiten oder in Gegenden, wo viel elektrisch gekocht wird, gegen die Mittagszeit.

3. Als weitere Einflüsse haben wir den Zustand der Maschine, d. h. den Abstand und die Ausladung der Schweissarme. Weiter beeinflussen die Dicke

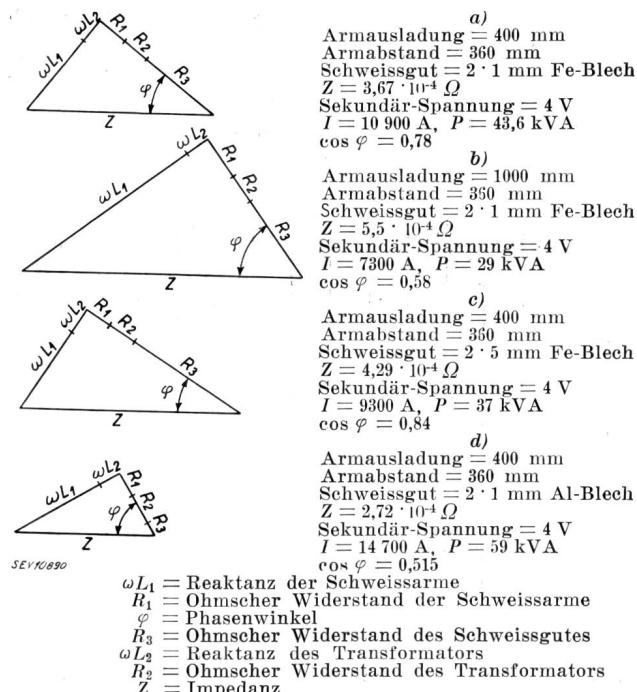


Fig. 6.

Impedanzdiagramme für eine Punktschweißmaschine bei verschiedener Armausladung, Blechdicke und verschiedener Materialart

Die bei eingestellter Spannungsstufe zu erwartenden Schweißströme und Leistungen sind abhängig von der Grösse der Fensteröffnung, der Materialdicke und Materialart des Schweißgutes.

des Schweißgutes sowie die Materialart, d. h. der Widerstand des Schweißgutes, den Schweißstrom. Diese Einflüsse sind aus den Impedanzdiagrammen Fig. 6 ersichtlich.

Das Impedanzdiagramm wird aus dem Leistungsdreieck gebildet, indem die Teilleistungen durch das Quadrat des Schweißstromes dividiert werden.

Das Diagramm a) gilt für eine Armausladung von 400 mm, einen Armabstand von 360 mm und als Schweißgut  $2 \times 1$  mm Eisenblech. Dieser Maschinenzustand und dieses Material ergibt für eine Sekundärspannung von 4 V einen Schweißstrom von:

$$I = \frac{4}{3,67 \cdot 10^{-4}} = 10900 \text{ A}$$

und eine Anschlussleistung

$$P = 4 \cdot 10900 = 43,6 \text{ kVA}$$

Die Wirkung der Grösse der Fensteröffnung, d. h. der Abstand und die Ausladung der Schweißarme ergibt sich aus Diagramm b). Der Sekundärkreis der Schweißarme kann mit einer Drosselspule, bestehend aus einer Windung, verglichen werden, bei der die Grösse der Reaktanz vom Umfange der Windung abhängig ist. Je grösser die Windungslänge ist, um so grösser ist die Reaktanz. Das gleiche gilt für die Schweißmaschinen. Je grösser die Fensteröffnung der Schweißarme ist, um so grösser wird deren Reaktanz.

Bei einer Vergrösserung der Armausladung auf 1000 mm erhält man bei 4 V Sekundärspannung einen Schweißstrom von nur noch 7300 A und eine Leistung von 29 kVA.

Beim Verschweissen von  $2 \times 5$  mm Fe-Blech statt  $2 \times 1$  mm wie bei Diagramm a) wird der Widerstand  $R_3$  für das Schweißgut nach Diagramm c) grösser. Die Impedanz wird dadurch auch grösser, und man erhält dementsprechend einen 15 % kleineren Strom und kleinere Leistung.

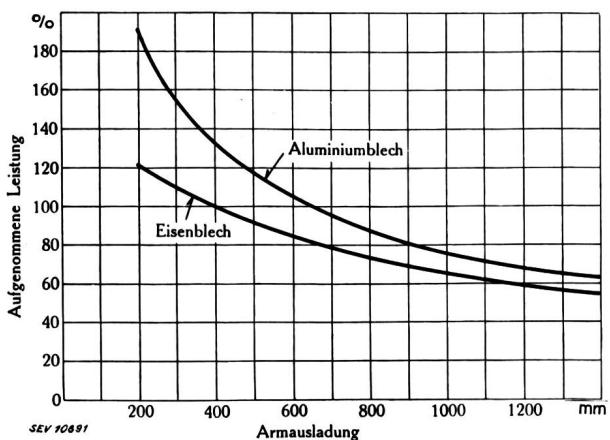


Fig. 7.

Aufgenommene Leistung in Funktion der Armausladung bei konstantem Armabstand und konstanter Leerlauf-Sekundärspannung

Wird an Stelle von  $2 \times 1$  mm Eisen  $2 \times 1$  mm Aluminium verschweisst, so ergibt sich das Impedanzdiagramm d). Der Widerstand  $R_3$  für das

Schweißgut wird ca. 7mal kleiner als für Eisen. Dadurch erhält man bei 4 V einen Schweißstrom von 14700 A und eine Anschlussleistung von 59 kVA. Diese Daten zeigen somit den grossen Einfluss der Grösse der Fensteröffnung der Schweißarme, der Dicke des Schweißgutes und der Materialart auf den Schweißstrom, die Anschlussleistung und den Leistungsfaktor.

