

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 53 (1962)  
**Heft:** 16  
  
**Artikel:** Die Entwicklung der Elektroschweissung in der Schweiz  
**Autor:** Kindschi, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916963>

### **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:** 22.02.2026

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

Faktor  $e^{-\beta\tau}$  zum Nullpunkt hin parallel verschoben werden müssen.

### Zusammenfassung

Die einfachen mathematischen Zusammenhänge, die bei verlustlosen Leitungen für die als Wanderwellen bezeichneten Ausgleichsvorgänge gültig sind, bilden die Grundlage für ein einfaches, graphisches Verfahren zur Bestimmung des zeitlichen Verlaufes dieser Wanderwellen. An Hand kleiner praktisch durchgeführter Beispiele wurde das Prinzip dieses Bergeron-Verfahrens an allen wichtigen Schaltungskombinationen erläutert. Dabei konnte auch gezeigt werden, dass nichtlineare Ausgangsgrößen ebenso einfach zu behandeln sind wie die bei Berechnungen üblicherweise zu Grunde gelegten Rechteckfunktionen. Bei der graphischen Durchführung des Bergeron-Verfahrens wird eine Anwendungsgrenze durch den Arbeitsaufwand gesetzt, wenn die Leitungsverluste bei nicht verzerrungsfreien Leitungen berücksichtigt werden sollen. Da aber das Prinzip des Verfahrens durch einfache mathematische Zusammenhänge dargestellt werden kann, wird mit Sicherheit das Bergeron-Verfahren durch die numerische Auswertung unter Einsatz von Digitalrechnern in den kommenden Jahren eine erhebliche Ausweitung seines Anwendungsgebietes erfahren.

### Literatur

- [1] Löwy, R.: Druckschwankungen in Druckrohrleitungen. Wien: Springer 1928. S. 84.
- [2] Schnyder, O.: Druckstöße in Pumpensteigleitungen. Schweiz. Bauztg. 94(1929)22, S. 271...273; 23, S. 283...286.
- [3] Schnyder, O.: Über Druckstöße in Rohrleitungen. Wasserkraft und Wasserwirtsch. 27(1932)5, S. 49...54; 6, S. 64...70.
- [4] Bergeron, L.: Variations de régime dans les conduites d'eau. C. R. Trav. Soc. Hydrotechn. France 31(1932), S. 605...623.
- [5] Bergeron, L.: Etude des variations de régime dans les conduites d'eau. Solution graphique générale. Rev. gén. Hydraul. 1(1935)1, S. 12...25; 2, S. 69...77.

- [6] Schnyder, O.: Über Druckstöße an verzweigten Leitungen mit besonderer Berücksichtigung von Wasserschlossanlagen. Wasserkraft und Wasserwirtsch. 30(1935)12, S. 133...142.
- [7] Bergeron, L.: Etude des coups de bélier dans les conduites. Nouvel exposé de la méthode graphique. Techn. mod. 28(1936)2, S. 33...38; 3, S. 75...82.
- [8] Bergeron, L.: Propagation d'ondes le long des lignes électriques. Méthode graphique. Bull. Soc. franç. Electr. 5. Ser., 7(1937)82, S. 979...1004.
- [9] Bergeron, L.: Méthode graphique générale de calcul des propagations d'ondes planes. Mém. Soc. Ing. civ. France 90(1937)4, S. 407...497.
- [10] Blondel, A.: L'évolution des méthodes de calcul des phénomènes transitoires. XIV: Etude directe de la propagation et de la réflexion des ondes: méthode graphique. Rev. gén. Electr. 41(1937)19, S. 587...589. XV: Méthode de L. Bergeron. S. 589...594.
- [11] Haller, P. de: Über eine graphische Methode in der Gasdynamik. Techn. Rdsch. Sulzer -(1945)1, S. 6...24.
- [12] Bergeron, L.: Du coup de bélier en hydraulique au coup de foudre en électricité. Paris: Dunod 1950.
- [13] Mauduit, A.: Installations électriques à haute et basse tension. 2. Aufl. Paris: Dunod 1950. S. 835...861.
- [14] Satche, P. und V. Grosse: Le calcul des tensions de rétablissement et des surtensions internes par la méthode de Bergeron. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), 13. Session 1950, Bd. 2, Rapp. 128.
- [15] Herlitz, I. und N. Knudsen: Protection contre les surtensions du matériel électrique relié par câble à une ligne aérienne. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), 14. Session 1952, Bd. 3, Rapp. 324.
- [16] Bulla, W.: Das Bergeron-Diagramm für Wanderwellen. E und M 71(1954)2, S. 37...41.
- [17] Jurecka, W.: Das Stosslinienverfahren zur Bestimmung von Druckschwankungen in Wasserrohrleitungen und von Spannungsschwankungen in elektrischen Leitungen. ÖZE 7(1954)2, S. 49...52, 3, S. 79...83.
- [18] Mauduit, A.: Méthode graphique de Bergeron pour l'étude de la propagation des ondes le long des lignes électriques. Rev. gén. Electr. 63(1954)4, S. 191...221.
- [19] Louvet, A., M. Magnien, E. Maury und J. Pericart: Contribution au calcul des surtensions de coupure d'une longue ligne à 380 kV. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), 16. Session 1956, Bd. 3, Rapp. 415.
- [20] Frey, W. und P. Althammer: Die Berechnung elektromagnetischer Ausgleichsvorgänge auf Leitungen mit Hilfe eines Digitalrechners. Brown Boveri Mitt. 48(1961)5/6, S. 344...355.

### Adressen der Autoren:

o. Prof. Dr. H. Prinz, Institut für Hochspannungs- und Anlagentechnik, Technische Hochschule München, Arcisstr. 21; Dipl.-Ing. W. Zaengl, München, Mainzerstr. 18 und Dipl.-Ing. O. Völcker, München, Herzogstr. 63.

## Die Entwicklung der Elektroschweissung in der Schweiz

Von A. Kindschi, Basel

621.791(494)

Der Aufsatz gibt einen allgemeinen Überblick über den heutigen Stand der Schweisstechnik. Als eindrücklicher Vergleich ist ein Rückblick auf die Entstehungsgeschichte der Elektro-Schweisverfahren und deren Prinzipien gemacht worden. Die Entwicklungen der Apparate des Auslandes, die sehr eng mit den Belangen der schweizerischen Schweisstechnik verknüpft sind, werden im Aufsatz ebenfalls erwähnt. Die Bedeutung der Elektroschweissung für die Schweiz ist geschildert. Eine Kurve gibt die Entwicklung der Schweissapparate im Versorgungsnetz der Stadt Basel an, und in einer Schätzung wird die mutmassliche Zahl der heute in der Schweiz angeschlossenen Schweissapparate aller Kategorien, deren Anschlusswert und Energieverbrauch angegeben.

### 1. Lichtbogenschweissen

Beim Durchblättern der Literatur über das Schweissen ist es interessant, festzustellen, dass schon im Jahre 1842 ein englisches Patent auf ein Verfahren erteilt wurde, nach welchem Iridiumpulver auf eine Metallplatte mit Hilfe des elektrischen Lichtbogens aufgeschweisst werden konnte. Versuche, den elektrischen Lichtbogen als Lötlampe zu verwenden, sind aus dem Jahre 1872 bekannt. Schweissversuche, d. h. Metalle mittels Lichtbogen zu verbinden, wurden dann in Deutschland um das Jahr 1881 angestellt, aber nennenswerte Erfolge erzielte erst Nikolaus von Benardos

*Aperçu général de l'état actuel de la technique du soudage. A titre de comparaison, l'auteur fait l'histoire du soudage électrique et de ses principes. Il mentionne également le développement des appareils à l'étranger, qui est très étroitement lié à la technique suisse du soudage électrique, dont l'importance est considérable. Une courbe indique le développement des appareils de soudage dans le réseau urbain du Service de l'électricité de Bâle. L'auteur estime le nombre des appareils électriques de soudage de tous genres, actuellement utilisés en Suisse, leur puissance installée et leur consommation d'énergie électrique.*

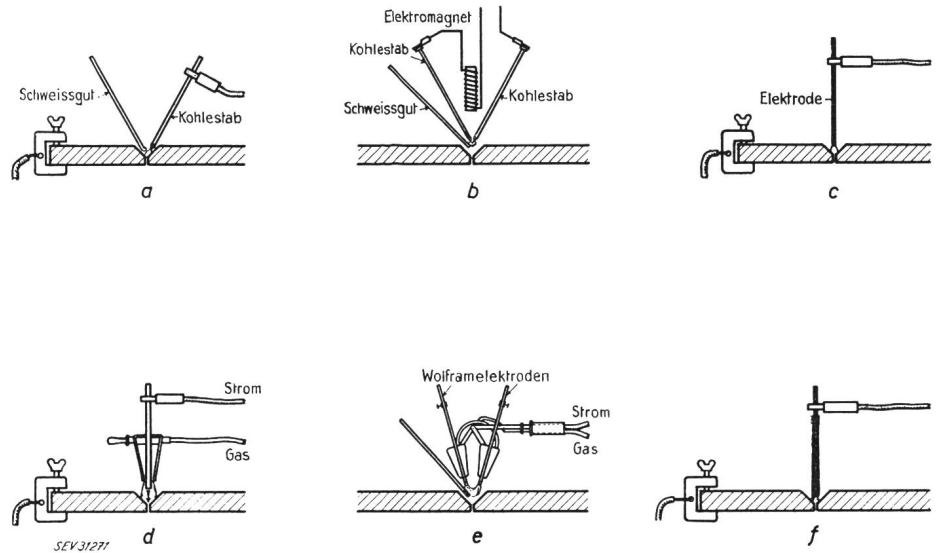
in Petersburg, der als eigentlicher Erfinder der Lichtbogenschweissung gilt. Er meldete seine Patente in Deutschland in den Jahren 1885 und 1887 an.

