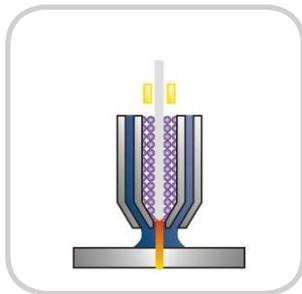
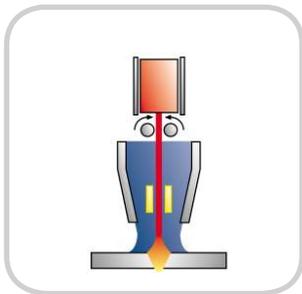
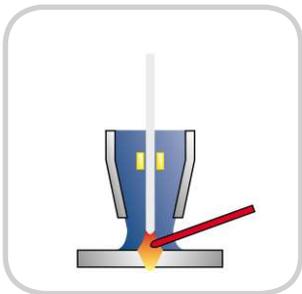
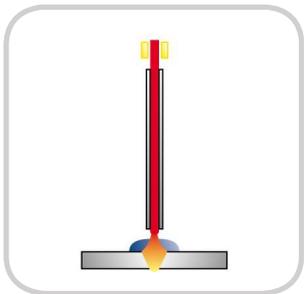


■ **EWM-SCHWEISSLEXIKON**





## EINFACH MEHR WENN'S UMS SCHWEISSEN GEHT: WIR HABEN FÜR JEDE AUFGABE DIE RICHTIGE LÖSUNG!

### Einfach mehr Technologie!

Wir sind europaweit einer der führenden Hersteller von HIGHTEC-Schweißgeräten und bieten mit unserer breit gefächerten, durchdachten und qualitativ hochwertigen Produktpalette Lösungen für jede Anwendung. Dabei stehen für uns die individuellen Bedürfnisse des Kunden immer an allererster Stelle. Unsere Produkte haben sich durch innovative Technik und höchste Qualität bereits einen Namen bei Kunden in aller Welt gemacht. Namhafte Unternehmen aus allen Bereichen der Industrie vertrauen ebenso auf unsere Produkte, wie der Handwerksbetrieb von nebenan.

### Einfach mehr Qualität!

Vom einzelnen Bauteil bis zum Endprodukt übernehmen wir die Verantwortung für unsere Maschinen. Unsere Geräte erreichen wegen Ihrer Premium Qualität Ergebnisse von höchster Perfektion. Wir sind uns unserer Sache sicher und geben gemäß unseren Garantiebedingungen volle 3 Jahre Garantie.



### Inhalt

---



E-HAND-FIBEL



WIG-FIBEL



MIG/MAG-FIBEL



PLASMA-FIBEL

---

**EWM - Einfach schweißen, einfach mehr!**

# E-HAND-FIBEL





# Inhalt

1	Vorwort.....	2
2	Das Verfahren.....	2
2.1	Allgemeines.....	2
2.2	Stromart.....	2
2.3	Elektrodentypen.....	3
2.4	Eigenschaften der Umhüllungstypen.....	4
3	Welche Elektrode für welchen Zweck.....	6
3.1	Auswahl nach schweißtechnischen Gesichtspunkten.....	6
3.2	Auswahl nach werkstofflichen Gesichtspunkten.....	7
4	Fugenvorbereitung.....	9
4.1	Fugenformen.....	9
4.2	Anbringen der Fugenflanken.....	9
5	Elektrodenhalter und Schweißleitungen.....	10
6	Schweißstromquellen.....	10
6.1	Stromquellenbauarten.....	11
6.2	Sonderfunktionen bei Invertern zum E-Hand-Schweißen.....	12
7	Durchführen des Schweißens.....	13
7.1	Zünden des Lichtbogens.....	13
7.2	Führen der Elektrode.....	14
7.3	Magnetische Blaswirkung.....	14
7.4	Schweißparameter.....	15
8	Arbeitssicherheit.....	15
9	Besonderheiten beim Einsatz des Verfahrens an verschiedenen Werkstoffen.....	16
9.1	Un- und niedriglegierte Stähle.....	17
9.2	Hochlegierte Stähle und Nickelbasislegierungen.....	18
9.3	Auftragsschweißen.....	18
10	Anwendung des E-Hand-Schweißens.....	18
10.1	Anwendungsbeispiele.....	19
11	Schrifttum.....	20
12	Impressum.....	20

## 1 Vorwort

Das Elektroden-Hand-Schweißen kurz, E-Hand-Schweißen genannt, ist eines der ältesten Schweißverfahren das heute noch angewandt wird. Es geht auf die Versuche von Slawjanow zurück, der 1891 als erster, anstelle der bis dahin zum Lichtbogenschweißen üblichen Kohleelektroden, einen Metallstab verwendete, der gleichzeitig Lichtbogenträger und Schweißzusatz war. Die ersten Stabelektroden waren nicht umhüllt und daher schwierig zu verschweißen. Später wurden die Elektroden mit Stoffen umhüllt, die das Schweißen erleichtern, das Schweißgut schützen und den Prozess metallurgisch beeinflussen. Das erste Patent über eine umhüllte Stabelektrode stammte aus dem Jahre 1908. Elektroden können durch Tauchen oder durch Pressen auf Extruderpressen umhüllt werden. Heute werden nur noch Elektroden mit Preßmantelumhüllungen verwendet.

Das E-Hand-Schweißen zeichnet sich durch einen relativ geringen Investitionsbedarf und eine universelle Anwendung aus. Das Verfahren kann für eine große Palette von Werkstoffen eingesetzt werden und gewährleistet Schweißnähte von hoher Qualität. In neuerer Zeit wurde es aber vielfach aus Wirtschaftlichkeitsgründen durch andere Schweißverfahren abgelöst, die sich mechanisiert anwenden lassen.

Diese Fibel klärt über die Besonderheiten des Verfahrens auf und will Hinweise für die richtige Anwendung geben.

## 2 Das Verfahren

### 2.1 Allgemeines

Das E-Hand-Schweißen (Prozessnummer 111) zählt zu den Schmelzschweißverfahren und noch näher zugeordnet zu den Metall-Lichtbogenschweißverfahren. ISO 857-1 (Ausgabe 1998) erklärt die Schweißprozesse dieser Gruppe aus dem Englischen übersetzt wie folgt:

**Metall-Lichtbogenschweißen:** Lichtbogenschweißprozess unter Benutzung einer verbrauchenden Elektrode.

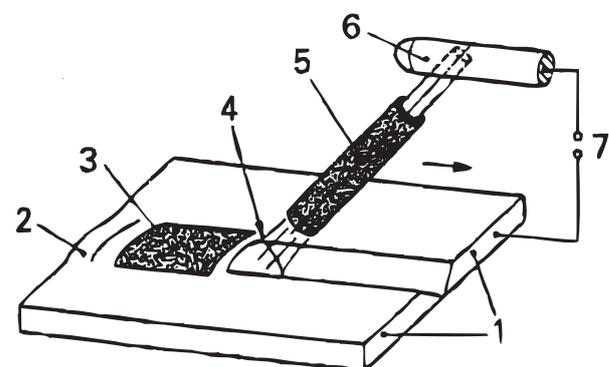
**Metall-Lichtbogenschweißen ohne Gaschutz:** Metall-Lichtbogenschweißprozess ohne extern zugegebenes Schutzgas und  
**Manuelles Metall-Lichtbogenschweißen:** Von Hand ausgeführtes Metall-Lichtbogenschweißen unter Benutzung einer umhüllten Elektrode.

In Deutschland nennen wir das zuletzt genannte Verfahren Lichtbogenhandschweißen oder kurz E-Hand-Schweißen. Es ist dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtbogen zwischen einer abschmelzenden Elektrode und dem Schmelzbad brennt (Bild 1).

Es gibt keinen externen Schutz, jegliche Schutzwirkung vor der Atmosphäre geht von der Elektrode aus. Die Elektrode ist dabei Lichtbogenträger und Schweißzusatz. Die Umhüllung bildet Schlacke und/oder Schutzgas welche u.a. den übergehenden Tropfen und das Schmelzbad vor dem Zutritt der atmosphärischen Gase Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff schützen.

### 2.2 Stromart

Zum Lichtbogenhandschweißen (E-Hand-Schweißen) kann im Prinzip sowohl Gleichstrom, als auch Wechselstrom eingesetzt werden, jedoch lassen sich nicht alle Umhüllungstypen der Stabelektroden an sinusförmigem Wechselstrom ver-



- |               |                      |
|---------------|----------------------|
| 1 Werkstück   | 5 umhüllte Elektrode |
| 2 Schweißnaht | 6 Elektrodenhalter   |
| 3 Schlacke    | 7 Schweißstromquelle |
| 4 Lichtbogen  |                      |

**Bild 1** Schema des manuellen Metall-Lichtbogenschweißens nach ISO 857-1

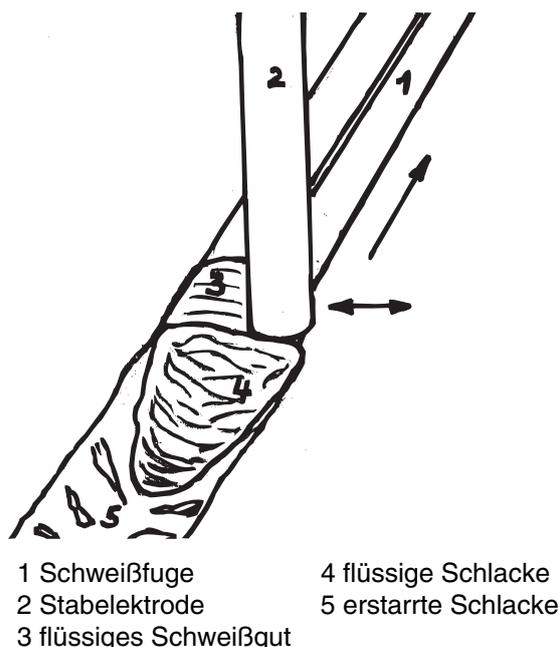
schweißen, z.B. nicht die reinbasischen Elektroden. Beim Schweißen an Gleichstrom wird bei den meisten Elektrodentypen der Minuspol an die Elektrode und der Pluspol ans Werkstück angeschlossen. Eine Ausnahme machen auch hier die basischen Elektroden. Sie lassen sich besser am Pluspol verschweißen. Das Gleiche gilt für bestimmte Fabrikate von Zelloseelektroden. Näheres dazu kann im Abschnitt 2.3 Elektrodentypen nachgelesen werden.

Die Elektrode ist das Werkzeug des Schweißers. Er führt den an ihr brennenden Lichtbogen in der Schweißfuge und schmilzt dabei die Fugenkanten auf Bild 2.

Je nach Fugenart und Grundwerkstoffdicke sind dafür unterschiedliche Stromstärken erforderlich. Da die Strombelastbarkeit der Elektroden, abhängig von ihrem Durchmesser und ihrer Länge begrenzt ist, sind die Stabelektroden in verschiedenen Durchmessern und Längen lieferbar. Tabelle 1 zeigt die in DIN EN 759 genormten Abmessungen.

Mit zunehmendem Kernstabdurchmesser können höhere Schweißströme angewendet werden.

**2.3 Elektrodentypen**



**Bild 2 Stellung der Elektrode in der Schweißfuge**

Durchmesser in mm Nennmaß	zulässige Abweichung	Länge in mm Nennmaß	zulässige Abweichung
1,6	± 0,06	200 bis 350	± 3
2,0			
2,5			
3,2	± 0,10	350 bis 450	± 3
4,0			
5,0			
6,0			

**Tabelle 1 Durchmesser und Längen von Stabelektroden nach DIN EN 759 Elektroden**

Es gibt Stabelektroden mit sehr unterschiedlich zusammengesetzten Umhüllungen. Der Aufbau der Umhüllung bestimmt den Abschmelzcharakter der Elektrode, ihre Schweißigenschaften und die Gütewerte des Schweißgutes. Nach DIN EN 499 gibt es bei Stabelektroden zum Schweißen von unlegierten Stählen die in Tabelle 2 aufgeführten Umhüllungstypen.

Dabei muß unterschieden werden zwischen Grundtypen und Mischtypen. Die verwendeten Buchstaben für die Bezeichnung stammen von den englischen Begriffen her. Hier bedeutet C=cellulose (Zellulose), A=acid (sauer), R=rutile (Rutil) und B=basic (basisch). In Deutschland spielt der Rutiltyp eine dominierende Rolle. Stabelektroden können dünnumhüllt sein, mitteldickumhüllt oder dickumhüllt. Bei den Rutilelektroden, die in allen drei Umhüllungsdicken üblich sind, werden deshalb die dickumhüllten Elektroden zur besseren Unterscheidung mit RR bezeichnet.

Typ	Umhüllung
A	sauer
C	zellulose
R	rutil
RR	dick rutil
RC	rutilzellulose
RA	rutilsauer
RB	rutilbasisch
B	basisch

**Tabelle 2 Umhüllungstypen nach DIN EN 499**

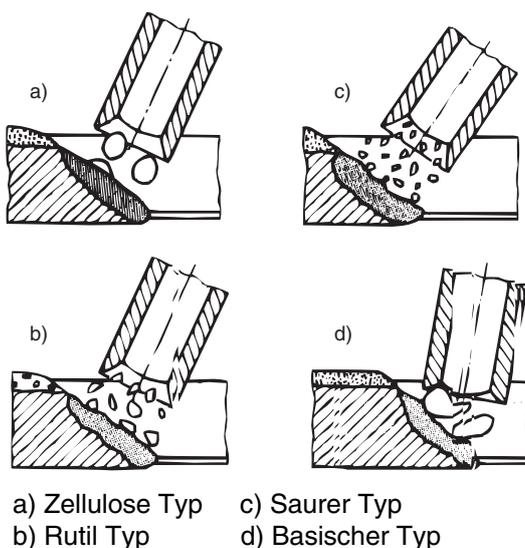
Bei legierten und hochlegierten Stabelektroden kommt diese Vielfalt von Umhüllungstypen nicht vor. Bei den Stabelektroden zum Schweißen nichtrostender Stähle, die in DIN EN 1600 genormt sind, unterscheidet man z.B. nur zwischen Rutilelektroden und basischen Typen, ebenso bei Stabelektroden zum Schweißen warmfester Stähle (DIN EN 1599), jedoch gibt es auch hier bei den Rutilelektroden rutil-basische Mischtypen, ohne das dies besonders ausgewiesen wird. Dies ist z. B. der Fall bei Elektroden, die bessere Schweißigenschaften in Zwangslagen haben. Stabelektroden zum Schweißen hochfester Stähle (DIN EN 757) gibt es nur mit basischer Umhüllung.

## 2.4 Eigenschaften der Umhüllungstypen

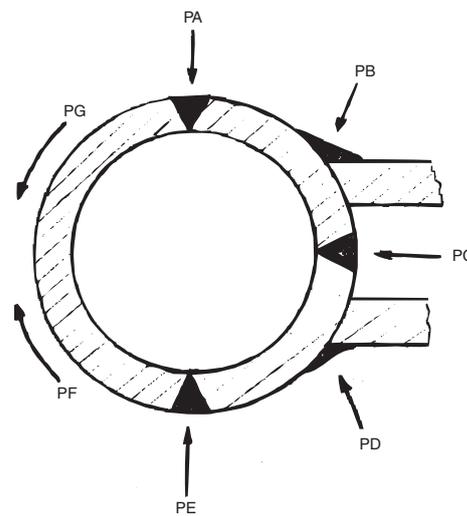
Die Zusammensetzung und die Dicke der Umhüllung beeinflusst in besonderem Maße die Schweißigenschaften. Dies bezieht sich sowohl auf die Stabilität des Lichtbogens, als auch auf den Werkstoffübergang beim Schweißen und die Viskosität von Schlacke und Schmelzbad.

Besonders die Größe der im Lichtbogen übergehenden Tropfen ist dabei von Bedeutung. Bild 3 zeigt schematisch den Tropfenübergang der vier Grundtypen von Umhüllungen [1].

Der Zellulosetyp (Bild 3, c) hat einen mittel- bis grobtropfigen Werkstoffübergang.



**Bild 3** Werkstoffübergang bei verschiedenen Umhüllungstypen [1]



**Bild 4** Schweißpositionen nach ISO 6947

Die Umhüllung besteht überwiegend aus organischen Bestandteilen, die im Lichtbogen verbrennen und dabei Schutzgas zum Schutz der Schweißstelle bilden. Da die Umhüllung außer Zellulose und anderen organischen Stoffen nur geringe Mengen von lichtbogenstabilisierenden Stoffen enthält, entsteht kaum Schlacke. Zellulose Typen sind besonders gut für Fallnahtschweißungen (Bild 4, Pos. PG) geeignet, weil kein Schlackenvorlauf zu befürchten ist.

Der saure Typ (A), dessen Umhüllung zum größten Teil aus Eisen- und Manganerzen besteht, bietet der Lichtbogenatmosphäre größere Mengen Sauerstoff an. Dieser wird auch vom Schweißgut aufgenommen und verringert dadurch dessen Oberflächenspannung. Die Folge sind ein sehr feiner, sprühregenartiger Werkstoffübergang und ein dünnflüssiges Schweißgut. Elektroden diesen Typs sind deshalb nicht für das Schweißen in Zwangslagen geeignet. Der Lichtbogen ist auch sehr „heißgehend“, gestattet zwar hohe Schweißgeschwindigkeiten, neigt aber zur Bildung von Einbrandkerben. Die beschriebenen Nachteile haben dazu geführt, daß Stabelektroden des reinen sauren Typs in Deutschland kaum noch angewendet werden. An ihre Stelle ist der rutil-saure Typ (RA) getreten, ein Mischtyp zwischen der sauren und der Rutilelektrode. Die Elektrode hat auch dementsprechende Schweißigenschaften.