Die Kurven Fig. 7 zeigen die von einer Punktschweißmaschine aufgenommenen Leistungen in Prozent in Funktion der Armausladung. Als 100 % wurde eine übliche Armausladung von 400 mm beim Verschweissen von Eisen zugrunde gelegt. Aus diesen Kurven können folgende wichtige Schlüsse gezogen werden: Wird beim Punktschweissen von Eisen die Armausladung von z. B. 400 auf 800 mm vergrössert, so sinkt die aufgenommene Leistung um 23 %, d. h. es steht ein 23 % kleinerer Schweißstrom zur Verfügung. Dies hat beim Verschweissen von dünnem Eisenblech nicht viel zu bedeuten, weil der Schweißstrom und die Schweisszeit in weiten Grenzen gewählt werden können. Es wird dann die Schweisszeit entsprechend verlängert. Wird die Armausladung noch weiter vergrössert, so hat dies zur Folge, dass die Leistung so stark zurückgeht, dass z. B. bei 1200 mm Armausladung nur noch  $2 \times 4$  mm Bleche verschweisst werden können, während bei 400 mm Armausladung dies mit  $2 \times 6$  mm möglich ist.

Bei Aluminium wirkt sich die Aenderung der Armausladung besonders bei kleiner Armausladung in verstärktem Masse aus. Wird z. B. die Armausladung von 200 auf 400 mm verändert, so sinken aufgenommene Leistung und Schweißstrom um 30 %. Dadurch wird die maximal verschweißbare Aluminiumblechdicke auf etwa die Hälfte reduziert.

Diese Feststellungen ergeben folgende wichtige Tatsachen:

a) Bis heute wurde in der Angabe der Leistung von Widerstandsschweißmaschinen ein grosser Fehler begangen, indem mit der Leistung nicht auch die Grösse der Fensteröffnung und die zu verschweisende Materialart angegeben wurde. Nur die Leistung allein gibt absolut keinen Aufschluss über die maximal ausführbaren Schweißarbeiten. Zu jeder Maschineneistung sollte deshalb unbedingt die Grösse der Fensteröffnung und die Art des Schweißgutes angegeben werden.

b) Zu verschweisende Teile sollten, wenn immer möglich, so konstruiert werden, dass mit möglichst kurzen Armausladungen gearbeitet werden kann. Schweißmaschinen mit grossen Armausladungen benötigen grössere Anschlussleistungen, besonders beim Verschweissen von Aluminium, wie später gezeigt wird.

c) Zur guten Ausnutzung einer Schweißmaschine sollte, wenn immer möglich, mit der kleinst zulässigen Armausladung geschweisst werden.

Die Interpretation dieser Kurven ist für den Konstrukteur von grösster Wichtigkeit; denn eine Maschine kann thermisch nur richtig bemessen werden, wenn die maximal mögliche Leistung bekannt ist.

4. Einen weiteren Einfluss auf die Leistung, bzw. den Schweißstrom hat die Eintauchtiefe des Schweißgutes in die Fensteröffnung. In dieser ist infolge des grossen Schweißstromes ein starkes ma-

gnetisches Feld vorhanden. Wird magnetisches Material, z. B. Eisen, in ein magnetisches Feld gebracht, so dringen die Kraftlinien in das Eisen hinein und erzeugen dort durch sogenannte Wirbelströme unerwünschte Verluste. Ausserdem geht der Schweißstrom merklich zurück, wie aus den Kurven Fig. 8 ersichtlich ist. Die Reduktion des Stromes ist abhängig von der zu verschweisenden Blechdicke und der Grösse des Schweißgutes.

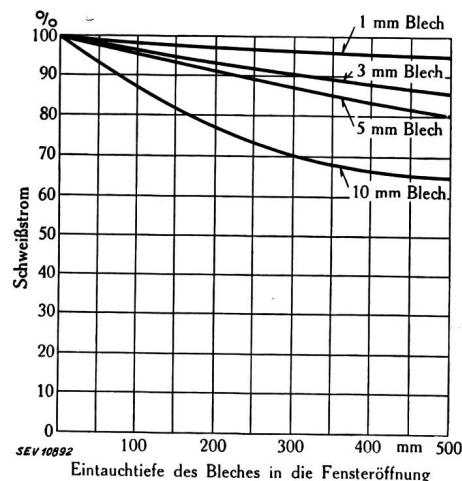


Fig. 8.

Einfluss der Eintauchtiefe des Bleches in die Fensteröffnung der Schweißarme auf den Schweißstrom  
Durch das Schweißgut in der Fensteröffnung wird der Schweißstrom verkleinert.

Aus diesen Kurven können folgende Schlüsse gezogen werden.

Nach dem Jouleschen Gesetz tritt für die Berechnung der Wärmemenge der Strom im Quadrat in Erscheinung. Wenn also der Strom reduziert wird, geht die erzeugte Wärmemenge im Quadrat des Schweißstromes zurück. Müssen z. B. zwei Blechtafeln von je 5 mm Dicke auf eine Breite von 500 mm zusammen punktgeschweisst werden, so wird nach dieser Kurve folgendes Resultat erreicht: für den 1. Punkt ganz aussen ist der Schweißstrom 100 %. Je weiter das Blech in die Fensteröffnung hineingeschoben wird, um so mehr geht der Strom zurück. Bei 500 mm Eintauchtiefe hat man noch einen Strom von 80 % zur Verfügung, und die erzeugte Wärmemenge ist nur noch 64 % von derjenigen im 1. Punkt, d. h. die letzten Punkte werden bei gleicher Schweisszeit gar nicht geschweisst. In einem solchen Falle muss die Schweisszeit für den letzten Punkt eingestellt werden, und es ist dabei ein möglichst kleiner Strom, dafür aber eine grössere Schweisszeit zu wählen.