Nach seinem Verfahren wurde der eine Pol einer elektrischen Energiequelle an das Werkstück und der andere an einen Kohlenstab als Elektrode angeschlossen. Durch Berühren und Wiederentfernen der Elektrode vom Werkstück entsteht zwischen dem Werkstück und dem Kohlenstab ein Lichtbogen. Dieser muss durch entsprechende Haltung der Lichtbogendistanz unterhalten werden und liefert so, dank seiner hohen Hitze, die Schmelzwärme. Fremdes Schweissgut muss dabei zugeschmolzen werden.

Fig. 1

### Die Entwicklung der Lichtbogenschweißung

a Methode Benardos, 1885; b Methode Zener, 1889; c Methode Slavianoff, 1892; d Schweißen mit Schutzgas; e Schweißen mit atomarem Wasserstoff; f Schweißen mit umhüllter Elektrode



Im Jahre 1889 patentierte Dr. Zener ein Verfahren, nach dem der Flammenbogen zwischen zwei Kohlenstäben gebildet wird, während Slavianoff 1892 die beiden Verfahren vereinfachte und den Lichtbogen mit einer Metallelektrode, die gleichzeitig als Zusatzmaterial dient, einleitete.

In der Folge wurden dann noch die Verfahren mit Schutzgas entwickelt und erst viel später hatte man sich zu dem einfachen und zuverlässigen Schweißen mit der umhüllten Elektrode durchgerungen.

In Fig. 1 sind die verschiedenen Entwicklungsetappen dargestellt. Es ist daraus gut verständlich, dass die Verfahren nach Benardos und Zener durch das einfache Prinzip von Slavianoff ersetzt wurden. Weniger verständlich ist wohl die Tatsache, dass dieses Prinzip wieder verlassen und die unhandlichen und kostspieligen Verfahren mit Schutzgas entwickelt wurden. Der tiefere Grund dafür lag darin, dass sich das Verfahren von Slavianoff, d. h. das Schweißen mit der nackten Elektrode, sehr gut für unbeanspruchte Elemente anwenden liess, bei beanspruchten Konstruktionen aber zu metallurgischen Fehlschlägen führte. Vor allem wiesen die Schweißnähte eine wesentliche Festigkeits-einbusse auf, weil beim Übergang des flüssigen Elektrodenmaterials ins Schmelzbad wichtige Bestandteile, wie Kohlenstoff und Mangan, ausschieden. Auch wurden aus der Luft Sauerstoff und Stickstoff aufgenommen, wodurch die Festigkeitseigenschaften sich verschlechterten. Um diesem Nachteil beizukommen, versuchte man mit einer Schutzgashülle jeden Einfluss von Sauerstoff und Stickstoff auf das Schmelzbad und auf die Elektrode mit Sicherheit auszuschalten.

Diese Gasschweißverfahren befriedigten aber in ihrer praktischen Anwendung in Bezug auf Handlichkeit und Apparaturen nicht und so wurde durch unermüdliches Forschen und Suchen die umhüllte Elektrode geschaffen. Man kehrte zurück zum Prinzip von Slavianoff, und erreichte mit einer Paste, die durch Eintauchen, Aufpressen oder Umwickeln auf die legierten Schweißstäbe aufgetragen wurde, in metallurgischer Hinsicht das angestrebte Ziel. Die besonderen metallischen und nichtmetallischen Umhüllungstoffe der Paste bilden beim Verbrennen die erwünschte Schutzgashülle, legen eine schützende Schlackenschicht über die gelegte Naht und veredeln das Schmelzbad, alles Vorteile, die die Güte der Schweißnaht günstig beeinflussen. Damit hatte man das, heute noch übliche, bewährte und einfache Handschweißverfahren gefunden. Diese Entwicklung dauerte allerdings Jahrzehnte, denn erst um das Jahr 1925 kam in der Schweiz die erste brauchbare umhüllte Elektrode auf den Markt. Die Paste war mit Asbestschnur auf den Stab aufgewickelt, wobei zur Auflegung noch ein Aluminium-

oder Neusilberfaden mitgewickelt wurde. Diese Elektrode konnte nur mit Gleichstrom verschweisst werden. Ein Jahr später war aber auch die Wechselstromschweißung möglich und so stand der Entwicklung der Elektroschweißung nichts mehr im Wege. Trotzdem schleppte sie sich bescheiden und unerkannt im Schatten der autogenen Schweißung dahin und hatte Mühe, Boden zu gewinnen. Unter anderem schenkte man der Ausbildung der Schweißer viel zu wenig Beachtung. Es wurde viel geschweisst ohne eigentliche Kenntnisse der Schweißvorgänge. Durch die dabei logischerweise auftretenden Misserfolge verärgert, benutzten die Handwerker oft nur noch zur Not den Elektroschweißapparat. Erst als von einigen Stellen erkannt wurde, dass nicht nur der Ingenieur und Techniker dieses Gebiet von Grund auf kennen müsse, dass eine gründliche Schulung und Auslese der Schweißer selbst, ebenso bedeutsam sei, begann die Elektroschweißung Vertrauen zu gewinnen. Es kann nicht eindrucklich genug darauf hingewiesen werden, dass die elektrische Schweißung mit äusserster Sorgfalt und Sachkenntnis angewendet werden muss.

Fig. 2 gibt das Prinzipschema über den Schweißvorgang und die heute üblichen elektrischen Energiequellen wieder. Der Lichtbogen wird nach diesem Prinzip durch Berühren des Werkstückes mit dem Elektrodenende und anschliessendem Abheben (Lichtbogenlänge gleich ungefähr Elektrodendicke) gebildet. Diese Lichtbogenlänge muss exakt gehalten werden, was ein ständiges Ausgleichen des Elektrodenabbrandes erfordert und deshalb vom Schweißer nicht nur praktisches Können, sondern zur Erzielung hoher Schweißqualität auch höchste Ausdauer, gewissenhafte Arbeit, vor allem aber einen ruhigen, ausgeglichenen

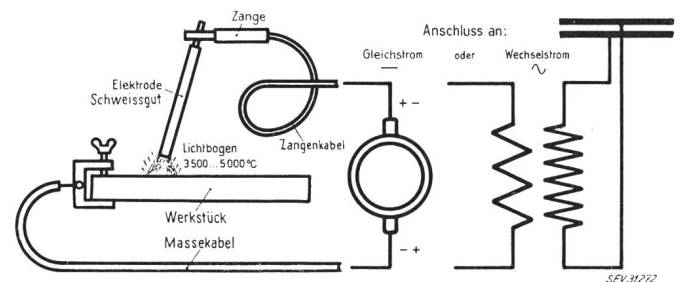


Fig. 2  
Prinzipschema

Charakter und gute Kenntnisse der Schweissvorgänge verlangt.

Diese Erkenntnis veranlasste vor Jahrzehnten verschiedene Fabrikanten von Schweissapparaten und Elektroden, durch Kurse die Schweisser auszubilden, um damit die Elektroschweissung zu fördern. Auch das Elektrizitätswerk Basel richtete im Jahre 1936 in gleicher Absicht ein ständiges Ausstellungs- und Vorführungslokal für das Elektroschweissen ein. Während 20 Jahren führte es jährlich einige Schweisskurse für das metallverarbeitende Gewerbe und für die Fachschulen durch und erfasste so in 93 Kursen 1800 Teilnehmer.

Schweissen ist eine Vertrauenssache. Jede Schweissnaht ist mitbestimmend für Qualität und Sicherheit der ausgeführten Konstruktion. Typische Beispiele zeigten dies eindrücklich genug. Es sei nur u. a. an den Brückeneinsturz bei Hasselt, Belgien, erinnert, wo 1938 die 74,5 m lange Strassenbrücke über den König-Albert-Kanal zufolge unsachgemäss ausgeführter Schweissung einstürzte. Als Ursache wurden unzulässige, scharfe Kerben in den Einbrandzonen festgestellt, die jeder gut geschulte Schweisser vermieden hätte. Solche Vorkommnisse boten den Gegnern willkommene Gelegenheit, öffentlich gegen die Elektroschweissung Stellung zu nehmen, denn im Konstruktionsbau, wo bis anhin genietet und geschraubt wurde, sowie auch in Kreisen der Acetylschweissung sah man mit Besorgnis in der Elektroschweissung einen Rivalen aufkommen.