Die Umhüllung des Rutiltyps (R/RR) besteht zum größten Teil aus Titandioxid in Form der Mineralien Rutil ( $\text{TiO}_2$ ) oder Ilmenit ( $\text{TiO}_2 \cdot \text{FeO}$ ) oder auch von künstlichem Titandioxid. Die Elektroden dieses Typs zeichnen sich aus durch einen fein- bis mitteltropfigen Werkstoffübergang, ein ruhiges, spritzerarmes Abschmelzen, eine sehr feine Nahtzeichnung, eine gute Schlackenentfernbarkeit und ein gutes Wiederspünderverhalten. Letzteres ist in dieser Form nur bei Rutilelektroden mit hohem Anteil von  $\text{TiO}_2$  in der Umhüllung zu beobachten. Es bedeutet, daß bei einer bereits einmal angeschmolzenen Elektrode ein Wiederspünder ohne Entfernen des Hüllenkraters möglich ist (Bild 5) [2].

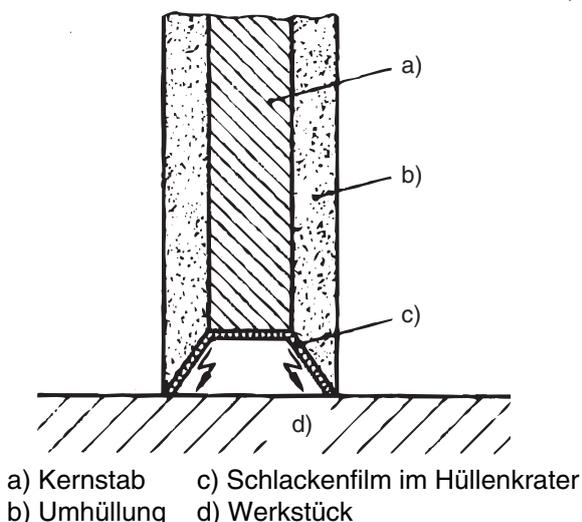
Der im Krater gebildete Schlackenfilm hat bei ausreichend hohem  $\text{TiO}_2$ -Gehalt fast eine Leitfähigkeit wie ein Halbleiter, so daß beim Aufsetzen des Kraterandes auf das Werkstück soviel Strom fließt, daß der Lichtbogen zünden kann, ohne daß der Kernstab das Werkstück berührt. Ein solches spontanes Wiederspünder ist immer dann wichtig, wenn der Schweißvorgang, z.B. bei kurzen Nähten, häufig unterbrochen wird.

Neben dem reinen Rutiltyp gibt es bei dieser Gruppe von Elektroden noch einige Mischtypen. Da ist der Rutil-Zellulose-Typ (RC) zu nennen, bei dem ein Teil des Rutil durch Zellulose ersetzt wurde. Da Zellulose beim Schweißen verbrennt, bil-

det sich weniger Schlacke. Dieser Typ kann deshalb auch in Fallnaht (Pos. PG) verschweißt werden. Er besitzt aber auch gute Schweißigenschaften in den meisten anderen Positionen. Ein weiterer Mischtyp ist der rutilbasische Typ (RB). Er ist etwas dünner umhüllt, als der RR-Typ. Dies und die besondere Schlackencharakteristik macht ihn besonders geeignet zum Schweißen in senkrecht- steigender Position (PF).

Bleibe noch der basische Typ (B). Hierbei besteht die Umhüllung zum größten Teil aus den basischen Oxiden des Calciums ( $\text{CaO}$ ) und des Magnesiums ( $\text{MgO}$ ), denen als Schlackenverdünner Flußspat ( $\text{CaF}_2$ ) zugegeben wird. Der Flußspat verschlechtert in höheren Gehalten die Wechselstromschweißbarkeit. Reinbasische Elektroden sind deshalb an sinusförmigem Wechselstrom nicht zu verschweißen, jedoch gibt es auch Mischtypen mit weniger Flußspat in der Umhüllung, die an dieser Stromart verwendbar sind. Der Werkstoffübergang der basischen Elektroden ist mittel- bis grobtropfig und das Schmelzbad zähfließend. Die Elektrode ist in allen Positionen gut verschweißbar. Die entstehenden Rauhen sind aber wegen der größeren Viskosität des Schweißgutes etwas überwölbt und grober gefiedert. Das Schweißgut hat sehr gute Zähigkeitseigenschaften. Basische Umhüllungen sind hygroskopisch. Auf besonders sorgfältige, trockene Lagerung der Elektroden ist deshalb zu achten. Feucht gewordene Elektroden müssen rückgetrocknet werden. Das Schweißgut besitzt aber, wenn die Elektroden trocken verschweißt werden einen sehr niedrigen Wasserstoffgehalt.

Neben Stabelektroden mit normalem Ausbringen ( $\leq 105\%$ ) gibt es auch solche, die durch Eisenpulver, das über die Umhüllung zugegeben wird, ein höheres Ausbringen haben, meist  $>160\%$ . Solche Elektroden werden Eisenpulvertypen oder auch Hochleistungselektroden genannt. Durch ihre große Abschmelzleistung sind sie für viele Anwendungen wirtschaftlicher einzusetzen als Normalelek-



**Bild 5      Wiederspünder über den Hüllenkrater**

trogen, jedoch ist ihre Anwendung in der Regel auf die waagerechte (PA) und die horizontale Position (PB) beschränkt.

### 3 Welche Elektrode für welchen Zweck

Bei der Auswahl von Stabelektroden müssen werkstoffliche und schweißtechnische Gesichtspunkte beachtet werden.

#### 3.1 Auswahl nach schweißtechnischen Gesichtspunkten

Jeder Elektrodentyp hat ganz spezifische Schweißigenschaften und wird deshalb auch für ganz bestimmte Schweißaufgaben eingesetzt.

Die Zelloseelektrode (C) verwendet man wegen ihrer guten Eignung zum Fallnahtschweißen (Pos. PG) zum Schweißen der Rundnähte an Rohren größerer Durchmesser. Bevorzugtes Anwendungsgebiet ist hierbei das Verlegen von Pipelines, Bild 6.

Im Vergleich mit dem Schweißen in senkrecht steigender Position (PF) kann man hier schon für die Wurzellage relativ dicke Elektroden (4 mm) einsetzen. Dies bringt wirtschaftliche Vorteile.

Der besondere Vorteil des rutilsauren Mischtyps (RA) ist der Schlackenabgang in engen Fugen, wo eine kompakte Schlacke eingeklemmt wird und sich schlecht ablöst. Die Schlacke des RA-



**Bild 6** Schweißen im Rohrleitungsbau mit Zelloseelektroden

Typs ist in sich porös und zerfällt unter dem Schlackenhammer in kleine Stücken, die sich dann leicht entfernen lassen.

Die besonderen Eigenschaften der Rutilelektrode (R, RR), nämlich das gute Wiederzünden, die leichte Schlackenentfernbarkeit und das gute Nahtaussehen bestimmen ihre Einsatzschwerpunkte. Dies sind Heftarbeiten, sowie das Schweißen von Kehlnähten und Decklagen, wo es auf eine vollständige Schlackenentfernung und auf ein gutes Nahtaussehen ankommt.

Der Rutil-Zellulose-Typ (RC) läßt sich in allen Positionen einschließlich Fallnaht verschweißen. Er ist deshalb universell einsetzbar, besonders unter Montagebedingungen. Vor allem die dickumhüllte Variante, die auch hinsichtlich des Nahtaussehens höhere Anforderungen erfüllt, ist deshalb in kleineren Betrieben oft die All-round-Elektrode.

Die rutilbasierte Elektrode (RB) eignet sich, wegen ihrer etwas dünneren Umhüllung und deren besonderer Charakteristik besonders gut für das Schweißen von Wurzellagen und das Schweißen in Pos. PF. Ein bevorzugtes Anwendungsgebiet ist deshalb das Verlegen von Rohrleitungen mit kleinen und mittleren Durchmessern.

Die basische Elektrode (B) eignet sich für das Schweißen in allen Positionen. Spezialtypen sind sogar für das Fallnahtschweißen geeignet. Allerdings fällt das Nahtaussehen etwas gegenüber anderen Typen ab. Dafür hat das Schweißgut aber „innere Werte“. Von allen Elektrodentypen besitzen basische Elektroden die besten Zähigkeitseigenschaften und die beste Reißsicherheit des Schweißgutes. Sie werden deshalb dort eingesetzt, wo schwierige Verhältnisse hinsichtlich der Schweißbeignung der Grundwerkstoffe vorliegen, z.B. bei Stählen mit eingeschränkter Schweißbeignung oder bei großen Wanddicken. Ferner wenn eine große Zähigkeit in der Verbindung gefragt ist, z.B. bei Bauwerken, die im späteren Betrieb tiefen Temperaturen ausgesetzt sind. Der niedrige Wasserstoffgehalt

macht diesen Typ auch besonders geeignet zum Schweißen hochfester Stähle.

### **3.2 Auswahl nach werkstofflichen Gesichtspunkten**

Die Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften des Grundwerkstoffs müssen in der Regel auch im Schweißgut erreicht werden. Um die Elektrodenauswahl in dieser Hinsicht zu erleichtern sind in der vollständigen Bezeichnung einer Stabelektrode nach DIN EN 499 auch Hinweise über die Mindestwerte von Streckgrenze, Zugfestigkeit und Zähigkeit des Schweißgutes und zu einigen Schweißereigenschaften enthalten. Tabelle 3 macht dies an einem Beispiel deutlich.

Die Kurzbezeichnung E 46 3 B 42 H5 bedeutet:

Die Stabelektrode zum E-Hand-Schweißen (E) hat eine Streckgrenze von mind. 460 N/mm<sup>2</sup>, eine Zugfestigkeit zwischen 530-680 N/mm<sup>2</sup> und eine Mindestdehnung von 20% (46). Eine Kerbschlagarbeit von 47 Joule wird bis zu einer Temperatur von -30°C erreicht (3). Die Elektrode ist basisch umhüllt (B). Nun folgen nicht obligatorisch einige Angaben zum Ausbringen und zur Stromeignung der Elektrode. Die im Beispiel genannte Stabelektrode hat ein Ausbringen von 105 bis 125% und ist nur an Gleichstrom (4) in allen Positionen außer Fallnaht zu verschweißen (2). Der Wasserstoffgehalt des Schweißgutes liegt unter 5 ml / 100 g / Schweißgut (H5). Wenn das Schweißgut außer Mangan noch andere Legierungselemente enthält, dann werden diese vor dem Kurzzeichen für den Umhüllungstyp mit den Kurzzeichen für die chemischen Elemente und evtl. mit Zahlen für den Prozentgehalt angegeben (z.B. 1Ni).

Ein niedriger Wasserstoffgehalt ist wichtig beim Schweißen von Stählen, die zu wasserstoffinduzierter Rissbildung neigen, wie beispielsweise hochfeste Stähle. Hier gibt das Kennzeichen für den Wasserstoffgehalt die notwendigen Informationen.

Ähnliche Bezeichnungssysteme gibt es auch für hochfeste Elektroden (DIN EN

757), warmfeste Elektroden (DIN EN 1599) sowie für nichtrostende Elektroden (DIN EN 1600). Bei den warmfesten und nichtrostenden Elektroden müssen neben den Festigkeitseigenschaften aber auch die Warmfestigkeits- bzw. Korrosionseigenschaften der Schweißgüter mit denen der Grundwerkstoffe übereinstimmen. Hierbei gilt deshalb die Regel, daß das Schweißgut möglichst artgleich oder etwas höherlegiert als der Grundwerkstoff sein sollte.

Kennzeichen für die Kerbschlagarbeit des Schweißgutes

Kennzeichen	Temperatur für Mindestkerbschlagarbeit 47J °C
Z	keine Anforderungen
A	+20
0	0
2	-20
3	-30
4	-40
5	-50
6	-60

Kennzeichen für die Umhüllungstypen

Typ	Umhüllung
A	sauer
C	zellulose
R	rutil
RR	dick rutil
RC	rutilzellulose
RA	rutilisauer
RB	rutilbasisch
B	basisch

Kennziffer für die Festigkeits- und Dehnungseigenschaften des Schweißgutes

Kennziffer	Mindeststreckgrenze N/mm <sup>2</sup>	Zugfestigkeit N/mm <sup>2</sup>	Mindestbruchdehnung %
35	355	440 bis 570	22
38	380	470 bis 600	20
42	420	500 bis 640	20
46	460	530 bis 680	20
50	500	560 bis 720	18

## E 46 3 B 42 H5

Kennziffer	Ausbringen %	Stromart
1	≤105	Wechsel- und Gleichstrom
2		Gleichstrom
3	>105 ≤125	Wechsel- und Gleichstrom
4		Gleichstrom
5	>125 ≤160	Wechsel- und Gleichstrom
6		Gleichstrom
7	>160	Wechsel- und Gleichstrom
8		Gleichstrom

1. alle Positionen
2. alle Positionen außer Fallnaht
3. Stumpfnah in Pos. PA, Kehlnaht in Pos. PA- und PB
4. Stumpfnah in Pos. PA, Kehlnaht in Pos. PA
5. Positionen wie 3. plus Pos. PG

Kennzeichen	Wasserstoffgehalt in ml / 100 g Schweißgut max.
H5	5
H10	10
H15	15

Kennzeichen für Wasserstoffgehalt des Schweißgutes

Tabelle 3 Elektrodenbezeichnung nach DIN EN 499

## 4 Fugenvorbereitung

### 4.1 Fugenformen

Bild 7 zeigt die wichtigsten Fugenformen, die für das E-Hand-Schweißen zur Anwendung kommen.

Beim I-Stoß muß im oberen Blechdickenbereich die Wurzel von der Rückseite ausgefugt werden. Ähnliches empfiehlt sich aus Gründen der Fehlervermeidung auch immer wenn Gegenlagen zu schweißen sind und beim beidseitigen Schweißen von X- und DY-Nähten im

Stoßart	Werkstückdicke (mm)	Skizze
I-Naht	einseitig 3-8 beidseitig <8	
V-Naht	einseitig 3-10 mit Gegenlage 3-40	
Y-Naht	einseitig 5-40 mit Gegenlage >10	
X-Naht	beidseitig > 10	
U-Naht	einseitig > 12 mit Gegenlage >12	
V-Naht	einseitig 3-10 mit Gegenlage 3-30	
Kehlnaht-T-Stoß	einseitig >2	
Kehlnaht-Eckstoß	einseitig >2 beidseitig > 3	
Kehlnaht-Überlappstoß	einseitig >2	
Kehlnaht-Doppelkehl-naht	beidseitig > 2	

**Bild 7 Fugenformen nach DIN EN 29692-ISO 9692**

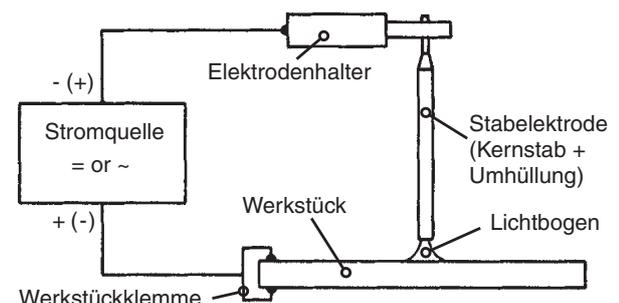
oberen Dickenbereich. Bei der V- und HV-Naht kann die Wurzelphase auch leicht gebrochen werden, die Steghöhe bei der Y-Naht richtet sich nach der anwendbaren Stromstärke. U- und DU-Nähte kommen aus wirtschaftlichen Gründen vor allem bei größeren Wanddicken zur Anwendung, weil wegen des kleineren Öffnungswinkels das einzubringende Nahtvolumen geringer ist als bei V-, Y-, X- und DY-Nähten.

Bei den Kehl Nähten sollte der Spalt zwischen den Fügepartnern so gering wie möglich gehalten werden, damit keine Schlacke in diesen eindringen kann. Dies gilt vor allem für T-Stöße, Überlappstöße und Kehl Nähte.

### 4.2 Anbringen der Fugenflanken

Das Anschrägen der Fugekanten erfolgt bei un- und niedriglegierten Stählen in der Regel durch autogenes Brennschneiden. Hochlegierte Stähle und die Metalle, die lichtbogenhandgeschweißt werden, können mit dem Plasmalichtbogen schmelzgeschnitten werden. Ein Entfernen der beim thermischen Trennen entstehenden Oxidhäute ist nicht unbedingt erforderlich, kann aber in Sonderfällen notwendig werden.

Wenn besondere Anforderungen hinsichtlich der Einhaltung geringer Toleranzen gestellt werden, kann auch ein mechanisches Anarbeiten der Fugenflanken empfohlen werden. Dies gilt besonders für Rundnähte. Die modernen Möglichkeiten des Schneidens mit dem Elektronenstrahl oder dem Laserstrahl kommen mehr bei der mechanisierten Fertigung vor und sind beim E-Hand-Schweißen eher die Ausnahme.



**Bild 8 Der Schweißstromkreis [2]**



Bild 9 Beispiel eines Elektrodenhalters

## 5 Elektrodenhalter und Schweißleitungen

Bild 8 zeigt den Stromverlauf im Schweißstromkreis.

Die Elektrode ist über den Elektrodenhalter (Bild 9) und die Schweißleitung mit einem Pol der Stromquelle verbunden. Der andere Pol wird über die Werkstückleitung und die Werkstückklemme mit dem Werkstück verbunden.

Je nach zu verwendenden Elektroden-durchmesser und anzuwendender Stromstärke gibt es Elektrodenhalter verschiedener Größen.