Durch den Einfluss der Eintauchtiefe wird das Nahtschweissen der Längsnaht von Zylindern für Bleche über 2 mm Blechdicke erschwert, weil beim Nahtschweissen mit grossen Strömen und kleinen Zeiten geschweisst werden muss. Ohne Kompensation der Stromreduktion können deshalb nur kurze Zylinder von ca. 200 mm Länge geschweisst werden. Zylinder bis 400 mm Länge müssen von beiden Seiten geschweisst werden. Eine Kompensation des Stromverlustes kann in Funktion der Ein-

tauchtiefe stufenlos durch die Brown-Boveri-Tauchregler erfolgen.

Aus diesen Kurven ist weiter ersichtlich, dass Schweisslehrer, wenn möglich, nicht aus magnetischem Material, also nicht aus Eisen oder Stahl, ausgeführt werden sollten, oder dann nur als leichte Konstruktion, damit sich möglichst wenig Eisen in der Fensteröffnung befindet.

Alle erwähnten Einflüsse auf den Widerstand des Schweißgutes und auf den Schweißstrom zeigen nun deutlich, dass es absolut unmöglich ist, für die gebräuchlichsten Blechdicken genaue Maschineneinstellungen in bezug auf den Schweißstrom und die Schweisszeit anzugeben.

Der Maschinenlieferant kann deshalb nur Richtwerte angeben. Die genaue Einstellung der Maschine muss jeweils durch Versuche ermittelt und bei empfindlichen Schweissungen von Zeit zu Zeit nachkontrolliert werden.

### III. Die Schweisszeit

Die Kurvenschar Fig. 9 zeigt die Abhängigkeit der Schweisszeit in Funktion des Schweißstromes für das Verschweissen von Eisen. Die Schweisszeit steigt mehr als quadratisch mit der Reduktion des Schweißstromes, infolge der Wärmeverluste im Schweißgut und in den Elektroden. Je grösser die Schweisszeit ist, um so grösser sind die prozentualen Wärmeverluste; deshalb entsteht bei zu starker Reduktion des Schweißstromes keine Schweissung mehr. Nach diesen Kurven kann für Eisen der Schweißstrom und die entsprechende Schweisszeit in weiten Grenzen variiert werden.

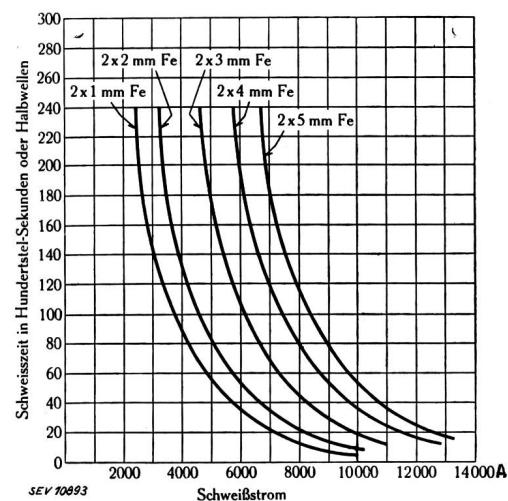


Fig. 9.  
Notwendige Schweisszeit in Funktion des Schweißstromes zum Punktschweissen von Eisen  
Für Eisen kann die Schweisszeit und der Schweißstrom in weiten Grenzen gewählt werden.

Fig. 10 zeigt das Aussehen eines Schweisspunktes bei verschiedenen Schweißströmen und entsprechenden Schweisszeiten für 2 × 1 mm Eisenblech. Bei allen Schweissungen wurde ungefähr die gleiche Schweisspunktgrösse erreicht. Bei grossen Strömen ist die ausgeglühte Zone kaum sichtbar, bei kleinen dagegen ist sie sehr gross. Eine Schweissung mit

kleinem Strom und grosser Zeit ist unwirtschaftlich, weil die Wärmeverluste und die verbrauchte Energie zu gross sind. Auch für eine flüssige Fabrikation ist eine solche Schweißung ungeeignet. Bei

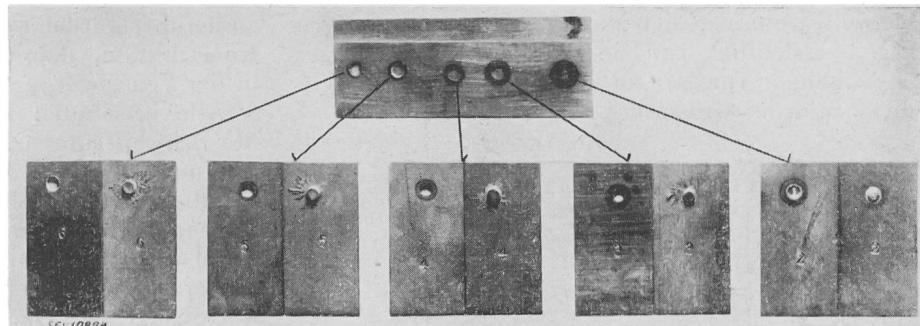
sofern es überhaupt verschweisst werden kann, nur mit langen Schweißzeiten geschweisst werden darf.

Oxydiertes und verzundertes Blech sollte, wenn immer möglich, vor dem Verschweissen gereinigt

Fig. 10.

Ausgeföhrte Schweißungen an 2 mm Eisenblech bei verschiedenen Schweißströmen und Schweißzeiten

Kurze Schweißzeiten und grosse Ströme geben eine kleine ausgeglühte Zone, lange Schweißzeiten und kleine Ströme dagegen eine grosse ausgeglühte Zone.



grossen Strömen treten auf der Blechoberfläche wegen der zu grossen spezifischen Strombelastung leicht Schmorstellen auf, was einen unschönen Schweißpunkt ergibt.

Kurzzeitige Schweißungen können jedoch nur bei sauberem und blankem Blech durchgeführt

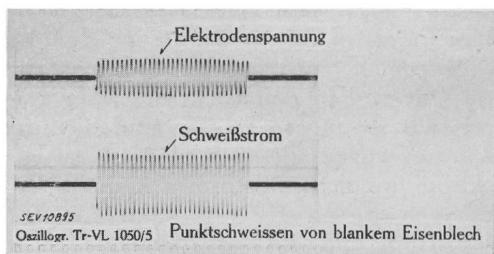


Fig. 11.