Der zweite Weltkrieg hat dann das Seine dazu beigetragen, um die Elektroschweissung zu fördern. Mit einem Schlag wurden die Grundlagen unseres Wirtschaftslebens vollständig verändert. Es hiess umstellen, umlernen, anpassen, die Rohstoffe begannen knapp zu

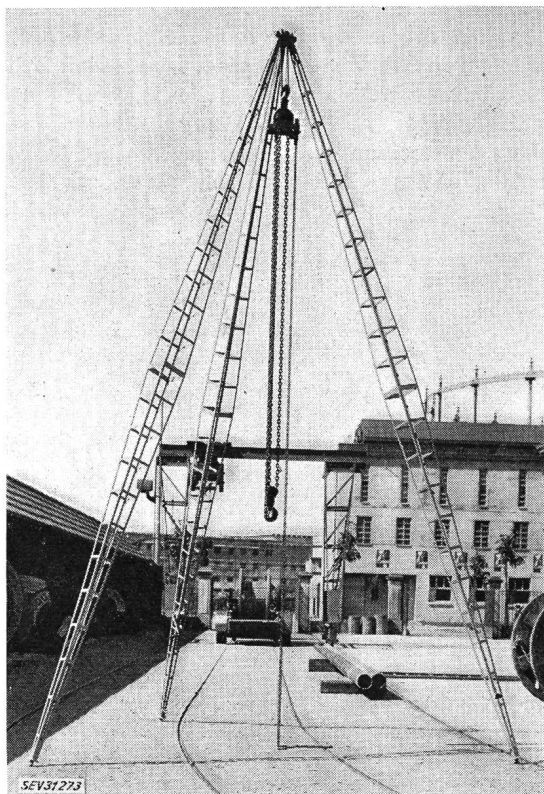


Fig. 3  
Dreibein

aus Winkel- und Flacheisen zusammengeschweisst

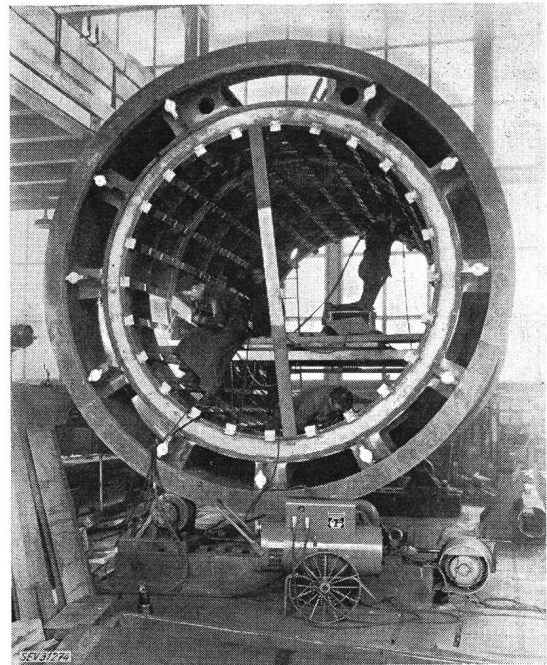


Fig. 4

Schweissarbeit an einem Statorgehäuse

werden und es galt, mit Material und Energie äusserst haushälterisch umzugehen. So wurde die Elektrode, das Streichholz der Maschinenindustrie, wie sie ein bedeutender Wirtschaftsführer treffend bezeichnete, vermehrt eingesetzt. Es bewahrheitete sich, dass jeder Schlosser solche Streichhölzer in Schachteln kaufen könne, um mit diesen unscheinbaren Stäbchen gewaltige Brände anzuzünden, Brände der Arbeit, Brände der Entwicklung und Brände des Erfolges. Elektrisch schweissen heisst billiger und schneller arbeiten, sowie leichter bauen bei gleicher Festigkeit. Diese Tatsache wurde nun eindrücklich erkannt und so wurden immer neue Feuerstellen gelegt. Auch die kleinsten Arbeitsstellen traten mit diesem Streichholz des 20. Jahrhunderts an Stelle der riesigen Giessereien und Schmieden, die früher in langwieriger und mühevoller Arbeit konstruktiv beschränkte und schwere Maschinenteile herstellten. Durch Verschweissen einfacher Eisenelemente konnten gleichwertige, leichtere und billigere Erzeugnisse auf den Markt gebracht werden, was sich für unseren Aussenhandel sehr wertvoll auswirkte. Beinahe jedes Stück Metall liess sich dank der Schweissttechnik wieder verwenden und zu nützlichen Geräten zusammenschweissen (Fig. 3). Betrachten wir einmal heute all die gewaltigen Maschinen und Konstruktionen, so stellen wir fest, dass es ein «Zusammenspiel» einzelner Metallteile ist (Fig. 4), das dem Konstrukteur jede Freiheit in Bezug auf die Formgebung gewährt, im Gegensatz zu gegossenen Werkstücken. Auch die einheimische Kraft, die Elektrizität, konnte hier zum Nutzen des Landes eingesetzt werden und bewies einmal mehr ihre hohe Qualität und vielseitige Anwendbarkeit.

Heute wird die Elektrizität in mannigfacher Art und Weise für die Verbindung von Metallen eingesetzt. Die wichtigsten Verbindungen sind dabei wohl die Lichtbogen- und Widerstandsschweissung. So kommt der Elektroschweissung in der gesamten metallverarbeitenden Industrie eine geradezu überragende Bedeutung zu. Sie hat in den beiden letzten Jahr-



zehnten Formen angenommen, die die kühnsten Erwartungen übertrafen. Ein Verfahren, das sich derart entwickeln konnte, muss seine besonderen Vorteile haben. Die Lichtbogenschweissung darf denn auch die wertvollen Eigenschaften für sich beanspruchen, dass der Schweisslichtbogen eine ausserordentlich starke Schmelzwirkung bei 3500 °C hat. Die von ihm getroffene Metalloberfläche schmilzt deshalb im Bruchteil einer Sekunde. Diese Eigenschaft erlaubt die Schweissung grösster Materialstärken ohne Vorwärmen bei jeder Witterung. Sie ergibt auch kleinste Werkstoffdehnungen und Schrumpfspannungen im Werkstück und beschränkt dadurch die Nacharbeiten auf ein Minimum. Die augenblickliche Verflüssigung der Materialoberfläche wirkt sich besonders beim Schweiessen von rostfreiem Material geradezu ideal aus. Das Widerstandsschweiessen ersetzt auch konkurrenzlos die Feuerschweissung.

Mit der steigenden Anwendung der Elektroschweissung in allen Sparten der metallverarbeitenden Industrie haben sich auch die Verfahren selbst entwickelt, vervollkommen und sich für gewisse Sondergebiete herangebildet. In den letzten Jahren wurde stark das Ziel verfolgt, die Wirtschaftlichkeit und Produktivität besonders durch Mechanisierung und Automatisierung zu steigern. Obwohl die Handschweissung immer noch stark vorherrscht (es dürften gewichtsmässig etwa 10...11mal mehr Elektroden verbraucht werden als Automatendraht), haben das Schutzgas- und Automatschweiessen sehr stark an Interesse gewonnen.

Die Entwicklung bei der Handschweissung zeigte sich in der Verbesserung der Elektroden und der Stromquellen. Bei den Handelektroden legte man grossen Wert auf eine günstigere Zusammensetzung der Umhüllungstoffe, um bessere Verschweisbarkeit, Verminderung der Spritzverluste und leichtere Entfernung der Schlacken zu erzielen. Spezialelektroden wurden für Stahl, Guss und Nichteisenmetalle aller Art geschaffen, so dass auch auf diesem Gebiet ein unermüdliches Forschen und Entwickeln festzustellen ist.

Für die Schutzgasschweissung sind die Drähte verbessert worden, damit beim Nachschub in der Kontaktdüse weniger Störungen auftreten. Auch den Pulvereigenschaften für die Unterpulverschweissung wurde vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt.

Die Schweissapparate ihrerseits haben in Wirkungsweise und Aufbau ebenfalls grosse Fortschritte zu verzeichnen. Die Regulierung ist durchwegs stufenlos, die Schweisseigenschaften sind wesentlich verbessert und die Einschaltdauer erhöht worden. (Die Einschaltdauer, ED, gibt an, bei welchen Stromstärken dauernd geschweisst werden darf, ohne die Maschine durch zu hohe Erwärmung zu gefährden).

Geschweisst wird mit Gleich- und Wechselstrom. Alle diese Energiequellen müssen eine spezielle, möglichst trägheitslose Charakteristik aufweisen, d. h. der Flambogen muss trotz der Kurzschlüsse, die während dem Schweissvorgang auftreten, auch nach der Zündung stabil bleiben. (Kurzschlüsse treten einmal bei der Einleitung des Flammenbogens auf und jedesmal, wenn der flüssige Metalltropfen von der abschmelzenden Elektrode zum Werkstück übergeht und so eine metallische Brücke bildet.)