Sie waren bisher in Deutschland in DIN 8569, Teil 1 in 5 Größenstufen genormt. In Europa sind sie in DIN EN 60974, Teil 11 zusammengefaßt.

Der Querschnitt und die Länge der Leitungen müssen so bemessen sein, daß der Spannungsabfall durch ihren Widerstand gewisse Werte nicht überschreitet.



Bild 10 EWM-Schweißstromquelle PICO 162

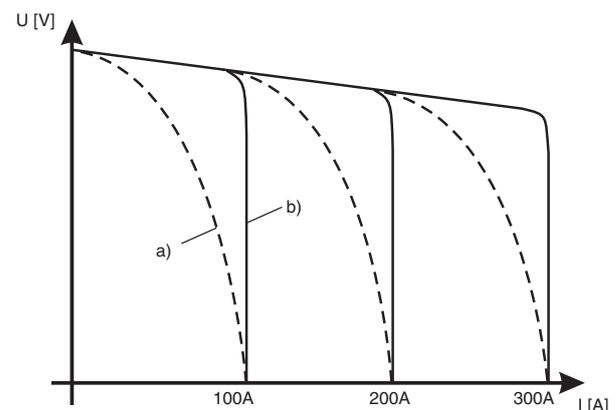
## 6 Schweißstromquellen

Nach VDE-Norm sind dies bis 200 Ampere 2 Volt und bis 500 Ampere 5 Volt. Bei der Ermittlung des notwendigen Leitungsquerschnitts sind die Längen von Schweißleitung und Werkstückleitung zu addieren. Übliche Leitungsquerschnitte für das E-Hand-Schweißen sind je nach anzuwendender Stromstärke 25, 35, 50 und 70 mm<sup>2</sup>.

Die Schweißstromquelle wandelt die hohe Netzspannung auf die wesentlich niedrigere Schweißspannung um und liefert die zum Schweißen benötigten hohen Stromstärken, die das Netz nicht hergibt. Sie macht es ferner möglich, den Strom zu stellen und zu regeln. Zum Schweißen kann sowohl Wechselstrom als auch Gleichstrom verwendet werden.

Gleichstromquellen sind universeller einsetzbar, weil sich nicht alle Stabelektroden-typen an sinusförmigem Wechselstrom verschweißen lassen – siehe auch Abschnitt Stromart. Schweißstromquellen zum E-Hand-Schweißen haben eine fallende statische Kennlinie, und zwar bei konventionellen Stromquellen (wie z. B. bei der PICO 162, Bild 10) meist kontinuierlich fallend und bei elektronischen Stromquellen im Arbeitsbereich senkrecht fallend (Bild 11).

Damit ist sichergestellt, daß bei den beim E-Hand-Schweißen unvermeidlichen



- a) kontinuierlich fallende Kennlinie
- b) senkrecht fallende Kennlinie (Konstantstromcharakteristik)

Bild 11 Kennlinien für das E-Hand-Schweißen

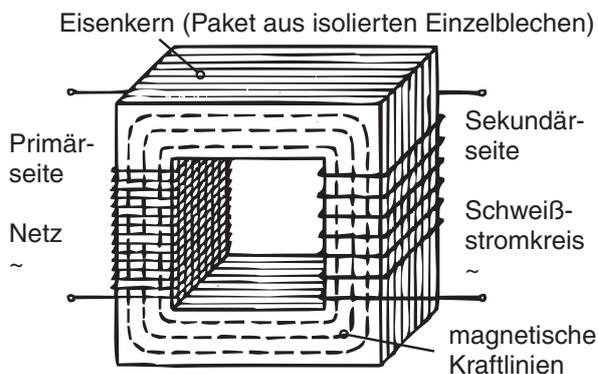
Längenänderungen des Lichtbogens der für die Güte der Schweißverbindung wichtigste Parameter, die Stromstärke, nur unwesentlich oder gar nicht verändert wird.

### 6.1 Stromquellenbauarten

Die einfachste Art der Umwandlung von Netzstrom in Schweißstrom stellt der Schweißtransformator dar. Er wandelt den Strom nur hinsichtlich Stromstärke und Spannung um (Umspanner) und liefert sinusförmigen Wechselstrom zum Schweißen. Das Transformatorprinzip zeigt Bild 12 [2].

Der Transformator wird bei Lichtnetzen einphasig zwischen einer Phase und dem Außenleiter angeschlossen oder zwischen zwei Phasen des Drehstromnetzes. Das Einstellen unterschiedlicher Stromstärken ist durch Streukernverstellung, primärseitige Windungsanzapfung oder durch Transduktor möglich.

Beim Schweißgleichrichter wird der Strom nach dem Transformieren durch Dioden oder Thyristoren gleichgerichtet, d.h. zum Schweißen steht Gleichstrom zur Verfügung. Bei einfachen Schweißgleichrichtern ist der Trafo ein- oder zweiphasig angeschlossen, bei anspruchsvolleren Geräten dagegen dreiphasig an alle Phasen des Drehstromnetzes. Letztere liefern einen sehr gleichmäßigen Strom ohne große Welligkeit. Die Gleichmäßigkeit des Stromes wirkt sich besonders günstig aus beim Schweißen mit basischen Elektroden und beim Verschweißen von Metallegierungen, wie beispielsweise Nickelbasislegierungen.



**Bild 12** Das Transformator-Prinzip [2]



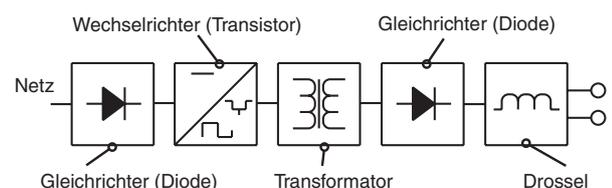
**Bild 13** EWM-Schweißstromquelle STICK 350

Das Einstellen des Schweißgleichrichters erfolgt bei einfachen Geräten im Trafo – siehe Einstellung des Schweißtransformators. Moderne Schweißgleichrichter werden durch Thyristoren, das sind steuerbare Gleichrichter durch Phasenanschnittsteuerung eingestellt.

Mehr und mehr setzen sich elektronische Schweißstromquellen (Inverter) auch zum E-Hand-Schweißen in der Praxis durch, Bild 13.

Bild 14 zeigt das Blockschaubild eines Inverters der 3. Generation mit einer Taktfrequenz von bis zu 100 kHz.

Diese Stromquellen sind ganz anders aufgebaut als konventionelle Stromquellen. Der aus dem Netz kommende Strom wird zuerst gleichgerichtet und dann durch Ein- und Ausschalten mittels Transistoren mit einer Taktfrequenz von bis zu 100 kHz wieder in kurze Stücke „zerhackt“. Dieses Zerhacken ist notwendig, damit der Strom transformiert werden kann. Der zerhackte Strom wird dann



**Bild 14** Blockschaubild eines Inverters der 3. Generation – Taktfrequenz bis zu 100kHz



**Bild 15** EWM-Inverter TRITON 220 AC/DC für das WIG- und E-Hand-Schweißen

wechselseitig in einen Transformator entladen. Dadurch entsteht sekundärseitig ein rechteckförmiger Wechselstrom mit entsprechender Frequenz. Dieser wird dann gleichgerichtet und durch eine Drossel geglättet. Die hohe Frequenz des zu transformierenden Stromes gestattet die Verwendung von Transformatoren mit geringer Masse. Dadurch ist es möglich, Schweißgeräte herzustellen, die trotz hoher Leistung ein sehr geringes Gewicht besitzen. Sie eignen sich deshalb besonders für den Einsatz auf Baustellen. Bild 15 zeigt den EWM-Inverter Triton 220 AC/DC, der zum E-Hand-Schweißen bis zu einer Stromstärke von 180 Ampere eingesetzt werden kann und nur 17,9 kg wiegt.

Bei Invertern kann die Neigung der statischen Kennlinie in weiten Grenzen verändert werden. Sie sind deshalb auch als Multiprozessanlagen für mehrere Schweißprozesse einsetzbar. Beim E-Hand-Schweißen ist die Kennlinie meist im Arbeitsbereich senkrecht fallend (Konstantstrom-Charakteristik).

Bei den elektronischen Stromquellen wird vieles, was bei konventionellen Stromquellen mit Komponenten wie Widerständen, Drosseln und Kondensatoren erreicht wird, durch die Steuerung elektronisch gelöst. Die Steuerung dieser Stromquellen ist deshalb ebenso wichtig wie der Leistungsteil. Das Stellen des Stromes geschieht z.B. bei getakteten

Quellen durch Verändern des Verhältnisses zwischen den Stromein-/Stromauszeiten. Auch die Veränderung der Taktfrequenz kann zum Verstellen der Stromhöhe benutzt werden. Durch die neue Technik wurde aber auch die geregelte Stromquelle möglich, welche die Schweißtechnik schon lange gefordert hatte. Ein Kontrollgerät mißt Schweißstrom und Schweißspannung und vergleicht mit den eingestellten Werten. Ändern sich die eingestellten Schweißparameter z.B. durch unerwünschte Widerstände im Schweißstromkreis, dann regelt die Steuerung entsprechend nach. Dies erfolgt sehr schnell, im  $\mu\text{s}$ -Bereich. Auf ähnliche Weise kann auch der Kurzschlußstrom begrenzt und der  $\cos\phi$  verbessert werden [3]. Ein verbesserter Wirkungsgrad und geringere Leerlaufverluste der Inverterstromquellen ergeben sich schon aus der geringeren Masse des Trafos.

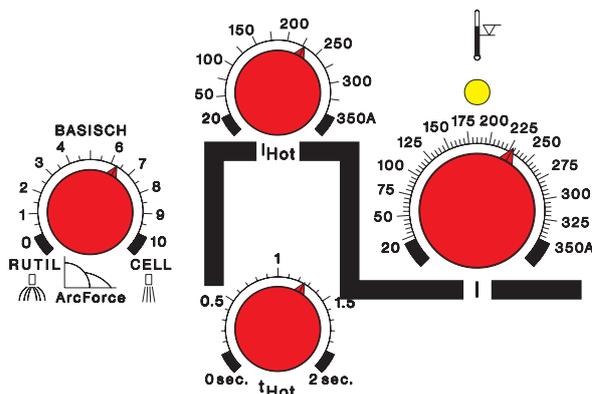
Moderne Inverter liefern heute neben Gleichstrom auch sinusförmigen und rechteckförmigen Wechselstrom. Elektroden, wie solche mit reinbasischer Umhüllung, die sich an sinusförmigem Wechselstrom nicht verschweißen lassen, können an rechteckförmigem Wechselstrom mit Erfolg abgeschmolzen werden. Dies kann erforderlich werden, wenn ungünstige Blaswirkungsbedingungen vorliegen.

## 6.2 Sonderfunktionen bei Invertern zum E-Hand-Schweißen

Moderne Inverterstromquellen bieten noch eine Reihe von Sonderfunktionen, die das Schweißen erleichtern und sicherer machen [4]. So kann die Lichtbogenkraft (Arcforce) eingestellt werden, Bild 16.

Wenn beispielsweise die Lichtbogen-spannung durch einen großen Tropfen, der sich an der Elektrode bildet, zu kurz wird und unter 8 Volt abfällt, wird die Stromstärke automatisch höher gestellt, Bild 17.

Der Lichtbogen kann sich dadurch wieder freibrennen und erlischt nicht. Diese Funktion ist besonders wichtig beim



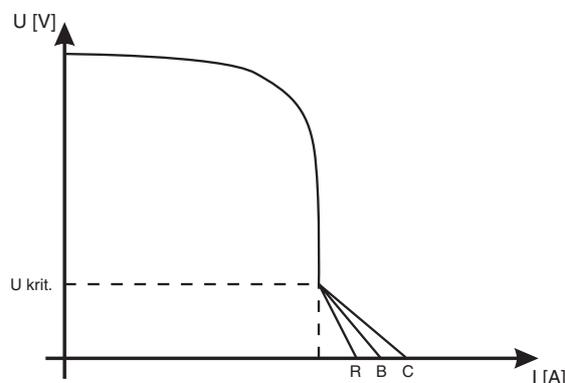
**Bild 16 Steuerung (Bedienung) einer modernen STICK-Stromquelle**

Schweißen mit zelluloseumhüllten Elektroden, aber auch bei solchen mit basischer Umhüllung.

Die Breite des Lichtbogens und damit die Lichtbogenhärte kann durch eine einstellbare Drossel stufenlos verändert werden. Ein härterer Lichtbogen ist z.B. vorteilhaft wenn schwierige Blaswirkungsbedingungen vorliegen.

Für ein sicheres Zünden des Lichtbogens und eine ausreichende Erwärmung auf dem noch kalten Grundwerkstoff zu Beginn des Schweißens sorgt die Funktion Heißstart (Hotstart). Das Zünden erfolgt hierbei mit erhöhter Stromstärke, Bild 18.

Der Antistick-Funktion verhindert ein Ausglühen der Elektrode wenn der Zündvorgang nicht gelingt und die Elektrode am Werkstück „festklebt“. Die durch Widerstandserwärmung verursachte Erwärmung der Elektrode kann die Umhüllung beschädigen bis hin zum Abplatzen derselben. Bei Stromquellen, die mit der

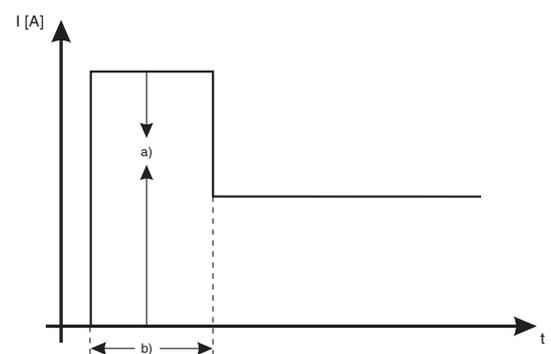


**Bild 17 Prinzip der Einstellung der Lichtbogenkraft R= Rutilelektrode; B= basische Elektrode; C= Zelluloseelektrode**

entsprechenden Funktion ausgestattet sind, wird der Strom, wenn nach dem Zündkurzschluß der Spannungsanstieg ausbleibt, sofort auf wenige Ampere heruntergeregelt. Die Elektrode läßt sich danach sehr leicht von der Zündstelle entfernen.

## 7 Durchführen des Schweißens

Der Schweißer benötigt eine gute Ausbildung, und zwar nicht nur in handwerklicher Hinsicht, sondern er muß auch über entsprechendes fachkundiges Wissen verfügen, um Fehler zu vermeiden. Die Ausbildungsrichtlinien des DVS – Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V. sind weltweit anerkannt und wurden inzwischen auch vom Internationalen Schweißverband (IIW) übernommen.



- a) Hotstart-Strom
- b) Hotstart-Zeit

**Bild 18 Prinzip der Funktion "Hotstart"**

Vor dem Beginn des Schweißens werden die Werkstücke in der Regel geheftet. Die Heftstellen müssen so lang und dick ausgeführt werden, daß die Werkstücke sich beim Schweißen nicht unzulässig stark zusammenziehen können und die Heftstellen nicht reißen.

### 7.1 Zünden des Lichtbogens

Der Schweißprozess wird beim E-Hand-Schweißen durch eine Kontaktzündung eingeleitet. Um den Stromkreis zu schließen muß zunächst zwischen Elektrode und Werkstück ein Kurzschluß erzeugt und die Elektrode sofort danach leicht angehoben werden – der Lichtbogen zündet. Der Zündvorgang sollte nie au-

Berhalb der Fuge erfolgen, sondern grundsätzlich an solchen Stellen, die nach dem Brennen des Lichtbogens sofort wieder aufgeschmolzen werden. An Zündstellen, an denen dies nicht geschieht, können nämlich bei entsprechend empfindlichen Werkstoffen durch die plötzliche Erwärmung Risse entstehen.

Bei basischen Elektroden, die zu Ansatzporosität neigen muß das Zünden sogar deutlich vor dem eigentlichen Schweißanfang erfolgen. Danach wird der Lichtbogen zum Anfangspunkt der Naht zurückgeführt und im weiteren Verlauf des Schweißens werden die ersten abgesetzten Tropfen, die meist porös sind, wieder aufgeschmolzen.

## 7.2 Führen der Elektrode

Die Elektrode wird zur Blechoberfläche senkrecht oder leicht schräg angestellt. In Schweißrichtung wird sie leicht in Schweißrichtung geneigt. Die sichtbare Lichtbogenlänge, d.i. der Abstand zwischen Kratertrand und Werkstückoberfläche soll dabei etwa dem Kernstabdurchmesser entsprechen. Basische Elektroden müssen mit sehr kurzem Lichtbogen verschweißt werden (Abstand =  $0,5 \times$  Kernstabdurchmesser). Um dies zu gewährleisten müssen sie steiler geführt werden als Rutilelektroden.

In den meisten Positionen werden Strichraupen geschweißt oder es wird mit nach oben hin größer werdender Fugenbreite leicht gependelt. Nur in der Position PF werden Pendelraupen in der ganzen Breite der Fuge gezogen. In der Regel wird schleppend geschweißt, nur in der Position PF wird die Elektrode stechend angestellt.

## 7.3 Magnetische Blaswirkung

Unter Blaswirkung versteht man eine Erscheinung, bei welcher der Lichtbogen durch Ablenkung aus seiner Mittelachse verlängert wird und dabei ein zischendes Geräusch von sich gibt. Durch diese Ablenkung können Ungängen entstehen. So kann der Einbrand unzulänglich werden und bei schlackenführenden Schweißprozessen können durch Schlackenvor-

lauf in der Naht Schlackeneinschlüsse entstehen.