Oszilloskopogramm beim Punktschweißen von blankem Eisenblech  
Bei blankem Blech wird schon nach der 1. Halbwelle der volle Strom erreicht, so dass dieses Blech mit kurzen Schweißzeiten verschweisst werden kann.

werden, weil hier schon nach der ersten Halbwelle der volle Schweißstrom erreicht wird und während der Schweißung wenig ändert, wie das Oszilloskopogramm Fig. 11 zeigt. Das Oszilloskopogramm Fig. 12 zeigt, dass bei verzundertem und oxydiertem Blech eine gewisse Zeit nötig ist zum Durchschlagen der Zunder- oder Oxydhaut. Diese Zeit ist abhängig von der Dicke der Schicht. Speziell bei starker Zunder-

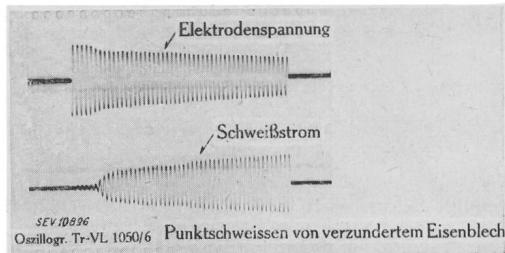


Fig. 12.

Oszilloskopogramm beim Punktschweißen von verzundertem Eisenblech

Bei verzundertem Blech ist je nach Dicke der Zunderschicht eine gewisse Zeit notwendig zum Durchschlagen dieser Schicht. Solches Blech darf deshalb nur mit langen Zeiten verschweisst werden.

schicht wird diese überhaupt nicht durchschlagen, so dass keine Schweißung erfolgt. Daraus ist klar ersichtlich, dass oxydiertes und verzundertes Blech,

werden, denn die meisten Fehlschweißungen entstehen durch ungereinigte Bleche, weil die effektive Schweißzeit und der Schweißstrom ganz unbestimmt sind.

### C. Die Schweißzangen

Das Punktschweißen grosser und sperriger Werkstücke lässt sich mit einer normalen Punktschweißmaschine, wegen der beschränkten Ausladung der Schweißarme, der schwierigen Beförderungsmöglichkeit der Werkstücke und der grossen Gewichte in den meisten Fällen gar nicht oder nur umständlich und zeitraubend ausführen. Für solche Werkstücke müssen deshalb ortsveränderliche Punktschweißmaschinen verwendet werden, die mit Schweißzangen ausgerüstet sind. Wir unterscheiden hier zwei Hauptarten von Schweißzangen:

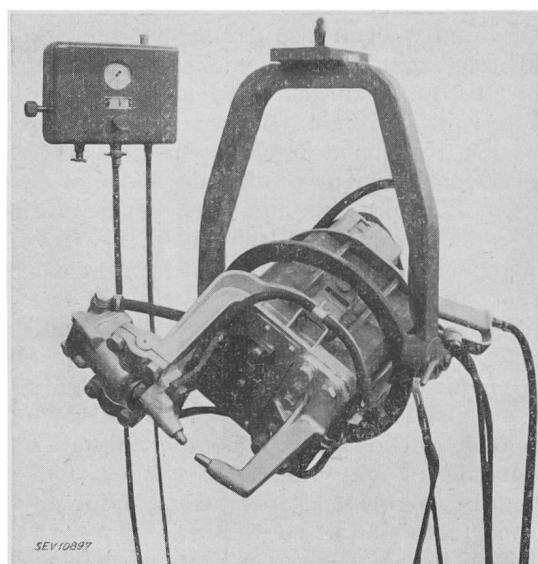


Fig. 13.

Schweißzange direkt am Transformator angebaut zum Punktschweißen von sperrigen Werkstücken

Diese Schweißmaschine kann an einem Kran aufgehängt werden. Sie zeichnet sich besonders durch kleine Anschlussleistung aus.

1. Die direkt an den Transformator angebaute Schweißzange nach Fig. 13. Die Anschlussleistung solcher Maschinen ist im allgemeinen klein und richtet sich nach der Zangenöffnung.

2. Die Schweißzange, welche durch ein Kabel mit dem Transformator verbunden ist, nach Fig. 14.

Bei dieser Ausführung leitet das Kabel den Schweißstrom und müsste dementsprechend im Querschnitt bemessen werden. Wegen der Handlichkeit der Zange ist man jedoch mit der Dimensionierung begrenzt. Dadurch wird der Ohmsche Spannungsabfall und die Erwärmung beträchtlich und das Kabel muss mit Wasser gekühlt werden, wozu das Kabel in einen Gummischlauch verlegt wird. Ebenso wichtig wie die richtige Dimensionierung des Kabelquerschnittes ist die Führung der beiden Kabel, damit die Reaktanz klein wird. Zu diesem Zwecke müssen die Kabel mit möglichst kleinem Abstand parallel geführt werden, wie Fig. 14 zeigt; denn der Abstand der Kabel hat die gleiche Wirkung wie der Abstand der Schweißarme.

Fig. 15 zeigt einen Vergleich der aufgenommenen Leistung der 3 Hauptmaschinentypen. Für die Bestimmung der Leistung wurde bei allen 3 Typen die gleiche Grösse des Schweißstromes von 7000 A zugrunde gelegt.