Es gibt Maschinen, die thermisch und akustisch gegen Überlastung geschützt sind, sie können fernreguliert werden, konstruktiv sind sie eleganter, witterungs-

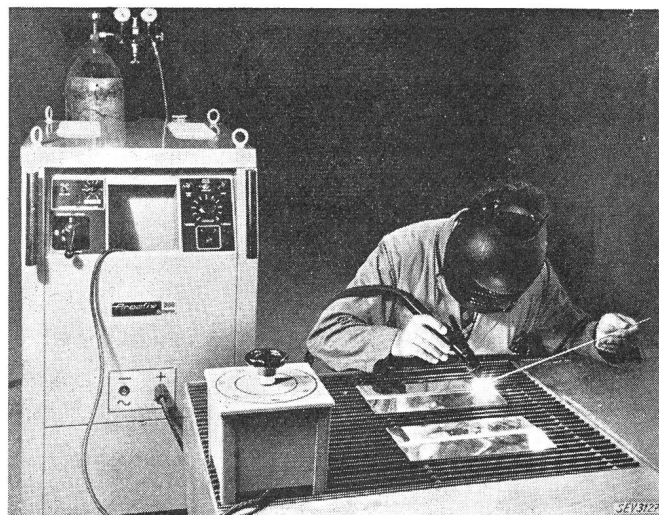


Fig. 5

#### Arcofix-Schweissanlage

Gleich- und Wechselstromquelle für Argonarc-Punktschweissen, für Handelektroden und für Argonarc-Automatschweissung

beständiger und vor allem leichter gebaut. Zum Beispiel eine Gleichstrommaschine von etwa 375 A wog im Jahr 1930 650 kg, 1940 410 kg und heute nur noch etwa 185 kg. Die Umformer sind auch geräuschloser geworden. Während man früher nur Transformatoren oder Umformer kannte, sind heute kombinierte Gleich- und Wechselstromapparate für die Schutzgas- und Handelektrodenschweissung auf dem Markt (Fig. 5).

Fig. 6 zeigt die neueste Argonarc-Anlage mit eingebauter Gleich- und Wechselstromquelle für Strombereiche von 22...320 A, stufenlos elektrisch regulierbar. Der Gleichstrom wird mittels Selen- oder Siliziumgleichrichtern erzeugt. Auf der Figur ist der wassergekühlte Brenner sichtbar.

Mit den gebräuchlichen neuzeitlichen Schweissmaschinen, die allgemein für alle Netzspannungen zwischen 190 und 500 V gebaut sind, lassen sich Schweissströme von 15 bis etwa 800 A stufenlos oder dann sehr feinstufig einstellen. Die Lichtbogenspannung beträgt 10..40 V, die Leerlauf- oder Zündspannung bei Gleichstrom 60...70 V und bei Wechselstrom 60...100 V.

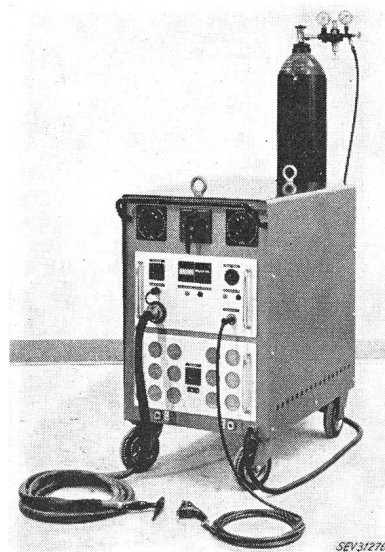


Fig. 6

#### Argonarc-Anlage

mit eingebauter Gleich- und Wechselstromquelle, auch für Elektrodenschweissung geeignet

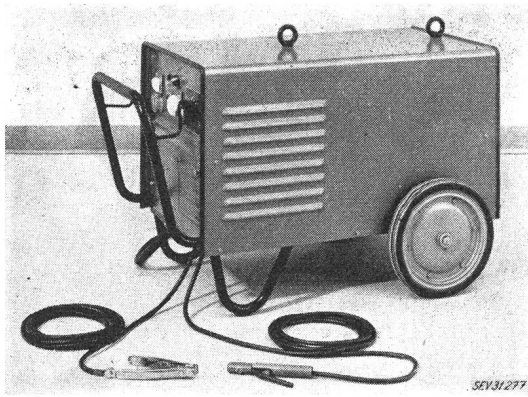


Fig. 7  
Schweissgleichrichter  
mit Selen- oder Siliziumzellen

Sowohl bezüglich Anschaffung und Unterhalt als auch im Energieverbrauch sind Umformergruppen teurer als Transformatoren, dafür aber universeller in der Anwendung. Das Verhältnis Transformatoren zu Umformer dürfte schätzungsweise 80 zu 20 betragen. Vor etwa 30 Jahren versuchte man durch Gleichrichter die schweren Umformergruppen zu ersetzen. Wegen der hohen Empfindlichkeit der Röhrengleichrichter beim Transport und im Betrieb fanden sie aber keine grosse Verbreitung, da die Schweissapparate immer mehr auch auf Baustellen verwendet wurden. Heute sind jedoch wieder Gleichrichter mit Selen- oder Silizium-Gleichrichtersätzen bis zu 500 A im Handel, die dreiphasig an 220/380/500 V angeschlossen werden können und mit denen alle Elektroden verschweisbar sind (Fig. 7).

Für Baustellen oder Orte, wo keine elektrische Energie zur Verfügung steht, können Gleichstrom-Maschinen eingesetzt werden mit Benzinmotoren als Antrieb (Fig. 8). In Werkstätten, wo laufend an mehreren Arbeitsplätzen geschweisst wird, werden aus wirtschaftlichen Erwägungen vorteilhaft Mehrstellen-Schweissanlagen eingesetzt. Solche Anlagen werden mit Generatoren bis 3000 A für 30...60 Schweissplätze gebaut.

Einige typische Verfahren, die sich im Zuge der Entwicklung herangebildet, mehr oder weniger eingeführt, und zum Teil noch üblich sind, seien hier kurz besprochen.

Bei folgenden halbautomatischen Verfahren werden z. B. umhüllte Elektrodenstäbe verschweisst:



Fig. 8  
Fahrbare benzinelektrische Schweissgruppe  
mit angeschlossener flexibler Welle und Schleifscheibe

**Elin-Hafergut:** Es wird eine umhüllte Elektrode in eine vorbereitete Naht eingelegt und mit Kupferbacken abgedeckt. Die Kabelanschlüsse erfolgen einerseits am Ende der Elektrode, und anderseits am Werkstück. Nach eingeleiteter Zündung brennt die Elektrode, die bis zu 2 m lang ist, ab und hinterlässt eine einwandfreie Schweissung.

**Kjellberg** (Fig. 9): Normale Elektroden werden in die, im spitzen Winkel zueinander stehenden Nuten in einen Schweisskopf eingelegt und an das stromführende Kabel angeschlossen. Die eine Elektrode brennt dann mit genau eingestelltem Vorschub automatisch ab. Der Schweisser legt die zweite Elektrode ein, die dann den Lichtbogen ohne Unterbrechung übernimmt. Elektroden oder Werkstückbewegung, Lichtbogenlänge usw. wird durch Schalt- und Regelorgane automatisch gesteuert.

Je tiefer die Elektroschweissung in die Gebiete der Serienfabrikation und Rationalisierung im Maschinenbau eindrang, um so mehr wurden die halb- und ganz-automatischen Schweissverfahren entwickelt, bei denen nicht mehr Stabelektroden verschweisst werden, sondern der Schweissdraht von einer Drahttrommel automatisch nachgeschoben wird.

Automatisierung bedeutet auch hier, die Funktion, die der Schweisser bei der Handschweissung auszuführen hat, ganz oder teilweise durch eine gesteuerte Maschine vornehmen zu lassen. Die menschlichen Fehlerquellen werden dadurch vermieden, die Schweissgeschwindigkeiten erhöht und die Qualität verbessert. Alle Vorgänge werden exakt gesteuert; die Bewegung der Werkstücke oder der Elektrode, die Zündung des Lichtbogens, die Schweissgeschwindigkeit und die Lichtbogenhaltung bzw. Elektrodenabbrand.

Diese modernen Automaten bewirken günstigere Produktionskosten. Es ist erwiesen, dass die Arbeitszeiterparnis schon bei halbautomatischer Schweissung 50...70 % beträgt und sich bei den Vollautomaten auf ein Vielfaches steigert.