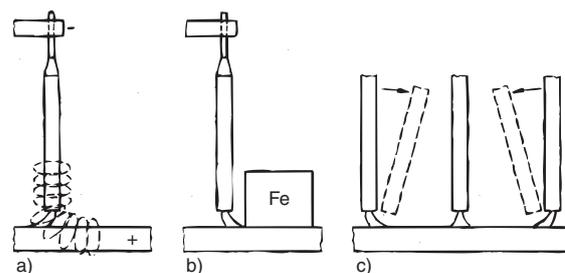
Die Ablenkung erfolgt durch Kräfte, die aus dem umgebenden Magnetfeld herühren. Wie jeder stromdurchflossene Leiter sind auch Elektrode und Lichtbogen von einem ringförmigen Magnetfeld umgeben – Dieses wird im Bereich des Lichtbogens beim Übergang in den Grundwerkstoff umgelenkt. Dadurch werden die magnetischen Kraftlinien an der Innenseite verdichtet und an der Außenseite erweitert – Bild 19 (a) [2].

Der Lichtbogen weicht in das Gebiet verminderter Flußliniendichte aus. Dabei verlängert er sich und gibt wegen der nun erhöhten Lichtbogenspannung ein zischendes Geräusch von sich. Der Gegenpol übt also eine abstoßende Wirkung auf den Lichtbogen aus.

Eine andere magnetische Kraft rührt daher, daß das Magnetfeld sich in einem ferromagnetischen Werkstoff besser ausbreiten kann, als in Luft. Der Lichtbogen wird deshalb von großen Eisenmassen angezogen – Bild 19 (b). Dies zeigt sich z.B. auch dadurch, daß er beim Schweißen auf einem magnetisierbaren Werkstoff an den Blechenden nach Innen abgelenkt wird.

Der Ablenkung des Lichtbogens kann man durch entsprechende Schrägstellung der Elektrode begegnen – Bild 19 (c). Da die Blaswirkung beim Schweißen mit Gleichstrom besonders groß ist, kann man sie, wo dies möglich ist, durch das Schweißen an Wechselstrom vermeiden oder zumindest erheblich vermindern.

Besonders stark kann die Blaswirkung wegen der umgebenden Eisenmassen beim Schweißen von Wurzellagen wer-



**Bild 19 Ablenkung des Lichtbogens durch umgebende Magnetfelder**

den. Hier hilft es, wenn man den Magnetfluß durch eng beieinander liegende, nicht zu kurze Heftstellen, unterstützt.

### 7.4 Schweißparameter

Beim E-Hand-Schweißen wird nur die Stromstärke eingestellt, die Lichtbogen- spannung ergibt sich aus der Lichtbogen- länge, die der Schweißer einhält. Bei der Einstellung der Stromstärke muß die Strombelastbarkeit des verwendeten Elektrodendurchmessers berücksichtigt werden. Tabelle 4 gibt Anhaltswerte für die Strombelastbarkeit der verschiedenen Elektrodendurchmesser.

Dabei gilt die Regel, daß die unteren Grenzwerte für das Schweißen von Wur- zellagen und für die Position PF gelten, die oberen dagegen für die übrigen Posi- tionen und für Füll- und Decklagen. Mit zunehmender Stromstärke steigt die Ab- schmelzleistung und die damit in Zu- sammenhang stehende Schweißge- schwindigkeit. Auch der Einbrand nimmt mit steigendem Strom zu. Die angegebe- nen Stromstärken gelten nur für un- und niedriglegierte Stähle. Bei hochlegierten Stählen und Nickelbasiswerkstoffen müs- sen wegen des größeren elektrischen Widerstandes des Kernstabes niedrigere Werte eingestellt werden.

Einstellwerte für verschiedene Schweiß- aufgaben enthalten die Tabelle 5, Tabelle 6 und Tabelle 7, [2], [5].

## 8 Arbeitssicherheit

Beim E-Hand-Schweißen bestehen für den Schweißer Gefahren durch Rauche und Gase, die aus der Umhüllung der Stabelektroden und durch Metallver- dampfung entstehen, ferner durch sicht-

Durch- messer (d in mm)	Länge (l in mm)	Stromstärke (I in A)	Faustregel für Strom- stärke in A
2,0	250/300	40... 80	20...40 x d
2,5	350	50...100	
3,2	350/400	90...150	30...50 x d
4,0	350/400	120...200	
5,0	450	180...270	
6,0	450	220...360	35...60 x d

**Tabelle 4 Stromstärken in Abhängigkeit vom Elektrodendurchmesser**

bare Strahlung sowie ultraviolette und In- frarotstrahlung aus dem Lichtbogen und durch elektrische Gefährdung.

Nach den derzeit geltenden Unfallverhü- tungsvorschriften ist beim E-Hand- Schweißen an Dauerarbeitsplätzen eine Absaugung direkt im Entstehungsbereich vorgeschrieben. Nur bei kurzzeitigem und nicht ortsgebundenem Schweißen ist un- ter gewissen Umständen eine freie Lüf- tung oder eine technische Raumlüftung zulässig.

Durch die Strahlung des Lichtbogens tritt eine Blendung des Auges auf und es kann zum „Verblitzen“ der Augen d.h. zu einer Augenentzündung kommen. Die Strahlung kann aber auch auf der Haut zu Verbrennungen und zu sonnenbrand- ähnlichen Erscheinungen führen. Der Schweißer muß sich dagegen durch zweckmäßige Arbeitskleidung und durch ein Schweißerschutzschild mit entspre- chenden Schutzfiltern nach EN 166 und EN 169 schützen. Als Schutzfilter sind solche der Schutzstufen 9 – für dünne

Blechedicke (mm)	Schweißposition	Nahtart	Elektrotyp	Elektrodendurch- messer (mm)	Stromstärke (Ampere)	Bemerkung
4	PA	V	RA	2,5	75	-
6				3,2	140	Wurzel
				4,0	180	Decklage
10			B	3,2	120	Wurzel
				4,0	170	Decklage
15			PF	RB	3,2	95
	4,0	160			Decklage	
	3,2	130			Wurzel	
	PA	B	4,0	170	Füll- und Decklagen	
			PF	3,2	90	Wurzel
				4,0	140	Decklage
20	PA	B	4,0	160	Wurzel	
			5,0	220	Füll- und Decklagen	
	PF	B	3,2	90	Wurzel	
			4,0	140	Füll- und Decklagen	

**Tabelle 5 Einstellwerte für Stumpfnähte an un- und niedriglegierten Blechwerkstof- fen Werte aus [2] und [5]**

Wanddicke (mm)	Schweißposition	Nahtart	Elektrotyp	Elektroden-durch-messer (mm)	Stromstärke (Am-pere)	Bemerkung
8	PG	V	C	4,0	125	Wurzel
					170	Hotpass
					150	Mittellage
					130	Decklage
10				4,0	130	Wurzel
					180	Hotpass
					190	Mittellage
					175	Decklage
12				4,0	130	Wurzel
					180	Hotpass
					200	Mittellage
					175	Decklage

**Tabelle 6 Einstellwerte für Stumpfnähte an Rohren aus un- und niedriglegiertem Stahl Werte aus [2]**

Elektroden und niedrige Stromstärken bis 14 – für dicke Elektroden und hohe Stromstärken einzusetzen. Ein Klarglas vor den Schutzfiltern oder eine Klarglasbrille schützt vor Augenverletzungen beim Schlackeklopfen.

Elektrische Gefährdung tritt beim Lichtbogenschweißen hauptsächlich durch die Leerlaufspannung auf, weil dies

a-Maß (mm)	Schweißposition	Nahtart	Elektrotyp	Elektroden-durch-messer (mm)	Stromstärke (Ampere)	Bemerkung	
2	PG	T	RC	2,5	70	-	
3	PB		RR	3,2	130	-	
4			RR160	4,0	180	-	
					190	-	
5			RR	5,0	180	Wurzel	
					240	Decklage	
6			RR160	4,0	180	Wurzel	
					240	Decklage	
					255	-	
8			PF	B	3,2	110	Wurzel
					4,0	140	Decklage

**Tabelle 7 Einstellwerte für Kehlnähte an un- und niedriglegiertem Stahl Werte aus [2]**

die höchste Spannung ist, die bei eingeschalteter Stromquelle zwischen den beiden Polen anliegt, wenn nicht geschweißt wird. Die beim Schweißen selbst anstehende Lichtbogenspannung ist dagegen wesentlich niedriger und zwar je nach Elektroden-durch-messer und Lichtbogenlänge etwa 20-30 Volt. Die Höhe der Leerlaufspannung ist deshalb durch die Unfallverhütungsvorschriften limitiert. Sie darf bei Gleichstrom einen Scheitelwert von 113 Volt und bei Wechselstrom einen Scheitelwert von 113 Volt und einen Effektivwert von 80 Volt nicht überschreiten.

Besonders groß ist die elektrische Gefährdung des Schweißers beim Schweißen in engen und feuchten Räumen und auf und in großen Eisenmassen. Hier sind Gleichstromquellen mit einem Scheitelwert von 113 Volt zulässig. Bei Wechselstrom ist die Höhe der Leerlaufspannung noch weiter eingeschränkt. Sie darf einen Scheitelwert von 68 Volt und einen Effektivwert von 48 Volt nicht überschreiten. Schweißstromquellen, die diese Forderung erfüllen sind besonders gekennzeichnet. Neu hergestellte Geräte tragen das Zeichen „S“ (safety), bei älteren findet man noch die Kennzeichnung „K“ bei Gleichstromgeräten und „42 V“ bei Wechselstromquellen.

Der Schweißer muß sich aber auch selbst vor Berührung mit stromführenden Teilen schützen, und zwar durch gut isolierende Kleidung, Schuhe mit unbeschädigten Gummisohlen und Lederhandschuhe. Beim Arbeiten auf Metallkonstruktionen wird empfohlen zusätzlich noch eine isolierende Matte zu benutzen.

## 9 Besonderheiten beim Einsatz des Verfahrens an verschiedenen Werkstoffen

Das E-Hand-Schweißen wird heute hauptsächlich zum Schweißen von un- und niedriglegierten Stählen, also Baustählen, warmfesten, hochfesten und kaltzähnen Stählen eingesetzt, sowie für nichtrostende Chrom-Nickel-Stähle und Nickelbasislegierungen. Ein weiteres An-

wendungsgebiet für Stabelektroden ist das Auftragsschweißen.

Das Schweißen von Aluminium und Aluminiumlegierungen sowie von Kupfer und Kupferlegierungen mit umhüllten Stabelektroden wurde dagegen fast vollständig vom Schutzgasschweißen abgelöst und wird heute nur noch als Notbehelf angewandt, wenn z.B. auf Baustellen das Schutzgasschweißen mal nicht möglich sein sollte.

Im Folgenden werden einige Besonderheiten und Einsatzmöglichkeiten bei verschiedenen Werkstoffe besprochen.

### 9.1 Un- und niedriglegierte Stähle

Bei un- und niedriglegierten Stählen wird das E-Hand-Schweißen wegen des geringen Investitionsbedarfs heute noch in kleineren, wenig schweißintensiven Betrieben angewendet, wo sich die Anschaffung größerer mechanisierter Schweißanlagen wirtschaftlich nicht rechnet. Weiter werden Stabelektroden noch auf Baustellen z.B. beim Schweißen im Freien eingesetzt, wo das Schutzgasschweißen aufwendige Vorkehrungen zur Abschirmung des Windes erfordert, Bild 20.

In allen anderen Fällen muß das Verfahren heute seine Wirtschaftlichkeit beweisen gegenüber anderen, mechanisierten Lichtbogenschweißverfahren. Deshalb werden, wo dies möglich ist, Hochleistungselektroden mit Ausbringen von 160-180% eingesetzt. Hochausbringende Rutilelektroden eignen sich wegen der hohen Schweißgeschwindigkeit und des guten Nahtaussehens besonders für das Schweißen von Kehlnähten mit a-Maßen von 3-5 mm.

Im Druckbehälter- und Kesselbau erfreuen sich basische Stabelektroden wegen der ausgezeichneten Gütewerte der Schweißverbindung noch einiger Beliebtheit, wobei die bessere Qualität der Verbindungen manchmal sogar in Abwägung gegenüber wirtschaftlichen Aspekten den Ausschlag gibt.

Hochfeste Stähle, wozu allerdings auch schon der Baustahl S355 zählt, wenn er in größeren Wanddicken vorliegt (>20 mm), neigen zur Rißbildung beim



**Bild 20 Einsatz der Inverter-Schweißstromquelle PICO 162 auf der Baustelle**

Schweißen, wenn drei Faktoren zusammen kommen, nämlich ein hoher Wasserstoffgehalt, hohe Spannungen und eine schnelle Abkühlung nach dem Schweißen. Solche wasserstoffinduzierten Risse lassen sich am sichersten vermeiden, wenn der Wasserstoffgehalt des Schweißgutes niedrig gehalten wird (<5 ml / 100 g). Da beim E-Hand-Schweißen im Gegensatz zum Schutzgasschweißen Wasserstoff vor allem aus der Umhüllung angeboten wird, dürfen für solche Zwecke nur trockene, basische Elektroden verwendet werden. Feucht gewordene Elektroden und solche, bei denen auch nur der Verdacht besteht, daß sie Feuchtigkeit aufgenommen haben könnten, müssen vor dem Verschweißen rückgetrocknet werden. Als Anhalt für das Trocknen kann eine Temperatur von 250-350°C und eine Haltezeit von 1-2 Stunden dienen, jedoch kann dies von Fabrikat zu Fabrikat unterschiedlich sein. Am besten folgt man den Angaben der Hersteller.

## 9.2 Hochlegierte Stähle und Nickelbasislegierungen

Eine relativ breite Anwendung findet das E-Hand-Schweißen heute noch im Chemieapparatebau beim Schweißen von nichtrostenden CrNi-Stählen. Im Gegensatz zu den Schutzgasschweißverfahren wird beim E-Hand-Schweißen die Schweißnaht beim Erkalten noch durch die Schlacke vor der Atmosphäre geschützt. Die Nähte oxidieren deshalb weniger. Die entstehenden Oxidhäute müssen vor Inbetriebnahme des Bauteils durch Bürsten, Schleifen, Strahlen oder Beizen beseitigt werden, weil sie die Korrosionsbeständigkeit negativ beeinflussen. Wegen der geringeren Oxidation der Oberfläche ist weniger Aufwand zum Säubern der Nähte erforderlich. Dies kann gewisse wirtschaftliche Vorteile ausgleichen, welche z.B. das MAG-Schweißen gegenüber dem E-Hand-Schweißen besitzt. Manchmal wird beim Schweißen korrosionsbeständiger Stähle auch aus Furcht vor Bindefehlern das E-Hand-Schweißen dem MAG-Schweißen vorgezogen.

Da austenitische Stähle auch unter Einfluß von Wasserstoff nicht verspröden und nicht zur Rißbildung neigen, kommen für diese Stähle hauptsächlich Elektroden mit Rutilumhüllung zum Einsatz, die sich durch ein gutes Nahtaussehen auszeichnen. Dies gilt vor allem für Kehlnähte und für Decklagen. Hierfür stehen auch Hochleistungselektroden mit einem Ausbringen von 160% zur Verfügung.

Elektroden für hochkorrosionsbeständige Stähle und Nickelbasislegierungen werden dagegen meist mit basischer Umhüllung geliefert. Dieser Umhüllungstyp kann auch bei Duplexstählen notwendig werden, die wegen ihrer Zweiphasenstruktur wieder etwas empfindlicher für Wasserstoffversprödung sind.

Beim Schweißen hochlegierter Werkstoffe müssen Überhitzungen vermieden werden, weil dadurch die Zähigkeit und die Korrosionsbeständigkeit der Schweißverbindung vermindert wird und Heißrisse auftreten können. Bei dünnen

Werkstücken empfiehlt es sich deshalb von Zeit zu Zeit Abkühlungspausen einzulegen oder durch untergelegte Kupferstücke die Abkühlung zu beschleunigen.

## 9.3 Auftragsschweißen

Stabelektroden machen es möglich, durch Auflegieren über die Umhüllung Hartlegierungen aufzutragen, die in Form von Massivdrähten aus Gründen der Verformbarkeit nicht herstellbar sind, wie beispielsweise hochchromhaltige Gußeisenlegierungen. Eine Alternative sind hier Fülldrähte, die über den Kern legiert werden können, jedoch wird auf diesem Sektor auch noch relativ viel das E-Hand-Schweißen eingesetzt.

## 10 Anwendung des E-Hand-Schweißens

Das E-Hand-Schweißen kann im Prinzip bereits ab Wanddicken von 1,5 mm eingesetzt werden, jedoch stellen viele Hersteller Stabelektroden heute erst ab 2,0 mm Ø her, weil sehr dünne Bleche jetzt meist WIG-geschweißt werden. Damit erhöht sich die untere zu schweißende Wanddicke für das E-Hand-Schweißen auf 2 mm.

Der Anteil des E-Hand-Schweißens hat in den vergangenen Jahren kontinuierlich zu Gunsten des MIG/MAG-Schweißens abgenommen. Nach einer neueren Statistik beträgt der Anteil, gemessen an allen Lichtbogenschweißverfahren, heute noch etwa 7,5% [6].

Hauptanwendungsgebiete sind noch der Schiffbau, wo vornehmlich Kehlnähte geschweißt werden und der Stahlbau, wo Stabelektroden hauptsächlich auf Baustellen eingesetzt werden. Über die Vorteile des E-Hand-Schweißens im Kessel-, Apparate- und Rohrleitungsbau wurde bereits in den vorausgegangenen Abschnitten einiges ausgesagt. Ein weiteres Anwendungsfeld liegt in Instandsetzungsbetrieben, und zwar sowohl bei Verbindungs- als auch bei Auftragschweißungen.