Für die normale Punktschweißmaschine mit einer Armausladung von 450 mm und einem Armabstand von 360 mm beträgt für 7000 A Schweißstrom die aufgenommene Leistung 19 kVA. Bei der am Transformator angebauten Schweißzange ist die Leistung 15,5 kVA, bei der Schweißzange mit 2 m Kabellänge 64 kVA und mit 3 m Kabellänge 82 kVA. Man sieht daraus, dass für gleiche Schweißbedingungen die nötige Leistung bei der

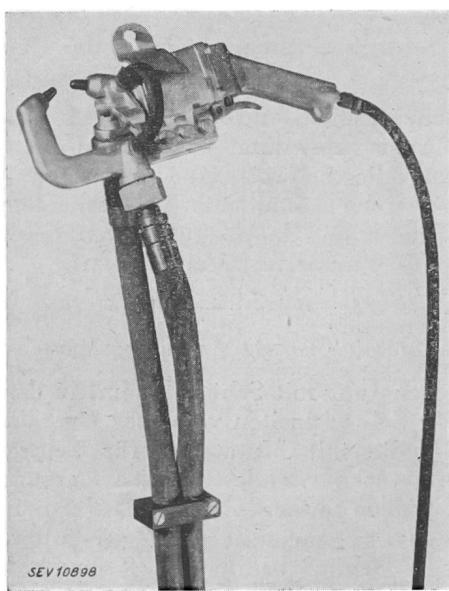


Fig. 14.

Schweißzange mit Kabel zum Punktschweissen von sperrigen Werkstücken

Der Schweißstrom wird mit zwei Kabeln zugeführt, die eine ziemlich grosse Leistung durch Spannungsabfall vernichten. Schweißzangen mit Kabel benötigen grosse Anschlussleistungen.

Schweißzange mit Kabel gegenüber einer normalen Ständermaschine ein Mehrfaches beträgt. Hier ist zu bemerken, dass die angegebenen Leistungen nur

für die von Brown Boveri gebauten Maschinen Gültigkeit haben, weil die Impedanz abhängig ist von der Bauart des Transformators und der Disposition und Dimensionierung der Schweißarme und Schweißkabel.

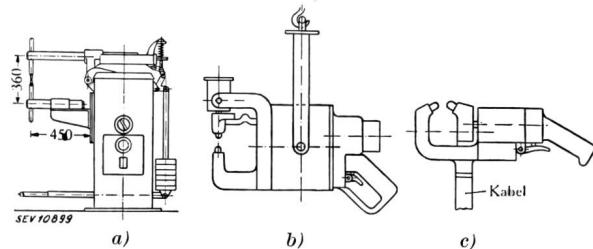


Fig. 15.

Vergleich der Anschlussleistung der 3 Hauptarten von Punktschweißmaschinen

Bei gleichem Schweißstrom benötigen Schweißzangen mit Kabel die grösste Anschlussleistung.

		Schweißstrom A	Sek.-Spannung V	Aufgen. Scheinleistung kVA
a)	Normale Punktschweißmaschine	7000	2,7	19
b)	Schweißzange an Transform. angebaut	7000	2,2	15,5
c)	Schweißzange: mit 2 m Kabel mit 3 m Kabel	7000	9,2 11,7	64 82

#### D. Die Anschlussleistung von Punktschweißmaschinen für Aluminium und dessen Legierungen

Ueber dieses Gebiet wird in einem besonderen Referat berichtet (siehe S. 712), so dass es hier nur kurz behandelt wird.

Aluminium und dessen Legierungen müssen gegenüber Eisen infolge der grösseren Leitfähigkeit mit sehr kurzen Zeiten verschweisst werden.

Die optimale Scherfestigkeit im Schweißpunkt wird für diese Materialien bei einer ganz bestimmten Stromstärke, Schweisszeit und Elektrodenkraft erreicht. Diese Werte können deshalb zur Erreichung einer zuverlässigen Schweißung nur innerhalb einer kleinen Grenze variiert werden.

Für eine Einzelblechdicke von 0,5...3 mm werden folgende Ströme, Schweisszeiten und Elektrodenkräfte benötigt:

Minimaler Schweißstrom 15 000...30 000 A  
Schweisszeit 5...30 Halbwellen bei 50 Hz ( $1/20 \dots 3/10$  s)  
Elektrodenkraft 100...500 kg

Diese minimalen Ströme ergeben die in den Kurven Fig. 16 angegebenen minimalen Anschlussleistungen. Wie aus den Kurven ersichtlich ist, erfordert das Punktschweißen von Aluminium eine enorme Leistung, die abhängig ist von der Blechdicke, der Armausladung und dem Armabstand.

Punktschweißmaschinen für Aluminium müssen wegen den grossen nötigen Schweißströmen und Elektrodenkräften besonders robust und zweckmäßig gebaut sein, wie Fig. 17 zeigt. Bei dieser Maschine kann der obere Schweißarm innerhalb 400...1200 mm und mehr Ausladung durch einen Spindelantrieb verändert werden. Der untere Arm ist für eine feste Ausladung gebaut und muss deshalb bei Änderung der Armausladung durch einen

entsprechend kürzeren oder längeren Arm ersetzt werden. Der lichte Armabstand kann innerhalb 235...410 mm durch eine Spindel eingestellt werden. Die Elektroden sind druckluftbetätigt. Nach Auswechseln der Elektroden durch Rollen kann die Maschine als Nahtschweissmaschine verwendet

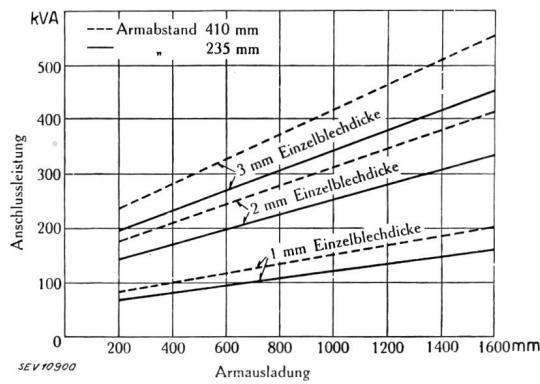


Fig. 16.