Beim halb- und vollautomatischen Schweissverfahren mit Nachschub des Elektroden drahtes durfte die wichtige Aufgabe der Umhüllung auch nicht ausser

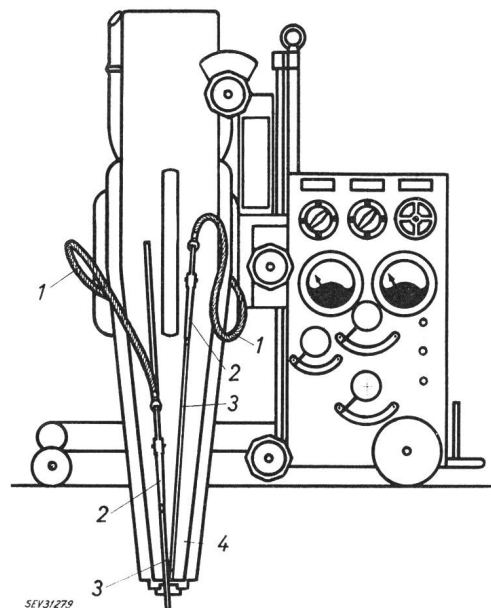


Fig. 9  
Das Kjellberg-Verfahren  
1 Stromzuführungskabel; 2 Stromklemme; 3 Elektroden; 4 automatisch gesteuerter Schweisskopf

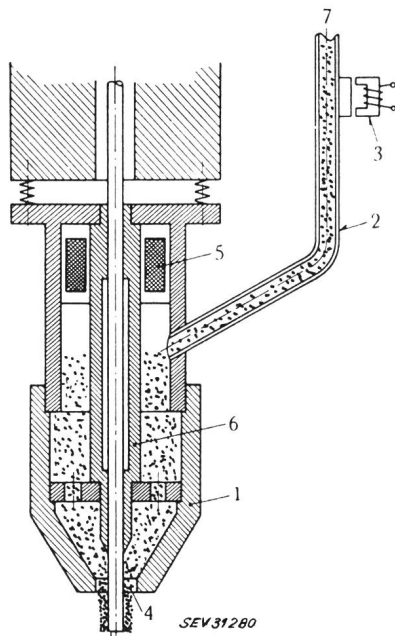


Fig. 10

Einrichtung für die Umhüllung des Nacktdrahtes mit Schweisspulver

1 Düse; 2 Zuführungsrohr für Pulver; 3 Vibrationsmagnet; 4 Düsenöffnung; 5 Sperrspule zum Unterbinden des Pulverflusses in den Schweisspausen; 6 Drahtzuführungsrohr mit Schleifkontakt; 7 Schweisspulverfluss aus dem Pulverbehälter

acht gelassen werden, und so wurden Wege gesucht, um der Schweissnaht den nötigen Schutz und die Auflegung durch die Umhüllung zu erhalten. In einigen Figuren ist dargestellt, wie diesem Umstand Rechnung getragen wird. Die Umhüllung wird entweder in Form von Segmenten durch spezielle, zweiteilige Mantelketten vor der Zündung des Lichtbogens automatisch an den Schweissdraht gelegt und umschliesst ihn vollkommen oder, wird nach Fig. 10, als magnetisierbares Schweisspulver gleichmässig mit dem Draht verhaftet.

Fig. 11 zeigt die sog. Gitterelektrode, bei der die Umhüllungsstoffe zwischen den Spiralabständen mehrerer, um den Elektroden Draht gewickelter, dünner Drähte liegen. So wird die Umhüllungsmasse beim Vorschub durch die Führungsbacken vor dem Abbröckeln geschützt.

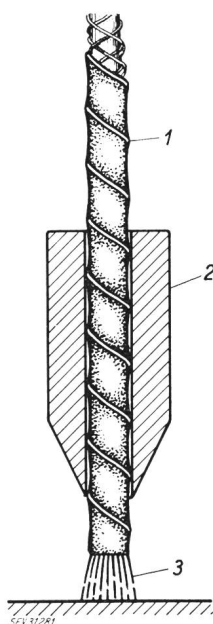


Fig. 11

Gitterelektrode

1 Kontaktdraht; 2 Kontaktdüse; 3 Lichtbogen

Eine andere Methode besteht darin, dass ein nackter Elektroden Draht vorgeschoben, und die Umhüllungsmasse in Form von Pulver automatisch auf die Schweissnaht gestreut wird (Fig. 12). «Der Pulverwall» muss den Lichtbogen vollständig decken. Das nicht verschmolzene Schweisspulver wird abgesaugt und wieder verwendet. Dieses Unterpulverschweissen hat sich gut eingeführt und wird mit Erfolg angewendet.

Bei den Automaten wird an Stelle der Umhüllungsstoffe auch mehr und mehr Schutzgas verwen-

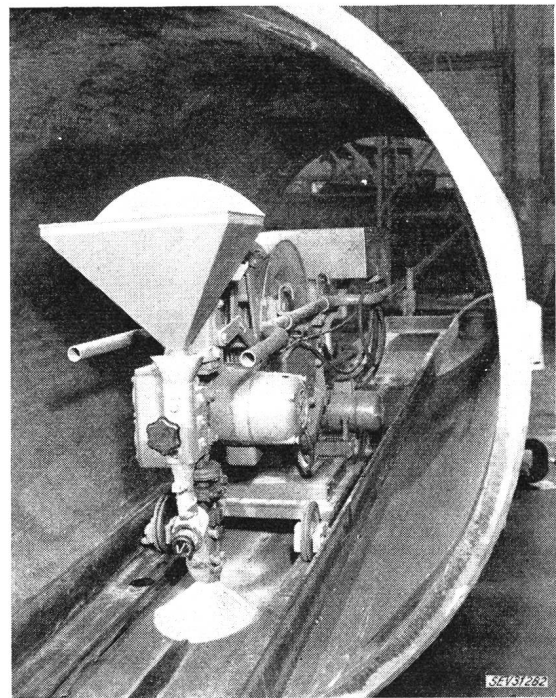


Fig. 12

Schweissen einer Rohrlängsnaht mit einem Schweissautomaten nach dem Unterpulver-Verfahren

det. Hauptsächlich auf dem Gebiet der nichtrostenden Stähle hat sich die Schutzgasschweissung bewährt. Die Verfahren wurden vervollkommen und vereinfacht, so dass heute der Lichtbogen nur noch zwischen einer Elektrode und dem Werkstück gezündet wird. Es wird mit oder ohne Zusatzdraht geschweisst. Als Schutzgas dienen Argon, CO<sub>2</sub> oder Helium. Der Lichtbogen wird bei einigen Verfahren mittels hochfrequentem Strom gezündet. Zur Anwendung kommen diese Verfahren auch bei Kupfer, Aluminium, Magnesium und deren Legierungen sowie bei dünnen Stahlblechen z. B. Karosseriearbeit). Die im Laufe der Zeit erzielte Vereinfachung bei der Hand-Schutzgas-Schweissung zeigen Fig. 5 und 6 deutlich. Der frühere, unhandliche Elektrodenhalter wie dies Fig. 13 zeigt, mit 2 Elektroden, Stellrad usw. ist einem leichten gas- oder wassergekühltem Brenner gewichen. Diese Argonarc-Brenner von nur 300 g Gewicht und für Schweißströme bis 500 A haben eine neuartige Schutzgasströmung, die eine Gas-einsparung von 20...40 % erlaubt.

Schutzgasschweisssgeräte sind heute in mannigfacher Art im Einsatz. Es existiert ein Schweissautomat, bei dem mit naked Draht und CO<sub>2</sub> als Schutzgas ge-

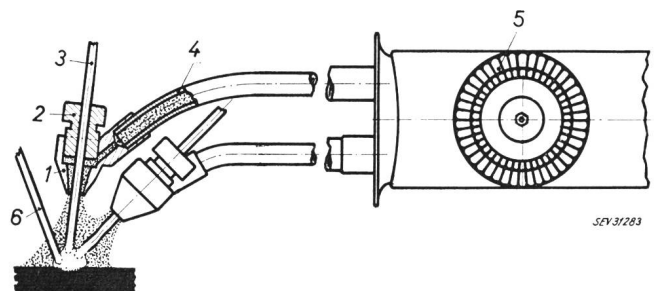


Fig. 13

Elektrodenhalter (Brenner des Arcatom-Verfahrens)

1 Gasdüse; 2 Elektrodenhalter; 3 Wolframelektroden; 4 Gas- und Stromzuführungsrohr; 5 Stellrad; 6 Schweissgut



schweisst wird.  $\text{CO}_2$  kommt zufolge seiner oxydierenden Eigenschaft nur für Stahlschweißungen in Frage. Dieses Verfahren arbeitet mit hohen Stromdichten, die bei  $100\ldots 300 \text{ A/mm}^2$  liegen. Verschweisst werden Drähte zwischen 0,9 und 2,0 mm mit der Möglichkeit  $1,2\ldots 14,7 \text{ kg/h}$  Schmelzgut zu schmelzen. Wegen der starken Löscheigenschaft des  $\text{CO}_2$ -Gases kann nur Gleichstrom benützt werden. Geschweisst wird mit sichtbarem Lichtbogen.

Ein anderes Verfahren, das ebenfalls mit der Kohlensäure als Schutzgas arbeitet, hat als Elektrode einen Draht, in dem Schlackenbildner und Desoxydationsmittel derart eingefalzt sind, dass die Drahtoberfläche trotzdem metallisch glatt ist und deshalb dem Automaten einen raschen Vorschub gestattet. Die Schlacke erfüllt ihren schützenden Zweck wie bei der umhüllten Elektrode und der Kohlensäurestrom verhindert zunächst den Zutritt von Sauerstoff und Stickstoff ins Schmelzbad.