**Bild 21** Anwendung des E-Hand-Schweißens im Behälterbau

Schweißleitungen verzichtet werden, weil der Inverter auf oder nahe an das Werkstück heran mitgenommen werden kann.

Das zweite Beispiel (Bild 22) zeigt eine Anwendung des E-Hand-Schweißens im Geländerbau.

Viele Schlossereien oder kleine Stahlbaubetriebe stellen Gitter, Balkone oder Geländer her, die in der Werkstatt vorgefertigt und auf Baustellen eingebaut werden. Hierbei kommen viele kurze Schweißnähte vor, für die sich das E-Hand-Schweißen hervorragend eignet.

### 10.1 Anwendungsbeispiele

Stellvertretend für viele andere Anwendungsgebiete werden nachstehend typische Einsatzmöglichkeiten des E-Hand-Schweißens an zwei Beispielen aufgezeigt.

Bild 21 zeigt eine Anwendung aus dem Behälterbau.

An einem durch maschinelles Schweißen hergestellten Behälter sind noch Anbauteile anzuschweißen. Hierzu bietet sich das E-Hand-Schweißen an. Der Einsatz eines Leichtgewichtsinverters als Stromquelle erweist sich hierbei als besonders zweckmäßig. Es kann auf lange und damit auch dicke und wenig flexible



**Bild 22** Anwendung des E-Hand-Schweißens beim Geländerbau

## 11 Schrifttum

- [1] Killing, R.: Kompendium Schweißtechnik Band 1 – Verfahren der Schweißtechnik Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 128/1, DVS-Verlag Düsseldorf 1997
- [2] Killing, R.: Handbuch der Lichtbogenschweißverfahren Band 1 – Lichtbogenschweißverfahren, Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 76/I, DVS-Verlag Düsseldorf 1999.
- [3] Killing, R. und H. Lorenz: Schweißgeräte für das Lichtnetz – Schein und Wirklichkeit Metallbau H. 3/2000, S. 62-64.
- [4] Susa, F. und R. Killing: Moderne Multifunktionsanlagen – Eigenschaften und Anwendung DVS-Jahrbuch Schweißtechnik 2002, S. 158-164, DVS-Verlag Düsseldorf 2001
- [5] G. Aichele: Leistungskennwerte für Schweißen und Schneiden, Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 72, DVS-Verlag Düsseldorf 1994.
- [6] Killing, R.: Metallschutzgasschweißen hat weiter zugenommen – Anwendungsumfang der Schmelzschweißverfahren, Praktiker H. 11/2001, S. 435-436.

## 12 Impressum

Die E-Hand-Fibel, 2. Ausgabe 2002

Aus der Schriftenreihe EWM-Wissen – rund ums Schweißen

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, verboten. Kein Teil dieser Broschüre darf ohne schriftliche Einwilligung von EWM in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© EWM HIGHTEC WELDING GmbH

Dr.-Günter-Henle-Str. 8

D-56271 Mündersbach

Fon: +49(0)2680.181-0

Fax: +49(0)2680.181-244

<mailto:info@ewm.de>

<http://www.ewm.de>

# WIG-FIBEL





# Inhalt

1	Vorwort.....	2
2	Das Verfahren.....	2
2.1	Allgemeines.....	2
2.2	Stromart.....	3
2.3	Elektroden.....	3
2.4	Schutzgase.....	4
3	Fugenvorbereitung.....	5
3.1	Fugenformen.....	5
3.2	Anbringen der Schweißfuge.....	5
3.3	Badsicherung.....	5
3.4	Formieren.....	6
4	Der Schweißbrenner.....	6
4.1	Kühlung.....	6
4.2	Aufbau des Brenners.....	7
4.3	Ausbildung des Elektrodenendes.....	7
5	Schweißgeräte.....	8
5.1	Steuerung.....	8
5.2	Stromquellen.....	9
6	Durchführen des Schweißens.....	11
6.1	Auswahl des Schweißzusatzes.....	11
6.2	Einstellen der Schutzgasmenge.....	12
6.3	Reinigung der Werkstückoberfläche.....	12
6.4	Zünden des Lichtbogens.....	13
6.5	Führen des Brenners.....	13
6.6	Magnetische Blaswirkung.....	14
6.7	Schweißpositionen.....	14
6.8	Schweißparameter.....	15
6.9	Schweißen mit Stromimpulsen.....	15
6.10	Möglichkeiten des Mechanisierens.....	17
6.11	Arbeitssicherheit.....	17
7	Besonderheiten verschiedener Werkstoffe.....	18
7.1	Un- und niedriglegierte Stähle.....	18
7.2	Austenitische CrNi-Stähle.....	19
7.3	Aluminium und Aluminiumlegierungen.....	19
7.4	Kupfer und Kupferlegierungen.....	21
7.5	Sonstige Werkstoffe.....	21
8	Anwendung des WIG-Schweißens.....	22
8.1	Fertigungszweige.....	22
8.2	Anwendungsbeispiele.....	22
9	Schrifttum.....	24
10	Impressum.....	24

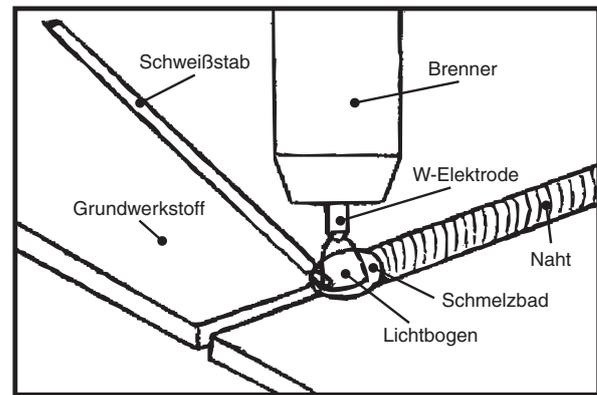
## 1 Vorwort

Das WIG-Schweißverfahren (Bild 1)– die volle Bezeichnung für dieses Verfahren lautet nach DIN 1910 – Teil 4 Wolfram-Inertgasschweißen – stammt aus den USA und wurde dort 1936 unter dem Namen Argonarc-Schweißen bekannt. Erst nach dem 2. Weltkrieg wurde es in Deutschland eingeführt. In den englisch sprechenden Ländern heißt das Verfahren TIG nach englisch "Tungsten" für Wolfram. Das Verfahren zeichnet sich gegenüber anderen Schmelzschweißverfahren durch eine Reihe von interessanten Vorteilen aus. Es ist z.B. universell anwendbar. Wenn ein metallischer Werkstoff überhaupt schmelzschweißgeeignet ist, dann läßt er sich mit diesem Verfahren fügen. Zum anderen ist es ein sehr "sauberes" Verfahren, das kaum Spritzer und nur wenig Schadstoffe erzeugt und bei richtiger Anwendung eine qualitativ hochwertige Schweißverbindung garantiert.

Ein besonderer Vorteil des WIG-Schweißens ist auch, daß hier gegenüber anderen Verfahren, die mit abschmelzender Elektrode arbeiten, die Zugabe von Schweißzusatz und die Stromstärke entkoppelt sind. Der Schweißer kann deshalb seinen Strom optimal auf die Schweißaufgabe abstimmen und nur soviel Schweißzusatz zugeben, wie gerade erforderlich ist. Dies macht das Verfahren besonders geeignet zum Schweißen von Wurzellagen und zum Schweißen in



**Bild 1** TRITON 260 DC, WIG-Verschweißen von Kühlschlangen



**Bild 2** Prinzip des WIG-Schweißens

Zwangslagen. Die genannten Vorteile haben dazu geführt, daß das WIG-Verfahren heute in vielen Bereichen der Industrie und des Handwerks mit Erfolg eingesetzt wird. Es erfordert allerdings bei der manuellen Anwendung ein geschicktes "Händchen" des Schweißers und eine gute Ausbildung. Diese Broschüre will über die Besonderheiten des Verfahrens aufklären und vielleicht auch Interesse wecken bei den Firmen, die es trotz Vorliegens entsprechender Schweißaufgaben noch nicht anwenden.

## 2 Das Verfahren

### 2.1 Allgemeines

Das WIG-Schweißen gehört zu den gasgeschützten Schweißverfahren mit nicht verbrauchender Elektrode (Prozess-Nr. 14). ISO 857-1 erklärt das Verfahren aus dem englischen übersetzt wie folgt:

„Gasgeschütztes Lichtbogenschweißverfahren unter Benutzung einer nicht verbrauchenden Elektrode aus reinem oder dotiertem Wolfram, bei dem der Lichtbogen und das Schweißbad durch eine Gasumhüllung aus inertem Gas geschützt werden“

Beim Wolfram-Inertgasschweißen (Prozess-Nr. 141) brennt der Lichtbogen frei, beim Plasma-Lichtbogenschweißen (Prozess-Nr. 15), das auch zu den Verfahren des gasgeschützten Schweißens mit nicht verbrauchender Elektrode zählt, ist er eingeschnürt. Bild 2 zeigt das Schema des Verfahrens.

Elektrorendurchmesser [mm]	Gleichstrom [A]				Wechselstrom [A]	
	Minuspol an der Elektrode		Pluspol an der Elektrode		Wolfram rein	Wolfram mit Oxid
	Wolfram rein	Wolfram mit Oxid	Wolfram rein	Wolfram mit Oxid		
1,6	40-130	60-150	10-20	10-20	45-90	60-125
2,0	75-180	100-200	15-25	15-25	65-125	85-160
2,5	130-230	170-250	17-30	17-30	80-140	120-210
3,2	160-310	225-330	20-35	20-35	150-190	150-250
4,0	275-450	350-480	35-50	35-50	180-260	240-350
5,0	400-625	500-675	50-70	50-70	240-350	330-460

**Tabelle 1: Empfohlene Stromstärkebereiche für Wolframelektroden Werte nach DIN EN 26848**

Von der Art der Elektrode (Wolfram) und dem verwendeten Schutzgas (inert) hat das Verfahren seinen Namen. Die Elektrode schmilzt wegen des hohen Schmelzpunktes von Wolfram (3380°C) bei richtiger Anwendung des Verfahrens nicht ab. Sie ist nur Lichtbogenträger. Der Schweißzusatz wird von Hand in Stabform oder beim vollmechanischen Schweißen als Draht durch ein separates Vorschubwerk zugegeben. Das Schutzgas umströmt, aus der Schutzgasdüse kommend, konzentrisch die Elektrode und schützt diese, sowie das darunterliegende Schweißgut vor der Atmosphäre.

## 2.2 Stromart

In der Regel wird Gleichstrom zum WIG-Schweißen verwendet. Beim Schweißen von Stahl und vielen anderen Metallen und Legierungen liegt der kältere Minuspol an der Elektrode und der heißere Pluspol am Werkstück. Die Strombelastbarkeit und die Standzeit der Elektrode sind bei dieser Polung wesentlich größer als bei der Pluspolschweißung. Bei Aluminium und seinen Legierungen, sowie bei einigen Bronzen, das sind Werkstoffe, die hochschmelzende oder sehr zähflüssige Oxide bilden, wird dagegen Wechselstrom verwendet. Hierauf wird später noch näher eingegangen. Auch beim Schweißen an Wechselstrom liegt die Strombelastbarkeit gegenüber der

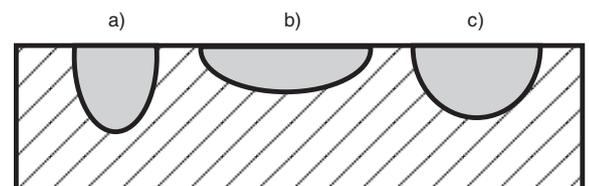
Gleichstrom-Schweißung am Minuspol niedriger – siehe dazu auch Tabelle 1.

Ebenso gibt es Unterschiede im Einbrandverhalten. Dies ist beim Gleichstromschweißen am Minuspol am besten. Beim Schweißen an Wechselstrom ist der Einbrand schon wegen der stumpferen Elektrodenform flacher und breiter und am Pluspol wegen der niedrigen Strombelastbarkeit am geringsten, Bild 3.

## 2.3 Elektroden

Wolframelektroden können wegen des hohen Schmelzpunktes des Metalls nicht durch Gießen hergestellt werden. Ihre Herstellung erfolgt deshalb pulvermetallurgisch durch Sintern mit nachfolgendem Verdichten und Verfestigen. Die genormten Durchmesser liegen nach DIN EN 26848 (ISO 6848) zwischen 0,5 und 10 mm. Die am meisten verwendeten Durchmesser sind 1,6; 2,0; 2,5; 3,2 und 4,0 mm. Genormte Längen sind 50, 75, 150 und 175 mm. Die Länge richtet sich u.a. nach der Bauart des Brenners.

Neben Elektroden aus Reinwolfram gibt es auch solche, denen vor dem Sintern in Gehalten von etwa 0,5 bis 4% Oxide wie Thoriumoxid, Zirkonoxid, Lanthanoxid oder Ceroxid zugemischt wurden. Bei Verwendung von reinen Wolframelektroden bildet sich ein sehr ruhiger Lichtbogen aus, jedoch haben die oxidhaltigen Elektroden den Vorteil, daß sie sich im Betrieb weniger erwärmen, weil das Austreten der Elektroden aus dem in den Elektroden eingeschlossenen Oxid leichter erfolgt als aus dem Wolfram. Die Zündfreudigkeit, die Strombelastbarkeit und die Standzeit sind deshalb bei oxidhaltigen Sorten besser. Tabelle 1 mit



**Bild 3: Einbrand bei verschiedenen Stromarten**  
**a) Gleichstrom (Minuspole)**  
**b) Gleichstrom (Pluspol)**  
**c) Wechselstrom**

Kurzzeichen	Zusammensetzung			Kennfarbe	
	Oxidzusatz		Verunreinigungen % (m/m)		
	% (m/m)	Art			
WP	-	-	99,8	grün	
WT 4	0,35 bis 0,55	ThO <sub>2</sub>	≤ 0,20	Rest	blau
WT 10	0,80 bis 1,20				gelb
WT 20	1,70 bis 2,20				rot
WT 30	2,80 bis 3,20				violett
WT 40	3,80 bis 4,20				orange
WZ 3	0,15 bis 0,50	ZrO <sub>2</sub>			braun
WZ 8	0,70 bis 0,90				weiß
WL 10	0,90 bis 1,20	LaO <sub>2</sub>			schwarz
WC 20	1,80 bis 2,20	CeO <sub>2</sub>			grau

**Tabelle 2 Wolframelektroden nach DIN EN 26848**

Werten aus DIN EN 26848 enthält zum Vergleich die empfohlenen Stromstärkebereiche von reinen Wolframelektroden und solchen mit Oxidzusätzen an beiden Polen des Gleichstromes und an Wechselstrom. Die höhere Strombelastbarkeit durch Oxidzusätze wird daraus deutlich.

Früher wurden meist Wolframelektroden mit etwa 2% Thoriumoxid verwendet. Deren Verwendung ist aber rückläufig. Thorium ist ein Alpha-Strahler, deshalb senden auch thoriumoxidhaltige Elektroden eine schwache radioaktive Strahlung aus. Diese ist an sich nicht gefährlich für den Schweißer, obwohl sie die allgemeine Strahlenbelastung erhöht. Gefährlicher ist es dagegen, wenn der Schleifstaub, der beim Anschleifen der Elektrode entsteht eingeatmet wird. Heute werden deshalb vielfach Wolframelektroden verwendet, die als "lichtbogenfreundliche" Stoffe Lanthanoxid oder Ceroxid enthalten.

Welche Elektrode man vor sich hat, erkennt man an der Kurzbezeichnung und der Kennfarbe, die nach Norm festgelegt ist, Tabelle 2.

## 2.4 Schutzgase

Wie aus dem Namen des Verfahrens schon abgeleitet werden kann, werden in der Regel inerte Gase zum WIG-Schweißen eingesetzt. Schutzgase sind in DIN EN 439 genormt. Diese tragen

nach Norm die Bezeichnungen I1, I2 und I3. Das am häufigsten beim WIG-Schweißen verwendete Schutzgas ist Argon (I1). Der Reinheitsgrad sollte mindestens 99,95% betragen. Bei Metallen, die eine sehr gute Wärmeleitfähigkeit haben, wie Aluminium oder Kupfer, kommt aber auch Helium (I2) zum Einsatz. Unter Helium als Schutzgas ist der Lichtbogen heißer. Vor allem aber ist die Wärmeverteilung zwischen dem Kern und dem Rand des Lichtbogens gleichmäßiger. Der Einsatz von reinem Helium beim WIG-Schweißen ist selten und auf Sonderfälle beschränkt, dagegen kommen Argon/Helium-Gemische (I3) mit 25, 50 oder 75% Helium seit einigen Jahren vermehrt zur Verwendung. Damit kann z.B. bei dickeren Aluminiumstrukturen die zur Erreichung eines ausreichenden Einbrandes erforderliche Vorwärmtemperatur verringert werden. Vielfach ist auch eine Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit möglich.

Beim WIG-Schweißen von nichtrostenden Chrom-Nickel-Stählen werden zu diesem Zweck auch Argon / Wasserstoffgemische (R1) eingesetzt, jedoch sollte der Wasserstoffgehalt aus Gründen der Porenvermeidung nicht wesentlich über 5% liegen.



**Bild 4 WIG-Schweißen an einem Geländer**

Die Schutzgasdurchflußmenge richtet sich nach dem Gasdüsendurchmesser und der umgebenden Luftströmung. Als Richtwert kann bei Argon von einem Volumenstrom von 5-10 l / min ausgegangen werden. In zugigen Räumen Bild 4 sind u. U. größere Durchflußmengen erforderlich. Bei Argon / Helium-Gemischen müssen wegen der geringeren Dichte von Helium höhere Durchflußmengen eingestellt werden.