Anschlussleistung von Punktschweissmaschinen beim Verschweissen von Al-Blech

werden. Der Antrieb der Rollen erfolgt durch das im Maschinengehäuse untergebrachte stufenlose Uebersetzungsgtriebe.

Die Strom- und Leistungsregulierung erfolgt stufenlos von Null bis zum Maximum durch einen separat aufgestellten kontaktlosen Reguliertransformator modernster Konstruktion, der so gebaut ist, dass er direkt an das Hochspannungsnetz angeschlossen werden kann. In diesem Falle wird der Reguliertransformator für sich in einer Hochspannungskabine aufgestellt, wobei der Strom durch

Müssen nur kleine Werkstücke aus Leichtmetall punktgeschweisst werden, so kann in vielen Fällen eine für Eisen bemessene Punktschweissmaschine verwendet werden, sofern die Maschine für eine genügende Leistung gebaut ist, eine richtige Strom-, Zeit- und Druck-Regulierung besitzt und die Schweissarme verstellbar sind. Wie eingangs erklärt wurde, ändert der Schweißstrom, bzw. die Leistung mit der Änderung der Fensteröffnung. Wenn man also die Armausladung und den Armabstand auf ein Minimum verkleinert, so steigt die Leistung so stark, dass eventuell Aluminium verschweisst werden kann. Als Beispiel ist folgendes aufzuführen: Die von Brown Boveri gebaute Punktschweissmaschine, Typ PF 4, nimmt bei einer Armausladung von 400 mm und einem Armabstand von 360 mm beim Verschweissen von Eisen ca. 43 kVA auf. Verkürzt man die Armausladung auf 200 mm und den Armabstand auf 220 mm, so nimmt die Maschine beim Verschweissen von Aluminium ca. 100 kVA auf. Mit dieser Maschine kann Aluminium von maximal  $2 \times 2$  mm Blechstärke noch verschweisst werden.

Wegen der grösseren Anschlussleistung ist auf die Erwärmung der Maschine besonders zu achten, indem die Wärme erzeugenden Verluste quadratisch mit dem Strom zunehmen. Ohne Verbesserung der Kühlung darf deshalb eine Eisenschweissmaschine nur beschränkt zum Verschweissen von Aluminium verwendet werden, weil sonst die Maschine in kurzer Zeit defekt würde. Im weiteren ist zu prüfen, ob die Installation und das Netz der grösseren Leistung genügen.

#### E. Die Schweisszeitbegrenzer für das Punkt- und Nahtschweissen

Ein zuverlässiges und kurzzeitiges Punktschweissen erfordert unbedingt einen Schweisszeitregler, mit dem die Schweisszeit in grossen Grenzen variiert werden kann. Man unterscheidet in der Hauptsache zwei Hauptsysteme von Schweisszeitreglern für Punktschweissmaschinen:

1. Der Zeitregler mit Schütz zum Ein- und Ausschalten des Primärstromes.
2. Der Zeitregler mit gittergesteuerten Mutatoren.

Die Steuerung mit Schütz kommt in der Hauptsache für Schweisszeiten von über  $5/100$  s in Frage, während die mit Mutatoren für Schweisszeiten unter  $5/100$  s verwendet wird. Steuerungen mit Schütz haben immer eine gewisse Streuung von mindestens  $\pm 1/100$  s in der Zeitregulierung, die durch das Schütz bedingt ist. Steuerungen mit Mutatoren arbeiten dagegen für kurze Schweisszeiten absolut genau.

Der von Brown Boveri neu entwickelte Zeitregler mit Schütz arbeitet nach dem Prinzip der Kondensatorenentladung.

Fig. 18 zeigt diesen Zeitregler offen, eingebaut in einem Gehäuse für separaten Aufbau, Fig. 19 den Regler von vorn.

Bei der Röhrensteuerung unterscheidet man die Einweg- und die Zweiwegschaltung. Die Einweg-

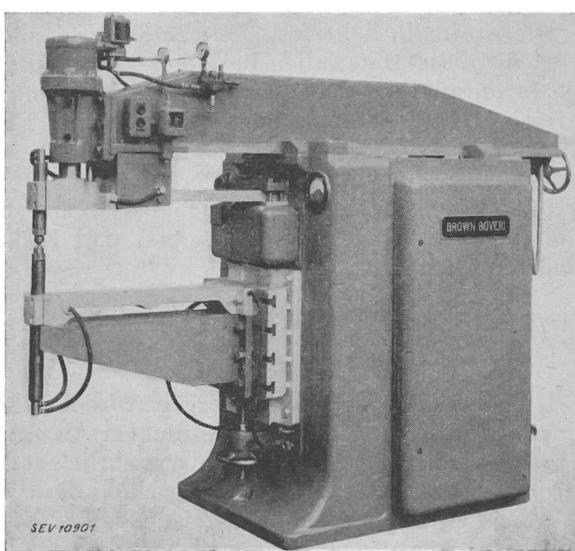


Fig. 17.

Druckluftbetätigtes Brown Boveri-Punktschweissmaschine speziell zum Verschweissen von Al mit einstellbarer Fensteröffnung. Stufenlose Regulierung des Schweißstromes, der Schweisszeit und des Elektrodendruckes bürgt für wirtschaftliche und zuverlässige Schweißung.

eine sehr einfache Fernsteuerung mittels zweier Druckknöpfe von der Maschine aus reguliert wird. Die eingestellte Spannung ist an einem Voltmeter ersichtlich.

schaltung besitzt nur einen Mutator, nach Schema Fig. 20. Der Mutator dient zum Ein- und Ausschalten des Primärstromes der Schweißmaschine. Die Befehlsgabe zum Ein- und Ausschalten der Mutatoren erfolgt durch eine Steuerung, die nach verschiedenen Prinzipien aufgebaut werden kann.