Interessenthalber sei ein moderner Automat in seinen Funktionen kurz beschrieben. Der Schweißautomat in Fig. 14 stellt ein hoch entwickeltes, äusserst vielseitig anwendbares Gerät dar. Er ist eingerichtet für Schweißen unter Pulver, ohne Pulver, mit umhüllten Elektroden, mit magnetischem Schweißpulver und mit Schutzgas  $\text{CO}_2$ . Die Elektrode rollt doppelt geführt von einem Haspel ab und wird durch ein Getriebe automatisch vorgeschoben. Ein Leonhardsystem reguliert den Vorschub derart, dass die Lichtbogen-Spannung konstant auf dem eingestellten Wert gehalten werden kann. Dieses System erlaubt eine genaue Feineinstellung und ergibt einen kontinuierlichen gleichmässigen Schweißvorgang.

Aus der Fülle der Schweißgeräte seien noch einige erwähnt, die zum Teil für Sonderanwendungen geschaffen wurden.

Fig. 15 zeigt eine Schweißpistole für Gleichstrom, in deren Gehäuse der Vorschubmechanismus mit Motor und die leicht auswechselbare Drahtrolle sowie der Geschwindigkeitsregler eingebaut sind. Verschweisst werden Stahl-, Chromnickelstahl-, Aluminium- und Kupferdraht von 0,5...1,6 mm Durchmesser mit Drahtgeschwindigkeiten von  $150\ldots 3350 \text{ cm/min}$ . Diese Pistole kann auch für Argon und  $\text{CO}_2$  Schutzgas verwendet werden.

Es ist auch ein Handapparat für Bolzenschweißung mit vollautomatischer Steuerung entwickelt worden.

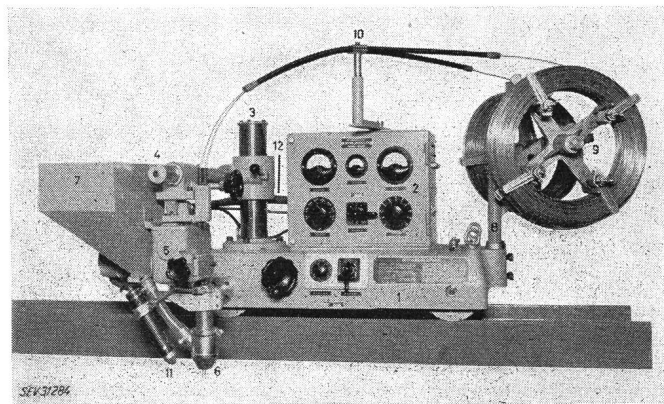


Fig. 14

Schweißautomat für 1200 A Gleichstrom

1 Wagen; 2 Steuerkasten; 3 Säule; 4 Ausleger mit Verstellvorrichtung; 5 Drahtvorschubgetriebe; 6 Schweißdüse; 7 Pulverbehälter; 8 Drahtspindelständer; 9 Drahtspindel; 10 Drahtführung; 11 Lichtzeiger; 12 Schweißstromzuleitung

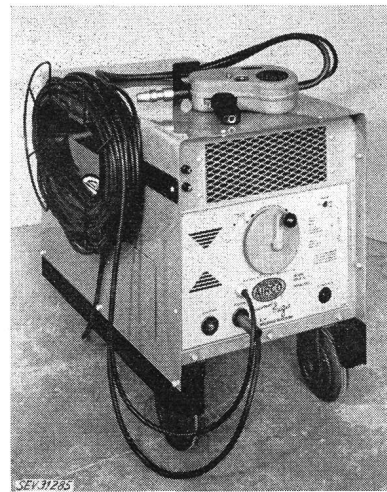


Fig. 15

Schweißpistole

für Schweißströme bis 300 A mit eingelegter Drahtspule. Aktionsradius 17 m ab Stromquelle

Dieses Lichtbogenpreßschweißverfahren wird vorteilhaft im Schiffs- und Maschinenbau eingesetzt. Die zu verschweißenden Bolzen haben eine angedrehte Spitze und werden im Apparat eingesetzt. Durch Berühren mit dem Werkstück fließt der Strom durch den Bolzen, nachdem am Handgriff eingeschaltet wird. Die Spitze schmilzt ab, der Lichtbogen wird eingeleitet und in das entstehende Schmelzbad wird der Bolzen hineingepresst.

Ein anderes Bolzenschweißverfahren, bei dem es keine automatische Steuerung mehr braucht, arbeitet nach folgendem Prinzip:

Am Bolzenende wird eine sog. Bolzenschweißpatrone eingesetzt. Dies ist ein Ring aus halbleitendem schlackenbildendem Stoff, um den eine Manchette aus Karton gewickelt ist, damit die Patrone am zu verschweißenden Bolzen haftet. Wird nun der gespannte Bolzen mit der Patrone auf das Werkstück gesetzt, fließt beim Einschalten der Stromquelle ein ansteigender Hilfsstrom durch die Patrone. Der Lichtbogen wird gezündet. Bolzenende und die Kontaktstelle des Werkstückes werden sofort flüssig und der Bolzen wird nach dem Wegschmelzen der Patrone durch die Feder der Pistole in das Schmelzbad gedrückt. Die schlackenbildenden Stoffe der Patrone beeinflussen dabei wertvoll die Güte der Schweißung. Die Dauer des Schweißverfahrens ist von der Abschmelzzeit der Patrone abhängig. Es kann mit einer Gesamtdauer des Schweißvorganges von ungefähr 1 s gerechnet werden. Als Stromquelle sind Wechselstrom oder Gleichstromapparate mit einer Leerlaufspannung von mindestens 70 V möglich. Mit diesem Apparat können normalerweise Bolzen von  $20\ldots 200 \text{ mm}$  Länge und  $7,5\ldots 17 \text{ mm}$  Durchmesser verschweisst werden, wobei auch Abweichungen in Form und Abmessungen möglich sind (Fig. 16).

Ganz neue Verfahren finden im Ausland bereits Anwendung. Man spricht von einem Elektronenstrahlschweißen, das sich durch eine sehr hohe Leistungsdichte auszeichnet und für kleine wie für grosse Querschnitte mit Erfolg angewendet wird.

## 2. Widerstandsschweißen

Trotzdem *Edison* schon vor etwa 80 Jahren das Stumpfschweißen anwendete, ist wie beim Lichtbo-



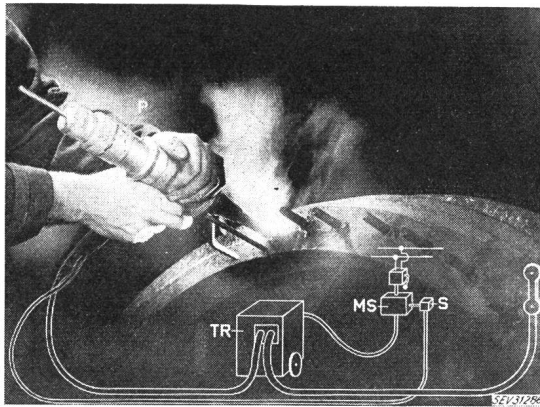


Fig. 16

**Bolzenschweisgerät**

P Bolzenschweisspistole; TR Stromquelle (meist ein normaler Schweisstransformator); S Schaltgerät; MS Magnetschalter

genschweissen auch in der Geschichte des Widerstandschweissens eine jahrzehntelange Anlaufzeit festzustellen. Der Weltkrieg 1914 — 1918 weckte erst das Interesse an diesem Verfahren und so baute damals H. A. Schlatter in Thalwil die erste Widerstandschweissmaschine der Schweiz.

Seither hat sich dieses Verfahren rasch und äusserst vielseitig in der Praxis eingeführt und ist heute aus der metallverarbeitenden Industrie nicht mehr wegzudenken.

Im Prinzip ist die Widerstandschweissung mit der Verbindung der Metallteile nach der heute praktisch nur noch selten angewendeten Feuerschweissung durch Esse, Amboss und Hammer zu vergleichen. Die Wärme wird an den Berührungsstellen der zu verbindenden Metallteile durch den Übergangswiderstand bei Stromdurchfluss erzeugt. Die erzeugte Wärme hängt vom Schweißstrom, vom Widerstand der Berührungsstellen und der Zeit des Stromflusses ab. Sie wird so geregelt, dass das Material der Verbindungsstelle den plastischen (knetbaren) Zustand angenommen hat. Das «Ineinanderkneten» (Hammer und Amboss) wird durch Pressdruck von der Maschine im geeigneten Moment besorgt.

Die Vorteile der Widerstandschweissung sind: Erwärmung vom Kern des Materials aus, geringe Strahlungsverluste, scharf begrenzte und leicht zu beobachtende Wärmezonen, keine Verzungern und Verbrennung des Materials, sauberer und billiger Betrieb.

Die Widerstandschweissung gliedert sich in die Punktschweissung, die Naht- oder Rollenschweissung, Reliefschweissung und die Stumpfschweissung.