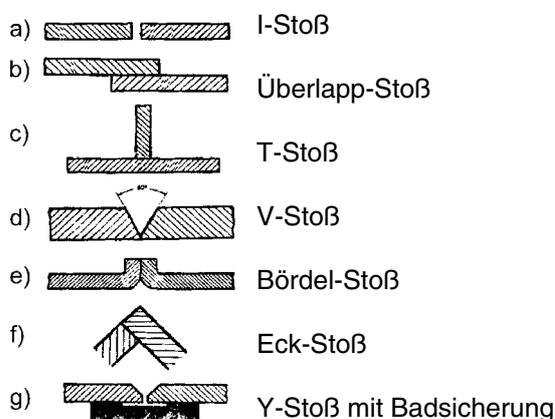
### 3 Fugenvorbereitung

#### 3.1 Fugenformen

Die wichtigsten beim WIG-Schweißen eingesetzten Fugenformen zeigt Bild 5.

Dünne Bleche können einseitig oder beidseitig als I-Stoß verbunden werden. Wird die Blechdicke so groß, daß ein Durchschweißen auch von beiden Seiten nicht mehr möglich ist, müssen die Fugenflanken angeschrägt werden. Der Öffnungswinkel der entstehenden V-Fuge ist meist 60°, bei Aluminium auch 70°. Zur Verhinderung des Durchschmelzens werden die Spitzen der Bleche im Wurzelbereich oft auch leicht gebrochen. Bei einem ausgeprägten Steg spricht man aber nicht mehr von einer V- sondern von einer Y-Fuge. Bei Stahl kann man Werkstückdicken bis zu etwa 6 mm in einer Lage schweißen. Darüber hinaus ist eine Mehrlagenschweißung erforderlich.

Bei dünnen Blechen kommen auch Überlapp-Fugen vor. Ganz besonders eignet sich zum WIG-Schweißen die Bördelfuge.



**Bild 5 Die wichtigsten Fugenformen beim WIG-Schweißen**

Die hochgebördelten Blech-ränder können unter dem Lichtbogen ohne Zugabe von Schweißzusatz aufgeschmolzen und damit verbunden werden. Bei Eckstößen können auch ein oder beide Partner angephast werden.

#### 3.2 Anbringen der Schweißfuge

Das Vorbereiten der Fugenflanken erfolgt bei un- und niedriglegierten Stählen meist durch autogenes Brennschneiden. Bei hochlegierten Stählen, Aluminium und Metallegierungen kann das Schmelzschnitten nach dem Plasma-, Laser- oder Elektronenstrahlprinzip angewandt werden. Dünne Bleche werden oft durch mechanisches Schneiden (Scheren) zugeschnitten, während bei dickeren Werkstoffen die Fugen auch durch mechanische Bearbeitung (Drehen, Hobeln) angebracht werden.

#### 3.3 Badsicherung

Während beim manuellen Schweißen der Schweißer den Schweißverlauf beobachtet und durch Einstellung der richtigen Stromstärke, die Stellung des Lichtbogens in der Fuge, die Schweißgeschwindigkeit und die Menge des zugegebenen Schweißzusatzes auch bei ungleichem Wurzelspalt eine gleichmäßige Wurzelraupe erreichen kann, muß beim vollmechanisierten Schweißen vom eingestellten Wurzelspalt über die richtig eingestellten Schweißparameter und die kontinuierlich zugegebene Menge des Zusatzdrahtes alles stimmen.

Zur Erleichterung des Wurzelschweißens werden deshalb beim maschinellen Schweißen oft Badsicherungen verwendet, siehe Bild 5. Diese Badsicherungen bestehen bei den meisten Metallen und Legierungen aus Kupfer, bei Aluminium, das einen niedrigen Schmelzpunkt hat, auch aus nichtrostendem Stahl. Auch Keramikunterlagen kommen beim Schweißen als Badsicherung zum Einsatz. Die Unterlage soll das spontane Durchfallen des Schweißgutes z.B. an Stellen, wo der Spalt etwas breiter ist, verhindern sodaß das schmelzflüssige Metall aufgefangen wird und eine Wurzelraupe entstehen



**Bild 6 WIG-Schweißerarbeiten in der Chemie-Industrie**

kann. Die Badsicherung formt auch die Unterseite der Wurzellage. Zu diesem Zweck ist sie deshalb meist mit einer Nut versehen.

### 3.4 Formieren

Hierunter versteht man die zusätzliche Zugabe von Schutzgas an die Wurzelrückseite, wo der zu schweißende Werkstoff auch im flüssigen Zustand vorliegt, aber nicht vom Schutzgas, das auf der Oberseite zugeführt wird, erreicht wird. Besonders beim WIG-Schweißen mit seiner relativ geringen Schweißgeschwindigkeit nimmt die Wurzelrückseite durch Oxidation oft ein "verbranntes" Aussehen an. Dies soll durch das Formiergas verhindert werden. Das kalte Schutzgas hilft auch bei der Formung der Wurzelrückseite mit. Daher kommt der Name "Formiergas".

Durch das Formieren wird auch die Bildung von Oxidhäuten und Anlauffarben auf der Wurzelrückseite verhindert oder zumindest vermindert. Dies ist z.B. beim Schweißen von korrosionsbeständigen Stählen wichtig, weil solche Oxidhäute

die Korrosionsbeständigkeit der Schweißverbindung herabsetzen, Bild 6.

Beim Schweißen von Rohren können die Enden einfach versperrt und das Formiergas in das Innere eingeleitet werden. Beim Schweißen von Blechen läßt man es aus Öffnungen der Badsicherungsschiene ausströmen. Als Formiergas kann Argon oder ein Argon / Wasserstoffgemisch verwendet werden. In DIN EN 439 sind in der Gruppe F aber auch preiswerte Formiergase genormt. Diese bestehen z.B. aus einem Wasserstoff / Stickstoffgemisch. Auch reiner Stickstoff kann unter bestimmten Umständen zum Formieren verwendet werden.

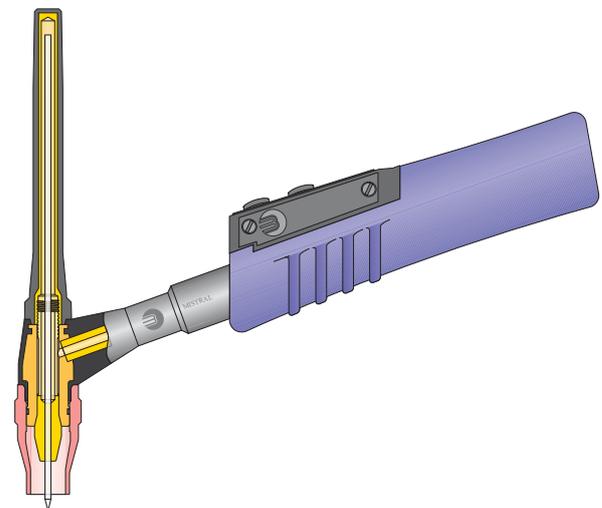
## 4 Der Schweißbrenner

Der Schweißbrenner ist das Werkzeug des WIG-Schweißers. Seine Funktionen beeinflussen in besonderem Maße die entstehende Schweißnaht. Bild 7 zeigt einen gasgekühlten WIG-Schweißbrenner.

Der Brenner ist über das Schlauchpaket mit dem Schweißgerät verbunden. Durch das Schlauchpaket verläuft die Schweißstromleitung und die Schutzgaszuführung, sowie die Steuerleitung, die es gestattet auf Knopfdruck vom Brennerschalter aus verschiedene Funktionen ein- und auszuschalten.

### 4.1 Kühlung

Bei Brennern, die nur für Stromstärken



**Bild 7 Gasgekühlter WIG-Schweißbrenner**

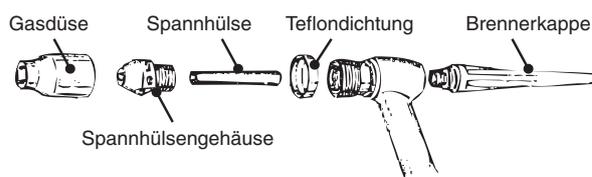
bis ca. 150 Ampere vorgesehen sind, genügt die Kühlung durch das durchfließende Schutzgas und die umgebende Luft. Brenner für höhere Leistungen werden wassergekühlt. In diesem Fall verlaufen auch die Leitungen für die Wasserzu- und rückführung noch durch das Schlauchpaket, wobei die Schweißstromleitung durch das zurückfließende Wasser gekühlt wird. Sie kommt dadurch mit einem geringeren Querschnitt aus und das Schlauchpaket bleibt flexibel. Zu diesem Zweck gibt es im Schlauchpaket ein kombiniertes Strom / Wasserkabel. Ein Druckwächter, der meist im Schweißgerät sitzt, sorgt dafür, daß bei unzureichender oder fehlender Kühlwasserzufuhr der Schweißstrom abgeschaltet wird.

Da Wasser ein relativ teures Betriebsmittel ist, werden zur Kühlung meist Wasserrückkühlgeräte mit einem geschlossenen Kühlkreislauf eingesetzt.

#### 4.2 Aufbau des Brenners

Die Wolframelektrode sitzt in einer Spannhülse und wird durch Anziehen der Brennerkappe festgespannt. Die Länge der Brennerkappe wird nach dem Einsatzzweck ausgewählt. Sie kann z.B. beim Schweißen in engen Räumen wesentlich kürzer sein als in Bild 8 dargestellt.

Eine wichtige Funktion hat der Brennerschalter. Dieser kann in Form von einem oder von zwei Tastern vorliegen oder als Wippe ausgebildet sein, die sich nach vorn und nach hinten betätigen läßt. Durch Betätigung der Taster kann der Schweißstrom ein und ausgeschaltet, aber auch der Strom während des Schweißens verstellt werden. Dabei läßt sich auch die Geschwindigkeit der Stromänderung einstellen.



**Bild 8** Explosionsschaubild des WIG-Schweißbrenners

Der Durchmesser der Wolframelektrode richtet sich nach der anzuwendenden Stromstärke, der Stromart (Gleichstrom/Wechselstrom) und der Polung. Bei der Auswahl des Durchmessers können die in Tabelle 1 angegebenen Stromstärkenbereiche hilfreich sein.

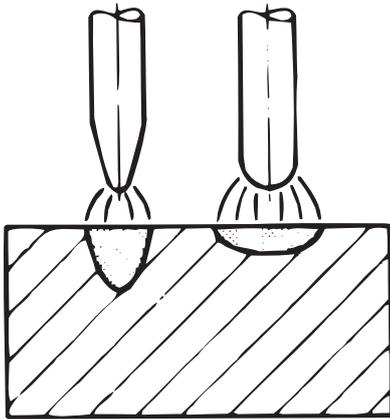
Am unteren Ende des Schweißbrenners befindet sich die Gasdüse. Diese kann aus Metall oder Keramik bestehen. Der Durchmesser der Gasdüse muß auf die Schweißaufgabe abgestimmt werden. Wenn ein größeres Schmelzbad geschützt werden soll, dann muß auch die Gasdüse größer sein. Eine Relation ist deshalb zur Stromstärke oder zum Elektrodendurchmesser gegeben. Die Wolframelektrode ragt je nach Durchmesser z.B. 2 mm bei dünnen Elektroden oder bis 3mm bei dickeren Elektroden über die Gasdüse hinaus.

#### 4.3 Ausbildung des Elektrodenendes

Beim Schweißen an Gleichstrom (Minuspol) wird die Wolframelektrode gewöhnlich kegelförmig angespitzt. Dies geschieht in der Regel durch Schleifen. Das Schleifen sollte so erfolgen, daß auf der angeschliffenen Spitze nur Schleifriefen in Längsrichtung zurückbleiben. Der Lichtbogenansatz ist dann ruhiger als wenn Querriefen vorliegen. Der Anspitzwinkel ergibt sich aus dem Verhältnis des Elektrodendurchmesser zur Länge der Spitze. Dieses Verhältnis sollte etwa 1: 2,5 sein.

Bei richtig eingestellter Stromstärke schmilzt nur ein kleiner Teil der Elektrodenspitze auf und bildet dort eine kleine Kugel. Daran brennt der Lichtbogen besonders ruhig. Es empfiehlt sich deshalb, diese Kugel schon vor Beginn des Schweißens durch kurzzeitige Überlastung anzuschmelzen. Bei modernen Geräten kann eine solche Funktion in der Steuerung abgerufen werden.

Beim Schweißen an Wechselstrom ist die thermische Belastung der Wolframelektrode wesentlich größer als beim Schweißen an Gleichstrom (Minuspol). Die Elektrode wird deshalb bei dieser Stromart gar nicht angespitzt oder die Spitze wird



**Bild 9 Einbrand bei unterschiedlicher Form des Elektrodenendes**

in Form eines Kegelstumpfes ausgebildet, mit einem Verhältnis beider Durchmesser zueinander von 2:1.

Beim Schweißen mit Gleichstrom (Plus-pol), was relativ selten vorkommt, erfolgt gar kein Anschleifen der Elektrode.

Es muß beachtet werden daß die Form der Elektrodenspitze auch das Einbrandverhalten wesentlich beeinflusst. Bei spitzer Elektrode ergibt sich ein schmaler, tiefer Einbrand, bei stumpfer Elektrode ist der Einbrand unter sonst gleichen Bedingungen breiter und flacher, Bild 9.

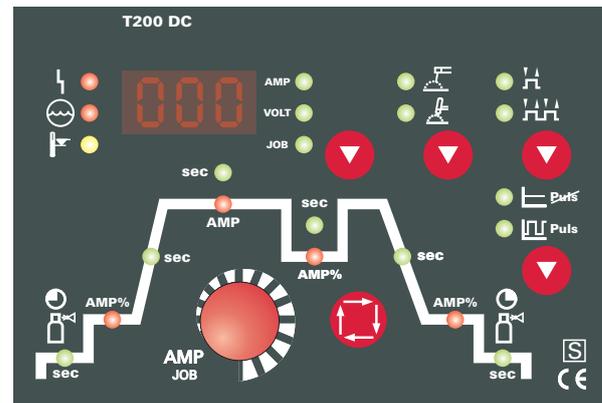
## 5 Schweißgeräte

WIG-Schweißgeräte bestehen aus der Stromquelle und der Steuerung.

### 5.1 Steuerung

Die Steuerung hat die Aufgabe den Schweißstrom zu schalten, zu stellen und konstant zu halten. Sie bietet darüber hinaus Zusatzfunktionen an, die das Schweißen erst ermöglichen oder erleichtern, Bild 10.

Beim Ausschalten am Ende einer Schweißnaht kann bei modernen Geräten der Strom zur Kraterfüllung zeitabhängig abgesenkt werden (Down-Slope). Ebenso kann der Strom zu Beginn des Schweißens rampenförmig hochgefahren werden (Up-Slope). Diese Funktionen können im 2- oder im 4-Takt-Betrieb vom Brennerschalter aus eingeleitet werden. Auf diese Weise ergibt sich ein Schweißprogramm wie es schematisch in Bild 11 dargestellt ist.

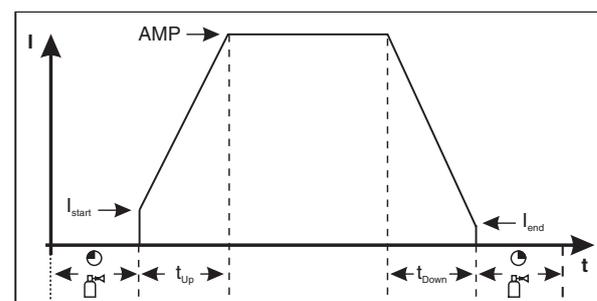


**Bild 10 Steuerung der EWM WIG-Inverter-Stromquelle TRITON 220 DC PowerSinus**

Bei High-Tech-Geräten bleiben die eingestellten Anstiegs- und Absenkezeiten sogar konstant, unabhängig von der Höhe der eingestellten Stromstärke. Ferner kann auch die Vor- und Nachströmzeit für das Schutzgas eingestellt werden.

In die Steuerung integriert ist auch das Zündgerät. Natürlich kann der WIG-Lichtbogen auch durch Berührung zwischen Elektrode und Werkstück gezündet werden, jedoch besteht dabei die Gefahr, daß die Spitze der Elektrode beschädigt wird und der Lichtbogen danach unruhig brennt. Außerdem kann Wolfram in das Schweißgut übertragen werden, wo es wegen des hohen Schmelzpunktes nicht aufschmilzt, sondern als Fremdkörper verbleibt. Deshalb sollte bei einfachen Geräten, die nicht über Einrichtungen zum berührungslosen Zünden verfügen, immer außerhalb der Fuge auf einem Anlaufblech gezündet werden oder auf einem daneben liegenden Kupferblech.

Das elektrodenschonende Zünden ist auf verschiedene Weise möglich. Bei der

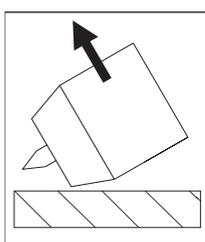


**Bild 11 Funktionsablauf zu Beginn und Ende des Schweißens**

Hochspannungsimpulszündung, manchmal auch Hochfrequenzzündung genannt, wird eine impulsförmige Wechselspannung von einigen tausend Volt (z.B. 6-8 kV) zwischen Elektrode und Werkstück angelegt. Die sehr kurzen Spannungsimpulse (z.B. 0,5-1µs) gehen nach Betätigung des Brennerschalters in Form einer Funkenstrecke von der Elektrode zum Werkstück über, und zwar beim Gleichstromschweißen meist mit einer Frequenz von 100 Hz, beim Wechselstrom mit der natürlichen 50 Hz-Frequenz oder bei modernen Geräten mit der eingestellten Frequenz des Schweißstromes. Die Funkenstrecke kann man hören und sehen. Sie ionisiert die Gasmoleküle im Raum zwischen Elektrode und Werkstück vor, sodaß der Lichtbogen berührungslos zünden kann, wenn die Elektrodenspitze bis auf einige Millimeter der Zündstelle genähert wird. Eine Faustregel sagt, daß die Zündung über eine Strecke von 1 mm / 1000 Volt Zündspannung möglich ist. Um dabei ein unbeabsichtigtes Berühren zwischen Elektrode und Werkstück auszuschließen, setzt man am besten, wie in Bild 12 gezeigt, den Brenner schräg am Gasdüsenrand auf und nähert die Elektrodenspitze durch Aufrichten des Brenners so weit an, bis der Lichtbogen zündet.