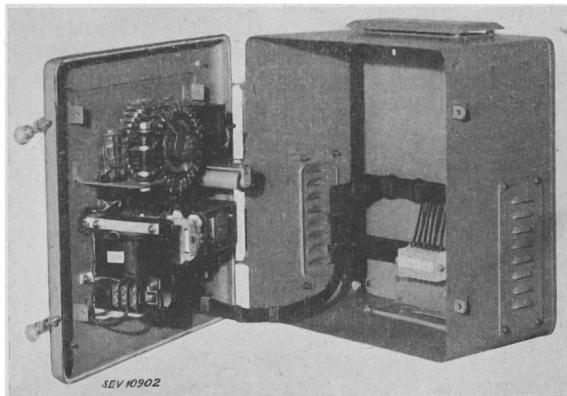


Fig. 18.

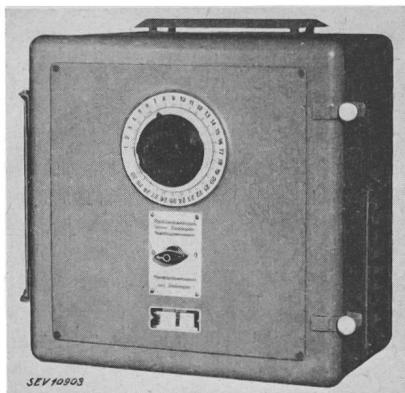
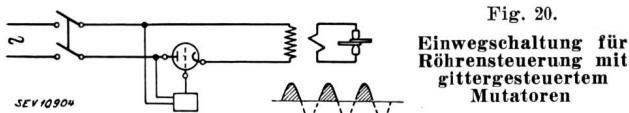
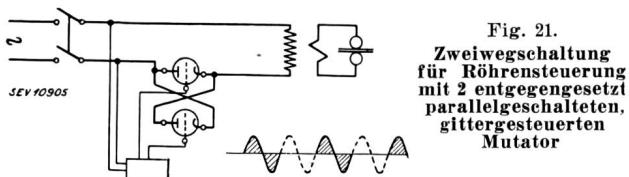


Fig. 19.  
Schweisszeitbegrenzer für Punktschweißmaschinen  
für separaten Anbau  
Innenansicht und Ansicht der Frontplatte.

Die Einwegschaltung wird hauptsächlich nur für das Punktschweißen bei Schweisszeiten von einer Halbwelle oder einem Bruchteil einer Halbwelle verwendet.



Bei der Zweiwegschaltung werden nach dem Schema Fig. 21 zwei entgegengesetzt parallelgeschaltete Mutatoren oder nach dem Schema Fig. 22 ein Doppelmutator verwendet.



Die Zweiwegschaltung kann sowohl für Punktschweißen als auch für Nahtschweißmaschinen jeder Leistung verwendet werden. Die Zahl der Halbwellen für die Schweisszeit wie für die Pausenzeit kann un-

abhängig voneinander durch die Steuerung eingestellt werden.

Um beim Nahtschweissen eine saubere Naht mit nur schmaler ausgeglühter Zone zu erhalten, muss der Schweißstrom periodisch ein- und ausgeschaltet werden, sofern nicht eine Maschine grosser Leistung mit einem Blechvorschub von 6...12 m/min zur Verfügung steht, wo jede Halbwelle einen Schweisspunkt ergibt. Man erhält somit beim Nahtschweissen ein Aneinanderreihen von Schweisspunkten, wie das geschweiste Rohr Fig. 23 zeigt.

Zum Ein- und Ausschalten des Schweißstromes bzw. des Primärstromes wird ein Unterbrecher benötigt.

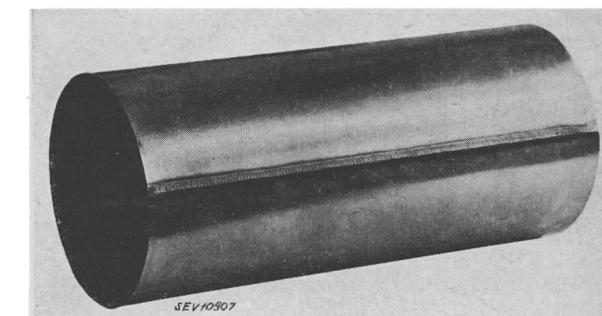


Fig. 23.  
Nahtgeschweisstes Rohr mit Brown Boveri-Nahtschweißmaschine und Synchronunterbrecher geschweisst.  
Das Schweißen mit Synchronunterbrecher ergibt saubere und gleichmässige Schweissnähte.

Unterbrecher, die durch einen Asynchronmotor angetrieben werden, verursachen außer starken Einschaltströmen auch Unregelmässigkeiten in der Schweisszeit, wie aus den Oszillogrammen Fig. 24 ersichtlich ist. Bei solchen kurzen Schweisszeiten

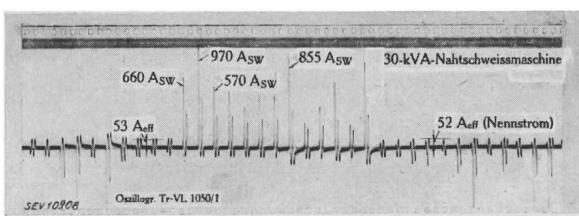


Fig. 24.  
Oszillogramm vom Primärstrom einer Nahtschweißmaschine mit Asynchron-Unterbrecher  
Solche gewöhnliche Unterbrecher geben grosse Einschaltstromspitzen und Unregelmässigkeiten in der Schweisszeit. Daher Schweissung unzuverlässig.

kann die Differenz einer Halbwelle undichte Schweissnähte zur Folge haben.

Die Grösse des Einschaltstromes ist in der Hauptsache von der Grösse der Eisensättigung im Trans-

formatorenkern abhängig. Je grösser die Eisensättigung ist, um so grösser wird der Einschaltstromstoss. Bekanntlich erfolgt die Stromregulierung von Schweißmaschinen wegen den grossen Schweißströmen primärseitig, durch Änderung der Primärwindungszahl. Dadurch ändert sich auch die Sättigung im Eisen, wobei die grösste Sättigung bei der max. Stromstufe auftritt. Die Einschaltströme treten, je nach der Grundsättigung, nur bei den oberen Stromstufen auf.