Beim Punktschweisverfahren sind wertvolle Erfahrungen verwertet worden. Insbesondere hat sich dieses Verfahren bei der fortschreitenden Rationalisierung durch voll- und halbautomatisch arbeitende Maschinen ein grosses Feld erobert.

Nach diesem Prinzip werden die zu verbindenden Metallteile so zwischen zwei meist zangenförmige Elektroden gelegt, dass die untere Elektrode als Auflage dient. Die obere, bewegliche Elektrode wird dann mit einem Pressdruck, der sich nach der Art des Werkstücks und dessen Oberfläche richtet, auf die zu verbindende Stelle gepresst. Dadurch fliesst der Strom durch die Berührungsstellen der Werkstücke und erzeugt zufolge des Übergangswiderstandes die notwendige Wärme. Unter dem Elektrodenpressdruck verschweissen diese Werkstücke, worauf der Strom

ausgeschaltet und die Elektrode abgehoben wird. Es gibt auch Punktschweisszangen, die beweglich an einem Stromführungskabel luft- oder wassergekühlt, im Besonderen für Blecharbeiten, automatisch elektrisch gesteuert eingesetzt werden können. Fig. 17 zeigt eine moderne, automatische Gitterschweissmaschine. Ähnliche automatische Maschinen sind für die verschiedensten Anwendungen in Draht und Blech erzeugenden Betrieben auf dem Markt. Es gibt auch nach dem Punktschweisverfahren Maschinen mit Drehtisch und automatischer Werkstückzuführung an die Schweissstelle für grosse und kleine Werkstücke. So können z. B. mit einem Hochleistungsautomaten 5000 Kontakte pro Stunde auf Kontaktfedern aufgeschweisst werden, was gegenüber dem Nieten bis zu 50 % Materialersparnis ergibt.

Bei der Naht- oder Rollenschweissung wird der gleiche Erwärmungsvorgang durch stromführende Rollen verursacht. Dies ergibt eine kontinuierliche geschlossene Naht. Mit Ausnahme der Maschinen kleiner Stromstärken sind die Elektroden der Punkt- und Nahtschweissmaschinen wassergekühlt.

Gesteuert werden heute diese Maschinen meist elektronisch. Die gefühlsmässige Bedienung durch einen Schweißer war zu stark von dessen Zuverlässigkeit und Können abhängig, weshalb zur Erzielung hoher Schweissqualität der Weiterentwicklung der elektronischen Steuerung grösste Aufmerksamkeit geschenkt wurde. Der Werkstoff, sein Zustand, die Stromstärke, der Temperaturverlauf, die Schweisszeit, Pressdruck und Abkühlungsverhältnisse sind in enger Beziehung zueinander und so müssen die Steuerungen bezüglich Schaltgenauigkeit und Kombinationsmöglichkeiten der Steuerprogramme hohe Ansprüche erfüllen. Fig. 18 zeigt links ein elektronisches Steuergerät. Solche Geräte können nach dem Baukastensystem mit verschiedenen Einheiten aufgebaut werden und gliedern sich in die drei grundsätzlichen Steuerteile, d. h. in die Zeitgeber, welche das Schweissprogramm mit dem zeitlichen Ablauf einzelner Funktionen bestimmen, die Zündstufen, welche den Zündensatz und den Zeitpunkt der Zündung des Ignitrons festlegen, sowie die Druckkontrolle. Bei Lastausgleichsgeräten kommen Einrichtungen für die notwendige Aussteuerung der Frequenz und die Blindstromübernahme hinzu.

Das Reliefschweisverfahren wird hauptsächlich bei leichten Blecharbeiten (Massenartikel) angewen-

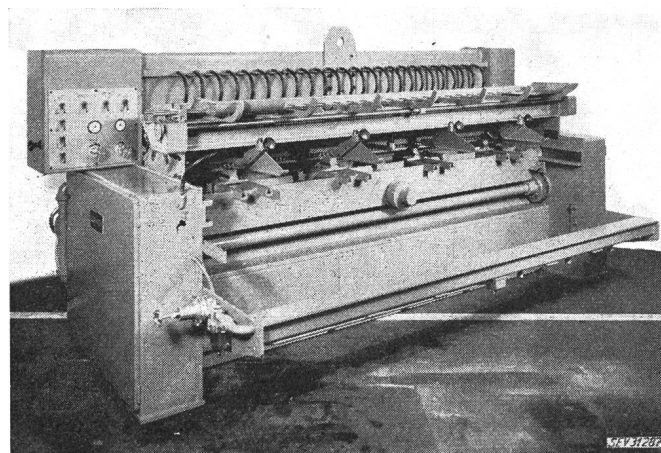


Fig. 17

**Automatische Gitterschweissmaschine**

für die Herstellung von Baustahlgittern in Matten nach dem Punktschweisverfahren

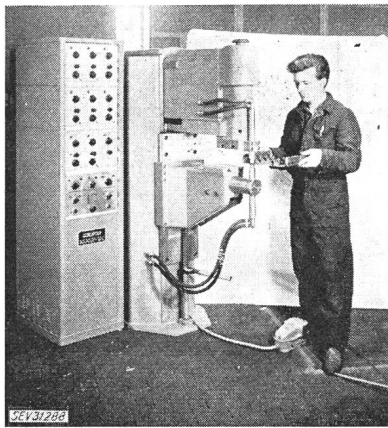


Fig. 18

**Elektronisches Steuergerät**

mit 9 Zeiteinheiten für jedes praktisch anwendbare Programm.  
Daneben eine Punktschweissmaschine

det. An einem der Bleche werden Buckel eingedrückt, die bei der Auflage auf das andere Blech kleine Berührungsstellen bilden. Beim Stromübergang erhitzen sich diese und werden mit Pressdruck verschweisst.

Beim *Stumpfschweissen* wurden früher allgemein die erhitzten Flächen nur unter Stauchdruck verbunden. Es bildete sich dabei ein Wulst, der entfernt werden musste, abgesehen davon, dass die Verbindung nie einwandfrei war. Der an den Verbindungsflächen anhaftende Schmutz wurde meist mitverschweisst und beeinträchtigte die Güte der Schweissung. Bei kleinen Querschnitten hat das Preßstumpfschweissen immer noch seine Berechtigung, weil dort diese Nachteile nicht so stark zum Ausdruck kommen. Bei grösseren Arbeitsstücken dagegen wird neuerdings das Abbrennschweissen angewendet. Entgegen der früheren Methode, lässt man die eingespannten Teile langsam aufeinander zulaufen und wenn die Flächenteilchen einander berühren, beginnt bereits der Stromfluss; nach kurzer Erwärmungszeit sprühen diese Teilchen explosionsartig heraus. Die Schlittengeschwindigkeit kann so eingestellt werden, dass sie dem zu verbindenden Material Rechnung trägt und im richtigen Erwärmungsmoment bis zum Stauchdruck erhöht, das geschmolzene, unreine Material herausdrückt. Durch dieses Vorgehen wird auch der Sauerstoff der Luft abgehalten, so dass eine schlacken- und porenfreie Schweissung entsteht. Der Stauchgrat kann dann leicht entfernt werden.

Für grosse Querschnitte z. B. von Rundstahl von 40 mm Durchmesser aufwärts, genügt das Abbrennschweissen nicht mehr, weil eine zu kleine Schichttiefe durch die Erhitzung erfasst werden kann. Deshalb werden hier die Stücke vorgewärmt, d. h. die beiden unter Spannung stehenden Arbeitsstücke werden wiederholt bis zur Berührung zusammengefahren und nach einigen Sekunden Kontakt wieder getrennt. Dabei wird jedesmal unreines Material abgebrannt. Schliesslich sind die Flächen genügend abgeschmolzen und die Stoss-Enden so erhitzt, so dass sie endgültig verbunden werden können.

Alle diese Vorgänge werden automatisch geregelt und ergeben, infolge der metallurgischen Forschungen, hochwertige Schweissqualität.

Die Energiequellen, d. h. Transformatoren, sind beim Widerstandsschweissen in den Maschinen direkt eingebaut und haben meistens einphasigen Anschluss.

Sie können aber auch mit Hilfe einer neuartigen Steuerung mit Lastenausgleich an Drehstrom angeschlossen werden, was den Wünschen der energieliefernden Werke in Bezug auf die Netzbelastung Rechnung trägt. Angeschlossen werden die Maschinen primär an Spannungen bis 500 V und haben sekundär kleine Spannungen von 0,5...10 V, dagegen hohe Stromstärken bis 100 kA und mehr.

Dank der unermüdlichen Forschungen auf dem Gebiet der Metallurgie und der Entwicklung der elektrischen Steuerungen der Maschinen, werden heute beinahe alle vorkommenden Metallsorten und Querschnitte elektrisch verbunden. So gibt es Stumpfschweissmaschinen, die Stahldrähtchen von 0,07 mm<sup>2</sup>, aber auch solche die Stahlschienen bis zu 50 000 mm<sup>2</sup> miteinander verschweissen.