Erst danach wird die Gasdüse vom Werkstück abgehoben und die normale Brennerstellung eingenommen. Beim Schweißen mit sinusförmigem Wechselstrom muß die Zündhilfe sogar durchlaufen, um den Lichtbogen nach dem Nulldurchgang von Strom und Spannung wieder sicher zu zünden.

Eine andere Möglichkeit ist die sogenannte "Lift-Arc"-Zündung. Dies ist eine



**Bild 12** Zünden mit Hochspannungsimpulsen

Berührungszündung, bei der die Elektrode nicht geschädigt wird, weil bei der Berührung nur ein sehr kleiner Strom fließt. Erst wenn nach Anheben der Elektrode ein schwacher Lichtbogen brennt, wird von der Steuerung der eingestellte Schweißstrom zugeschaltet.

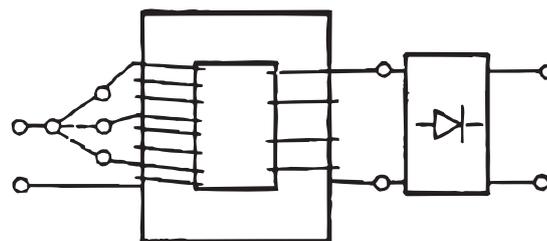
Weitere Funktionen der Steuerung sind das Umschalten von Normalbetrieb auf Impulsbetrieb und gegebenenfalls auch das Umschalten auf andere Schweißverfahren, wobei u.U. auch die Kennliniencharakteristik verändert werden muß.

## 5.2 Stromquellen

Die Stromquelle hat die Aufgabe den vom Netz kommenden Wechselstrom mit hoher Spannung und niedriger Stromstärke in Schweißstrom mit hoher Stromstärke und niedriger Spannung umzuwandeln und wenn erforderlich, diesen auch gleichzurichten. Für das WIG-Schweißen kommt sowohl Wechselstrom, wie auch Gleichstrom zur Anwendung.

Der Schweißtransformator ist die einfachste und preisgünstigste Schweißstromquelle. Er besteht aus der Primärspule mit vielen dünnen Windungen und der Sekundärspule mit wenigen dicken Windungen. Der Netzstrom wird im Verhältnis der Windungszahlen dieser Spulen herauf-, die Netzspannung entsprechend heruntertransformiert. Der Schweißtransformator hat gewöhnlich eine fallende statische Kennlinie. Das Einstellen verschiedener Stromstärken ist möglich durch Streukernverstellung, Transduktor oder primärseitige Windungsanzapfung.

Der Schweißgleichrichter besteht aus einem Transformator mit nachgeschaltetem Gleichrichtersatz, Bild 13.



**Bild 13** Prinzipschaubild des Schweißgleichrichters



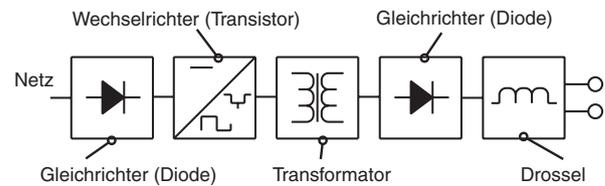
**Bild 14 TRITON 200 DC, WIG-Inverter-Schweißgerät**

Als Gleichrichter werden heute Siliziumdioden oder Thyristoren verwendet. In ihnen wird der vorher im Transformator auf die benötigte Stromstärke und Spannung transformierte Wechselstrom in Gleichstrom umgewandelt. Einfache Schweißgleichrichter sind einphasig angeschlossen (Zweipulsschaltung). Sie ergeben einen Schweißstrom mit ziemlicher Welligkeit. Eine bessere Glättung des Stromes wird erreicht wenn alle 3 Phasen des Wechselstromes transformiert und gleichgerichtet werden (Sechspuls-Brückenschaltung). Einfache Gleichrichter werden auch als sogenannte Kombigeräte angeboten, die umschaltbar Gleich- oder Wechselstrom liefern. Schweißgleichrichter zum WIG-Schweißen haben eine fallende statische Kennlinie. Sie können eingestellt werden durch Streukernverstellung, Transduktor und primärseitige Windungsanzapfung im Wechselstromkreis oder durch Phasenanschnittsteuerung der Thyristoren.

Neuzeitliche WIG-Anlagen (Bild 14) sind mit Invertern als Stromquelle ausgestattet.

Der Inverter ist eine elektronische Stromquelle, die nach einem völlig anderen Wirkprinzip arbeitet als die konventionellen Stromquellen (Bild 15).

Der aus dem Netz kommende Strom wird zunächst gleichgerichtet und danach, damit er transformierbar wird, durch Ein- und Ausschalten in kurze Abschnitte zerteilt. Diesen Vorgang nennt man Takten. Er wird ermöglicht durch schnell reagierende elektronische Schalter, die Transis-



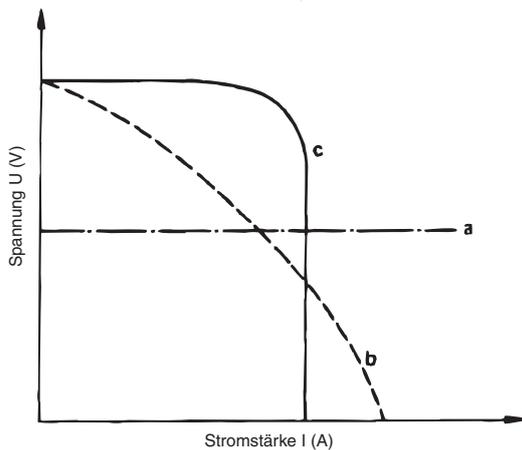
**Bild 15 Blockschaubild eines Inverters der 3. Generation, Taktfrequenz bis zu 100 kHz**

toren. Die ersten transistorisierten Inverter arbeiteten mit einer Taktfrequenz von etwa 25 kHz. Heute sind mit weiterentwickelten Transistoren Taktfrequenzen von 100 kHz und mehr möglich.

Nach dem "Zerhacken" (Takten) des Stromes wird der Strom auf die erforderliche hohe Stromstärke und niedrige Spannung transformiert. Hinter dem Trafo entsteht dann ein rechteckförmiger Wechselstrom, der anschließend noch einmal gleichgerichtet wird. Die hohe Taktfrequenz hat den Vorteil, daß die erforderliche Masse des Trafos sehr klein gehalten werden kann. Sie ist nämlich von der Frequenz des zu transformierenden Stromes abhängig. Dadurch ist es möglich Leichtgewichtsstromquellen herzustellen. Eine neuzeitliche Anlage für das WIG-Schweißen mit einer Leistung von 260 A / 20,4 V wiegt deshalb nur noch 24,5 kg –Bild 16.



**Bild 16 TRITON 260 DC, WIG-Inverter-Schweißgerät**



**Bild 17 Statische Kennlinien von Schweißstromquellen**

Soviel über das Leistungsteil elektronischer Stromquellen.

Bei den elektronischen Stromquellen wird vieles, was bei konventionellen Stromquellen mit Komponenten wie Widerständen, Drosseln und Kondensatoren erreicht wird, durch die Steuerung elektronisch gelöst. Die Steuerung dieser Stromquellen ist deshalb ebenso wichtig wie das Leistungsteil. Das Stellen des Stromes geschieht z.B. bei getakteten Quellen durch Verändern des Verhältnisses zwischen den Stromein-/Stromauszeiten. Auch die Veränderung der Taktfrequenz kann zum Verstellen der Stromhöhe benutzt werden. Um impulsförmigen Strom zu erzeugen, wird das Verhältnis der Ein-/Auszeiten durch die Steuerung zyklisch verändert. Auf ähnliche Weise kommt das Slope-up/Slope-down zustande.

Durch die neue Technik wurde aber auch die geregelte Stromquelle möglich, welche die Schweißtechnik schon lange gefordert hatte. Ein Kontrollgerät mißt Schweißstrom und Schweißspannung und vergleicht mit den eingestellten Werten. Ändern sich die eingestellten Schweißparameter z.B. durch unerwünschte Widerstände im Schweißstromkreis, dann regelt die Steuerung entsprechend nach. Dies erfolgt sehr schnell, im  $\mu\text{s}$ -Bereich. Auf ähnliche Weise kann auch der Kurzschlußstrom begrenzt und der  $\cos \varphi$  verbessert werden. Ein verbesserter Wirkungsgrad und ge-

ringere Leerlaufverluste der Inverterstromquellen ergeben sich schon aus der geringeren Masse des Trafos.

Schweißstromquellen können eine waagerechte (Konstantspannungs-) Kennlinie, eine leicht fallende Kennlinie oder eine im Arbeitsbereich senkrecht abfallende (Konstantstrom-) Kennlinie besitzen –Bild 17.

Bei vielen neuzeitlichen Stromquellen kann auf einfache Weise die Charakteristik der Kennlinie verändert werden, wodurch sie für mehrere Prozesse verwendbar werden (Multiprozessanlagen). Inverterstromquellen zum WIG-Schweißen besitzen eine Konstantstromcharakteristik (Bild 17,c), d.h. im Arbeitsbereich fällt die statische Kennlinie senkrecht ab. Das bedeutet, daß bei Längenänderungen des Lichtbogens, was beim manuellen Schweißen nicht immer zu vermeiden ist, sich nur die Spannung verändert, die Stromstärke aber nicht. Dadurch ist immer ein ausreichender Einbrand und eine konstante Abschmelzleistung gewährleistet. Die gleiche Kennlinie kann auch zum Lichtbogenhandschweißen verwendet werden. Soll die Stromquelle aber zum MIG/MAG-Schweißen verwendet werden, dann wird beim Umschalten auf dieses Verfahren eine Konstantspannungskennlinie (Bild 17 ,a) eingestellt.

Viele Inverterstromquellen sind auch programmierbar, was für das mechanisierte Schweißen z.B. das WIG-Orbitalschweißen oder für den Einsatz mit Robotern gefordert wird.

## 6 Durchführen des Schweißens

Der WIG-Schweißer braucht neben fachtheoretischen Kenntnissen auch gute praktische Fähigkeiten. Diese werden in Schweißkursen vermittelt, die z.B. der Deutsche Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V. in seinen Kursstätten und Lehranstalten anbietet.

### 6.1 Auswahl des Schweißzusatzes

Der Schweißzusatz beim WIG-Schweißen liegt meist stabförmig vor,

beim vollmechanischen Einsatz des Verfahrens wird er drahtförmig durch ein separates Vorschubwerk zugeführt.

In der Regel werden die Schweißzusätze artgleich zum Grundwerkstoff ausgewählt. Manchmal ist es aber aus metallurgischen Gründen erforderlich, daß der Zusatz bei einigen Legierungselementen etwas vom Grundwerkstoff abweicht. Dies ist z.B. beim Kohlenstoffgehalt der Fall, der aus Gründen der Rißsicherheit, wenn eben möglich, sehr niedrig gehalten wird. In solchen Fällen spricht man von artähnlichen Schweißzusätzen. Es gibt aber auch Fälle, wo artfremde Zusätze erforderlich sind. Dies ist z.B. der Fall beim Fügen von schwerschweißbaren C-Stählen, wo austenitische Schweißzusätze oder sogar Nickelbasislegierungen verwendet werden.

Der Durchmesser des Schweißzusatzes muß auf die Schweißaufgabe abgestimmt sein. Er richtet sich nach der Materialdicke und damit auch nach dem Durchmesser der Wolframelektrode. Tabelle 3 enthält die der Blechdicke zugeordneten Elektroden-, Gasdüsen- und Schweißstabdurchmesser.

Die Schweißstäbe sind in der Regel 1000 mm lang. Sie werden in Bündeln geliefert und sollten einzeln mit der DIN- oder der Handelsbezeichnung gekennzeichnet sein, um Verwechslungen zu vermeiden.

Blechdicke [mm]	Wolfram-Elektroden-durchmesser [mm]	Gasdüsengröße Nr.	Zusatzstab-durchmesser [mm]
1	1,0	4	1,6
2	1,6	4 bis 6	2,0
3	1,6	6	2,5
4	2,5	6 bis 8	3,0
5	2,5 bis 3,0	6 bis 8	3,2
6	3,2	8	4,0
8	4,0	8 bis 10	4,0

**Tabelle 3** Wolfram-Elektroden-durchmesser, Gasdüsengröße und Zusatzstab-durchmesser bei verschiedenen Blechdicken

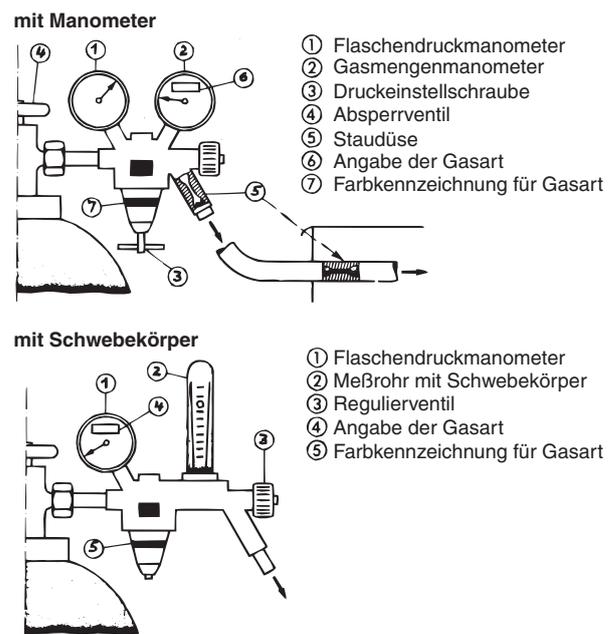
## 6.2 Einstellen der Schutzgasmenge

Die Schutzgasmenge wird als Volumenstrom in l/min eingestellt. Dieser richtet sich nach der Größe des Schmelzbades und damit nach dem Elektrodendurchmesser, dem Gasdüsendurchmesser, dem Düsenabstand zur Grundwerkstoffoberfläche, der umgebenden Luftströmung und der Art des Schutzgases – siehe auch Abschnitt Schutzgase. Eine Faustregel sagt, daß bei Argon als Schutzgas und den am meisten verwendeten Wolframelektrodendurchmessern von 1 bis 4 mm je Minute 5 bis 10 Liter Schutzgas zugegeben werden sollten.

Das Messen der Durchflußmenge kann indirekt mit Manometern erfolgen, die den der Durchflußmenge proportionalen Druck vor einer eingebauten Staudüse messen. Die Skala des Manometers ist dann direkt in l/min geeicht. Genauer sind Meßgeräte, die mittels Glasröhrchen und Schwebekörper direkt in dem zum Brenner fließenden Schutzgasstrom messen – Bild 18.

## 6.3 Reinigung der Werkstückoberfläche

Für ein gutes Schweißergebnis ist es wichtig, die Fugenflanken und die Oberfläche des Werkstückes im Schweißbereich vor dem Beginn des Schweißens



**Bild 18** Messen der Schutzgasdurchflußmenge

gründlich zu säubern. Die Oberflächen sollten metallisch blank und frei von Fett, Schmutz, Rost und Farbe sein. Auch Zunderschichten sollten nach Möglichkeit entfernt werden. In vielen Fällen wird dazu ein Bürsten ausreichen. Wo dies nicht genügt, muß die Oberfläche durch Schleifen oder ein mechanisches Bearbeitungsverfahren behandelt werden. Bei korrosionsbeständigen Werkstoffen dürfen nur Bürsten aus nichtrostendem Stahl verwendet werden, weil sonst Fremdstoffe durch Eisenteilchen entstehen können, die in die Oberfläche eingetragen wurden. Bei Aluminium ist es aus Gründen der Porenentstehung besonders wichtig, daß keine dickeren Oxidhäute auf der Oberfläche verbleiben. Hierauf wird später noch näher eingegangen. Zum Säubern und Entfetten sind geeignete Lösungsmittel zu benutzen. Achtung: Bei Verwendung chlorhaltiger Lösungsmittel können giftige Dämpfe entstehen.

#### 6.4 Zünden des Lichtbogens

Der Lichtbogen sollte nie außerhalb der Fuge auf dem Grundwerkstoff gezündet werden, sondern stets so, daß die Zündstelle unmittelbar danach beim Schweißen wieder aufgeschmolzen wird. Zu Beginn des Schweißens kühlt der hoch erhitzte Grundwerkstoff an der Zündstelle nämlich durch den Wärmeentzug der rückwärtigen kalten Massen sehr schnell ab. Die Folge dieser raschen Abkühlung können Aufhärtungen, eventuell schon mit Rissen verbunden, und Poren sein. Die schnelle Abkühlung läßt sich vermeiden wenn das Zünden direkt am Beginn der Schweißnaht erfolgt und eventuell entstandene Ungenzen sofort wieder aufgeschmolzen werden.