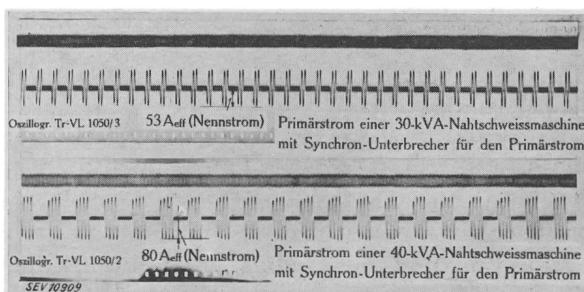


Fig. 25.

**Oszillogramme vom Primärstrom von Nahtschweißmaschinen mit Synchronunterbrecher**

Die Synchronunterbrecher geben keine Einschaltstromspitzen. Die Schweisszeit ist für jeden Punkt genau gleich.

Die Erkenntnis dieser Mängel veranlasste Brown Boveri, einen neuen Unterbrecher zu entwickeln, der mit einem Synchronmotor angetrieben wird.

Der Synchronmotor gestattet, den Einschaltmoment so einzustellen, dass absolut keine Stromspitzen entstehen und die Schweisszeit regelmässig ist, was durch die Oszillogramme Fig. 25 bewiesen wird.

Fig. 26 zeigt den Aufbau des Brown Boveri Synchron-Unterbrechers.

Der Betrieb hat gezeigt, dass wegen den kleinen Ausschaltfunken der Kontaktverschleiss beim Synchronunterbrecher ein Mehrfaches kleiner ist als bei einem gewöhnlichen Unterbrecher. Das für ein

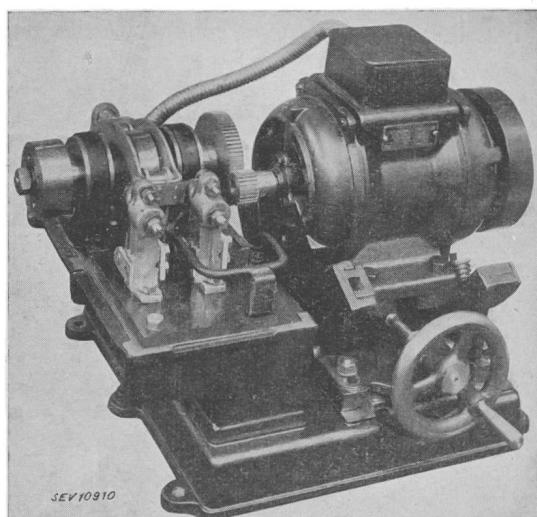


Fig. 26.

**Brown Boveri-Synchronunterbrecher**

der saubere Schweissnähte, genaue Schweisszeiten und keine Stromspitzen gibt.

richtiges Arbeiten des Schalters nötige Nachstellen der Kontakte bietet auch für einen ungelerten Arbeiter keine Schwierigkeiten. Dadurch ist die Wartung für den Synchronunterbrecher eher geringer als für einen gewöhnlichen Unterbrecher. Hauptbedingung für das einwandfreie Arbeiten des Synchronunterbrechers ist die richtige Einstellung des Ein- und Ausschaltmomentes. Dies muss bei der Ablieferung in der Anlage unbedingt durchgeführt werden.

## Das Punktschweissen von Aluminium und Aluminiumlegierungen

Referat, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 5. Mai 1943 in Basel,  
von R. Irmann, Neuhausen

621.791.76

Die Materialeigenschaften (elektrische Leitfähigkeit und Schmelzintervall) des Aluminiums und seiner Legierungen werden erwähnt. Es werden die Wahl des Schweißstromes und des Elektrodendruckes in Abhängigkeit der Blechdicke angegeben. Die mechanischen Eigenschaften der Schweisspunkte und die Festigkeit der Schweissverbindungen werden ausführlich behandelt.

L'auteur expose les propriétés de l'aluminium et de ses alliages (conductibilité électrique et intervalle de fusion). L'intensité du courant de soudure et la pression des électrodes sont indiquées en fonction de l'épaisseur de la tôle. Les qualités mécaniques des points de soudure et la solidité de ces liaisons sont traitées en détail.

Das Punktschweissen erfordert für Aluminium einen viel höhern Energieaufwand als bei Eisen, da Aluminium eine wesentlich höhere Leitfähigkeit besitzt. Außerdem liegt der Schmelzpunkt des Aluminiums und seiner Legierungen tiefer als bei Eisen. Die Aluminiumlegierungen weisen ein Schmelzintervall auf und besitzen eine bedeutend geringere Warmfestigkeit als Eisen. Diese Eigenschaften des Aluminiums müssen durch genaue Dosierung der Stromstärke und der Schweisszeit berücksichtigt werden und der Elektroden-Anpressdruck bedarf einer genauen Regulierung. Eine Uebersicht über die elektrische Leitfähigkeit und die Schmelz-

punkte bzw. Schmelzintervalle von Aluminium und seinen Legierungen gibt Tabelle I.

Man sieht, dass die Leitfähigkeit selbst bei Peraluman 7 noch wesentlich grösser als die von Eisen ist, welche etwa 10 beträgt.

Zu berücksichtigen ist ferner beim Punktschweissen, dass der Stromdurchgang zwischen Elektrode und Al durch die isolierende Wirkung des auf jeder Al-Oberfläche vorhandenen Oxydfilmes stark beeinflusst werden kann. Die Oberflächenbehandlung zur Beseitigung dieses mehr oder weniger starken Oxydfilmes spielt also beim Al eine ausschlaggebende Rolle.