Die in Fig. 19 ersichtliche Abbrennstumpfschweissmaschine weist neuartige Konstruktionsmerkmale auf. Es wird mit relativ hohen spezifischen Stromdichten und Stauchkräften geschweisst, d. h. die Stauchung setzt schlagartig mit hoher Stauch-Anfangsgeschwindigkeit ein. Für diese Stauchgeschwindigkeit wird Druckluft verwendet. Der Vorschub und Rückzug des Schlittens beim Vorwärmen und Abbrennprozess erfolgt durch ölhdraulische Presse. Der ganze Vorgang: Geradebrennen, Vorwärmen, Abbrennen, Stauchen, Ausspannen und Schlittenrückzug wickelt sich vollständig automatisch ab.

Auch das Abgraten geschieht äusserst rasch, indem nach erfolgter Schweissung ein Abgratkasten, der an der Stirnseite dem Profil entsprechende Messer trägt, hydraulisch in die Spannvorrichtung des Schlittens eingerückt wird. Hierauf wird der Kasten festgespannt, der Vorschub eingeschaltet und mit voller Kraft der Grat weggeschert. Die Maschine ist elektronisch gesteuert und mit symmetrischem Lastausgleich auf alle 3 Pole des Drehstromnetzes angeschlossen.

Heute darf gesagt werden, dass elektronische Geräte entwickelt worden sind, die alle in der Praxis verwendeten Metalle nach dem Widerstandsschweissverfahren einwandfrei verschweissen.

Nebst der Ignitronsteuerung werden nun auch Transistorensteuerungen verwendet, ebenso wurden die hydraulischen Steuerungen verfeinert und weiterent-

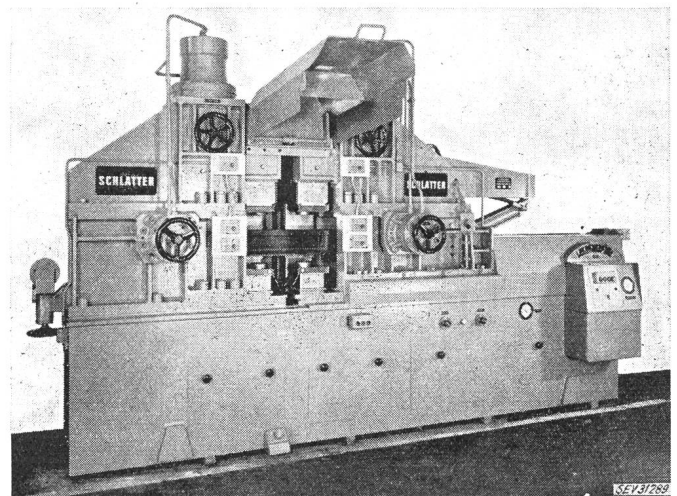


Fig. 19

**Automatische Schienen-Abbrenn-Stumpfschweissmaschine**  
mit Vorrichtung zum Abstossen des Schweissgerätes für Schienen  
bis 10 000 mm<sup>2</sup> Querschnitt

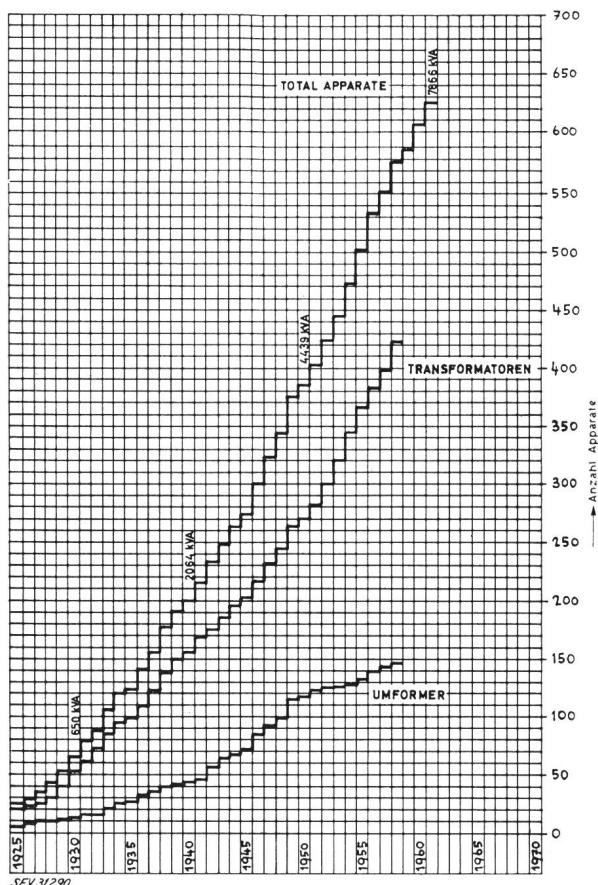


Fig. 20  
Zahl der angeschlossenen Schweissanlagen 1925...1962  
des Elektrizitätswerkes Basel

wickelt. Es wird neuerdings auch Gleichstrom für das Punktschweissen verwendet mit dem Vorteil, dass kein induktiver Spannungsabfall entsteht und die Armausladung an keine Grenzen mehr gebunden ist.

Auf dem Gebiet der elektrischen Widerstandsschweissung hat sich die Automation sehr stark entwickelt. In der Massenfabrication sind heute voll- und halbautomatische Schweissmaschinen eingesetzt, die ausserordentlich vielseitig verwendet werden und ein rationelles Arbeiten gestatten.

In Amerika hat das Ultraschallschweissen Bedeutung erlangt. Dünne Blechfolien werden damit auf Bleche beliebiger Dicke ohne grosse Anpressdrücke und Erwärmung aufgeschweisst.

### 3. Schlussbetrachtung

Von den energiever sorgenden Elektrizitätswerken, wird die Zunahme der Schweissapparate mit gemischten Gefühlen registriert. Speziell der Anschluss einphasiger Transformatoren ist wegen den störenden Einflüssen auf das Lichtnetz in der Umgebung nicht beliebt, wie auch z. B. die grossen Widerstandsschweissmaschinen mit ihrer unverhältnismässig hohen Belastung und dem relativ kleinen Energiekonsum.

Leider sind gesamtschweizerisch keine statistischen Angaben über die Entwicklung der elektrischen Schweissanlagen erhältlich. Aus Fig. 20 ist hingegen die Entwicklung der elektrischen Schweissanlagen beim Elektrizitätswerk Basel ersichtlich. Es waren dort auf Ende 1961 total 625 Apparate aller Kategorien mit einem Anschlusswert von 7866 kVA angeschlossen. In der übrigen Schweiz dürften die Schweissgeräte in ähnlicher Weise zugenommen haben. Um aber trotzdem den mutmasslichen Stand der heute in der Schweiz angeschlossenen Schweissapparate aller Gattungen erfassen zu können, sind an Hand der einschlägigen Betriebe Schätzungen gemacht worden. Diese sind das Resultat von Erhebungen an verschiedenen Orten und Städten durch Nachfragen und durch Besprechungen mit Fachleuten des Elektrohandels. Somit dürften heute ungefähr 55 000...57 000 elektrische Schweissapparate angeschlossen sein mit einem Anschlusswert von etwa 550 000...570 000 kVA.

Über den Energieverbrauch aller Schweissgeräte kann keine Schätzung gemacht werden, hingegen dürfte interessieren, dass heute in der Schweiz etwa 150...170 Millionen Elektroden pro Jahr von Hand verschweisst werden. Im Mittel könnte dies einem Energieverbrauch von etwa 30...34 Millionen kWh gleichkommen. Rechnet man noch den Verbrauch der Schweissautomaten mit etwa 2,5 Millionen kWh dazu, so darf die Elektroschweissung als ein beachtlicher Energiekonsument angesprochen werden.

Auch tariflich ist die Elektroschweissung für die Elektrizitätswerke nicht uninteressant. Beim EW Basel wird die kWh mit 15 Rp. verrechnet. Betriebe mit gut ausgenützten Schweissanlagen, in denen besondere Schweisser beschäftigt werden, erhalten die kWh zum Wärmetarif von 7 Rp. Die Kompensierung der Apparate wird auf  $\cos \varphi = 0,80$  vorgeschrieben.

Grossanlagen werden in der Industrie an das 500-V-Netz mit separaten Transformatorenstationen angeschlossen, grössere Werkstätten an 500 oder 380 V, wobei bei grossen Leistungen separate Transformatoren und vor allem genügend grosse Kabelquerschnitte vorgesehen werden.

Abschliessend darf man feststellen, dass die Elektroschweissung für die Schweiz unzweifelhaft eine sehr wichtige Rolle spielt. Abgesehen von der grossen volkswirtschaftlichen Bedeutung des ganzen Inlandhandels gesellt sich zum Export von Schweissmaschinen und Elektroden noch der Vorteil, dass dank der Anwendung der Elektroschweissung auch die Konkurrenzfähigkeit der metallverarbeitenden Industrie mit dem Ausland gewährleistet ist. Dies trat nie deutlicher in Erscheinung als zu Zeiten der Materialknappheit, wo jede Gewichtseinsparung für den Export ausschlaggebend war und jedes unscheinbare Metallstück nutzbringende Verwertung fand.

Adresse des Autors:

A. Kindschi, Bruderholzallee 126, Basel.