Die Kontaktzündung sollte die absolute Ausnahme sein, wenn das verwendete ältere Schweißgerät nicht über eine Zündhilfe (Hochspannungsimpulszündung) verfügt – siehe auch Abschnitt 5.1 Steuerung. In diesem Fall wird auf einem in die Fuge in der Nähe des Schweißnahtbeginns eingelegten Kupferplättchen gezündet. Von dort wird der Lichtbogen dann zum beabsichtigten Nahtanfang ge-

zogen und das Schweißen beginnt. Bei einer Berührungszündung direkt auf dem Grundwerkstoff kann Wolfram ins Schweißgut gelangen, das wegen des hohen Schmelzpunktes nicht aufgeschmolzen wird und später im Durchstrahlungsfilm wegen der größeren Absorption der Röntgenstrahlen durch Wolfram als helle Stelle zu erkennen ist.

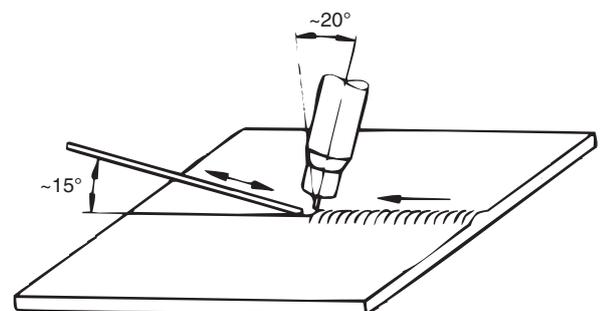
#### 6.5 Führen des Brenners

Beim WIG-Schweißen wird das Nach-Links-Schweißen eingesetzt, Bild 19. Diese Definition ist aber nur eindeutig, wenn der Schweißer den Brenner mit der rechten Hand und den Zusatzstab mit der linken Hand führt, wie dies bei Rechtshändern üblich ist und wenn man die Positionen aus Sicht des Schweißers sieht. Eindeutiger ist die Schweißrichtung definiert, wenn man sagt, der Schweißstab wird in Schweißrichtung vor dem Brenner geführt.

Dies gilt für alle Positionen allerdings nicht für die Fallnahtschweißung. Beim Auftragsschweißen wird wegen der höheren Abschmelzleistung manchmal auch nach rechts geschweißt.

Der Brenner wird in einem Winkel von etwa  $20^\circ$  zur Senkrechten in Schweißrichtung stechend angestellt, der Schweißstab wird dabei von vorn ziemlich flach unter einem Winkel von etwa  $15^\circ$  zur Werkstückoberfläche zugeführt.

Der Lichtbogen schmilzt zuerst ein Schmelzbad auf. Darin schmilzt der Schweißstab dann unter dem Lichtbogen ab, wobei der Schweißer durch Vor- und Zurückbewegungen des Stabes tupfende Bewegungen ausführt. Dabei darf der



**Bild 19** Positionierung des Brenners und des Zusatzstabes [1]

Stab beim Verbindungsschweißen nicht zu weit unter den Lichtbogen geschoben werden, weil sonst der Einbrand in den Grundwerkstoff vermindert wird. Beim Auftragsschweißen, wo man an einer geringeren Vermischung interessiert ist, macht man sich dies aber auch positiv zu nutze.

Beim Verbindungsschweißen sollte das Stabende am vorderen Rand des Schmelzbades abschmelzen. Dabei muß der Schweißer aber darauf achten, daß er das schmelzflüssige Ende bei den tupfenden Bewegungen nicht aus der Schutzgasglocke heraus bewegt. Eine Oxidation des Stabendes wäre die Folge, und Oxide könnten in das Schmelzbad gelangen.

In der Regel wird ohne oder mit nur geringer Pendelbewegung geschweißt. Hierbei wird die Schutzgasglocke am wenigsten gestört. In der Position PF (senkrecht steigend) muß dagegen eine geringe Pendelbewegung von Brenner und Schweißstab ausgeführt werden. Das Gleiche gilt für Zwischenlagen in einer Breite, die nicht mehr mit einer Strichraupe gefüllt werden können, die aber für zwei Strichraupen zu schmal sind.

## 6.6 Magnetische Blaswirkung

Unter Blaswirkung versteht man eine Erscheinung, bei welcher der Lichtbogen durch Ablenkung aus seiner Mittelachse verlängert wird und dabei ein zischendes Geräusch von sich gibt. Durch diese Ablenkung können Ungänzen entstehen. So kann der Einbrand unzulänglich werden und bei schlackenführenden Schweißprozessen können durch Schlackenvorlauf in der Naht Schlackeneinschlüsse entstehen.

Die Ablenkung erfolgt durch Kräfte, die aus dem umgebenden Magnetfeld herrühren. Wie jeder stromdurchflossene Leiter sind auch Elektrode und Lichtbogen von einem ringförmigen Magnetfeld umgeben. Dieses wird im Bereich des Lichtbogens beim Übergang in den Grundwerkstoff umgelenkt. Dadurch werden die magnetischen Kraftlinien an der

Innenseite verdichtet und an der Außenseite erweitert—(Bild 20a).

Der Lichtbogen weicht in das Gebiet verminderter Flußliniendichte aus. Dabei verlängert er sich und gibt wegen der nun erhöhten Lichtbogenspannung ein zischendes Geräusch von sich. Der Gegenpol übt also eine abstoßende Wirkung auf den Lichtbogen aus.

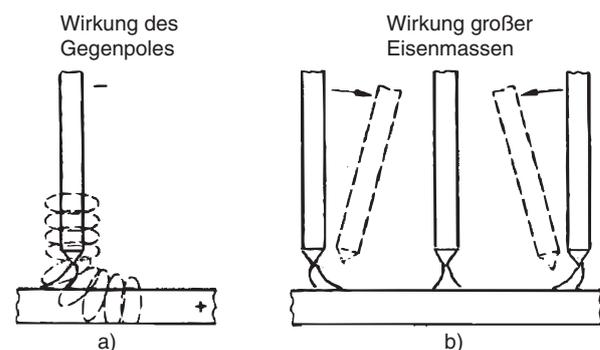
Eine andere magnetische Kraft rührt daher, daß das Magnetfeld sich in einem ferromagnetischen Werkstoff besser ausbreiten kann, als in Luft. Der Lichtbogen wird deshalb von großen Eisenmassen angezogen. Dies zeigt sich z.B. dadurch, daß er beim Schweißen auf einem magnetisierbaren Werkstoff an den Blechen nach Innen abgelenkt wird.

Der Ablenkung des Lichtbogens kann man durch entsprechende Schrägstellung der Elektrode begegnen—(Bild 20b). Da die Blaswirkung beim Schweißen mit Gleichstrom besonders groß ist, kann man sie, wo dies möglich ist, durch das Schweißen an Wechselstrom vermeiden oder zumindest erheblich vermindern.

Besonders stark kann die Blaswirkung wegen der umgebenden Eisenmassen beim Schweißen von Wurzellagen werden. Hier hilft es, wenn man den Magnetfluß durch eng beieinander liegende, nicht zu kurze Heftstellen, unterstützt.

## 6.7 Schweißpositionen

Nach ISO 6947 werden die Schweißpositionen mit PA – PG bezeichnet. Diese sind, wenn man Sie an einem Rohr betrachtet von oben (PA) ausgehend im Uhrzeigersinne alphabetisch angeordnet—Bild 21.

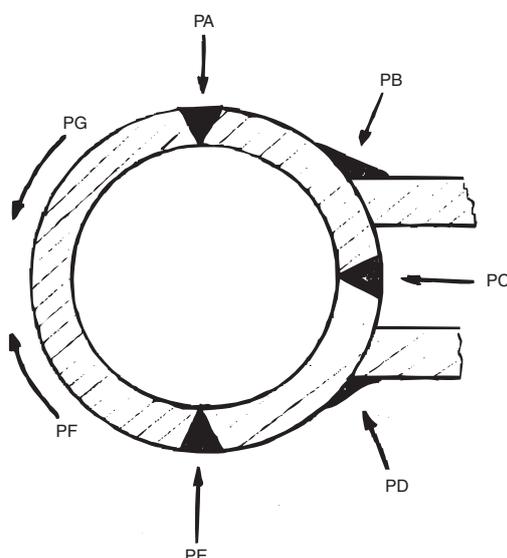


**Bild 20 Magnetische Blaswirkung**

Die Position PA ist das, was früher in Deutschland mit waagrecht oder Wannenlage bezeichnet wurde. Es folgen dann die Stumpfnahthpositionen PC (horizontal an senkrechter Wand) und PE (überkopf), sowie die Kehlnahthpositionen PB (horizontal) und PD (horizontal/überkopf). Beim Schweißen von Blechen bedeutet PF, das senkrecht steigend geschweißt wird, PG ist die Fallnaht. Am Rohr sind aber darunter mehrere Positionen zusammengefaßt. Die Position PF gilt, wenn das Rohr von der Überkopfposition ausgehend ohne Drehen nach beiden Seiten steigend geschweißt wird., bei der Position PG gilt dies sinngemäß für die Schweißung von oben nach unten (Fallnaht). Das WIG-Schweißen ist in allen Positionen möglich. Die Schweißdaten müssen dabei, wie auch bei anderen Schweißverfahren auf die Position abgestimmt werden.

### 6.8 Schweißparameter

Die untere Grenze der Anwendbarkeit des WIG-Verfahrens liegt bei Stahl bei etwa 0,3 mm, bei Aluminium und Kupfer bei 0,5 mm. Nach oben hin sind der Anwendung höchstens wirtschaftliche Grenzen gesetzt. Die Abschmelzleistung des Verfahrens ist nicht sehr groß. Deshalb werden oft nur die Wurzellagen WIG-geschweißt und die übrigen Lagen mit anderen Verfahren (E, MAG), die eine höhere Leistung haben, eingebracht.



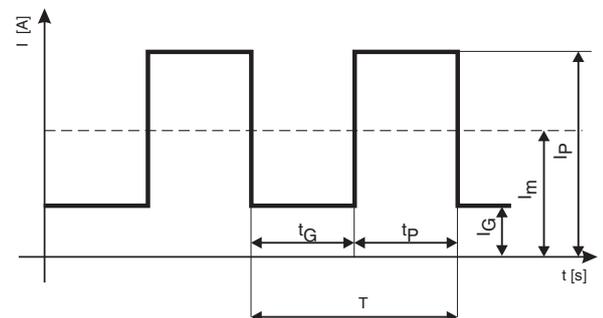
**Bild 21** Schweißpositionen nach ISO 6947

Bei der Wahl der Schweißparameter muß man sich vergegenwärtigen, daß am Schweißgerät nur die Stromstärke eingestellt wird, die Lichtbogenlänge ergibt sich aus der Lichtbogenlänge, die der Schweißer einhält. Dabei gilt, daß die Spannung mit zunehmender Lichtbogenlänge größer wird. Als Anhaltswert für eine zum Durchschweißen ausreichende Stromstärke gilt beim Schweißen von Stahl mit Gleichstrom (-Pol) eine Stromstärke von 45 Ampere pro mm Wanddicke. Beim Wechselstromschweißen von Aluminium werden 40 Ampere/mm benötigt.

Geeignete Schweißdaten für Stumpfnähte an verschiedenen Werkstoffen können Tabelle 4 bis Tabelle 8 entnommen werden.

### 6.9 Schweißen mit Stromimpulsen

Beim Schweißen mit impulsförmigem Strom wechseln Stromstärke und Spannung im Rhythmus der Impulsfrequenz ständig zwischen einem niedrigen Grundwert und dem höheren Impulswert –Bild 22.



**Bild 22** Zeitlicher Verlauf des Schweißstromes beim Impulsschweißen

- $I_G$ : Grundstrom
- $I_M$ : mittlerer Strom
- $I_P$ : Pulsstrom
- $t_G$ : Grundstromzeit
- $t_P$ : Impulsstromzeit
- $T$ : 1 Periode =  $1/f$
- $f$ : Frequenz

Blechdicke [mm]	Fugenform	Lagenzahl	Wolframelektroden-Durchmesser [mm]	Schweißstrom [A]	Schweißgeschwindigkeit [cm/min]
1,0	I	1	1,0	45	32
2,0	I	1	1,6	100	30
3,0	I	1	1,6	125	30
4,0	I	2	2,4	170	25
5,0	I	2	3,2	225	22
6,0	V	2	4,0	300	20

**Tabelle 4 Richtwerte für das WIG-Schweißen von hochlegiertem Stahl**  
Stromart: Gleichstrom (-Pol) – Pos. PA – Schutzgas: Argon [1]

Blechdicke [mm]	Fugenform	Lagenzahl	Wolframelektroden-Durchmesser [mm]	Schweißstrom [A]	Schweißgeschwindigkeit [cm/min]
4,0	I	2	2,0	90	24
6,0	I	2	2,4	110	20
8,0	I	2	2,4	120	18
10,0	DV	2	2,4	120	16
12,0	DV	2	3,2	140	15

**Tabelle 5 Richtwerte für das WIG-Schweißen von Aluminium** Stromart: Wechselstrom – Pos. PF – Schutzgas: Argon [3]

Werkstoff	Blechdicke [mm]	Fugenform	Lagenzahl	Wolframelektroden-Durchmesser [mm]	Schweißstrom [A]	Schweißgeschwindigkeit [cm/min]
Reinnickel	1,0	I	1	1,0	65	13
	1,5	I	1	1,6	90	12
	3,0	I	1	2,4	140	10
	5,0	V	3	2,4	145	12
	10,0	V	8	2,4	150	12
Kupfer	1,5	I	1	1,6	130	28
	3,0	I	1	3,2	200	25
	5,0	I	2	4,0	270	15

**Tabelle 6 Richtwerte für das WIG-Schweißen von Nickel und Kupfer** Stromart:

**Gleichstrom (-Pol) – Pos. PA – Schutzgas: Argon [3], [1]**

Blechdicke [mm]	Fugenform	Lagenzahl	Wolframelektroden-Durchmesser [mm]	Schweißstrom [A]	Schweißgeschwindigkeit [cm/min]
1,0	I	1	1,0	60	32
2,0	I	1	1,6	110	30
3,0	I	1	1,6	140	30
4,0	I	2	2,4	190	25
5,0	I	2	3,2	250	22
6,0	V	2	4,0	350	20

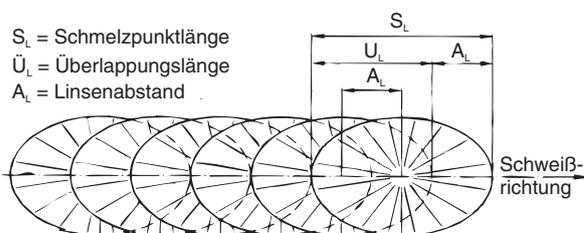
**Tabelle 7 Richtwerte für das WIG-Schweißen von un- und niedriglegiertem Stahl** Stromart: Gleichstrom (-Pol) – Pos. PA – Schutzgas: Argon [1]

Blechdicke [mm]	Fugenform	Lagenzahl	Wolframelektroden-Durchmesser [mm]	Schweißstrom [A]	Schweißgeschwindigkeit [cm/min]
1,0	I	1	1,6	75	26
2,0	I	1	2,0	90	21
3,0	I	1	2,4	125	17
4,0	I	1	3,2	160	15
5,0	V	2	3,2	165	14 bis 17
6,0	V	2	4,0	185	10 bis 15

**Tabelle 8 Richtwerte für das WIG-Schweißen von Aluminium** Stromart: Wechselstrom – Pos. PA – Schutzgas: Argon [3]

Heutige Inverterstromquellen gestatten meist das Einstellen von Impulsfrequenzen zwischen 0,5 und 300 Hz. Sonderstromquellen pulsen auch im kHz-Bereich.

Während in den höheren Frequenzbereichen sich Effekte wie Kornverfeinerung im Schweißgut und Lichtbogeneinschnürung realisieren lassen, wird der untere Frequenzbereich wegen der besseren Schmelzbadbeherrschung in Zwangslagen vor allem in der Position PF gewählt. Dies kommt folgendermaßen zustande (Bild 23):



**Bild 23** Aufbau der Schweißnaht aus einzelnen Schweißpunkten [2]

Unter Einwirkung des hohen Impulsstromes wird der Einbrand in den Grundwerkstoff erzeugt und es bildet sich ein punktförmiges Schmelzbad aus. Dieses beginnt unter Einwirkung des folgenden niedrigeren Grundstromes bereits vom Rand ausgehend zu erstarren, bis der nächste Stromimpuls es wieder aufschmilzt und vergrößert. Inzwischen ist der Lichtbogen aber bereits in Schweißgeschwindigkeit weiter gewandert, sodaß die Schweißnaht beim WIG-Impulsschweißen aus vielen sich überlappenden Schweißpunkten gebildet wird. Die Größe des Schmelzbades ist dabei im Durchschnitt kleiner als beim Schweißen mit gleichförmigem Strom, sodaß es sich in Zwangslagen besser beherrschen läßt. Trotzdem ist ausreichender Einbrand gewährleistet. Der eben geschilderte Effekt tritt aber nur auf, wenn ein ausreichender Temperaturunterschied im Schmelzbad zwischen Grund- und Impulsphase auftritt. Dies ist nur bei Impulsfrequenzen unter etwa 5 Hz gegeben.

Als Nachteil kann genannt werden, daß die Schweißgeschwindigkeit vielfach beim Impulsschweißen verringert werden muß. Auch nimmt der Schweißer das Pulsen im niedrigen Frequenzbereich als störendes Flackern des Lichtbogens wahr. Deshalb wird diese Variante des WIG-Schweißens weniger beim manuellen Schweißen angewandt, wo der Schweißer andere Möglichkeiten hat die Badbeherrschung zu beeinflussen, als vielmehr beim mechanisierten WIG-Schweißen.

## 6.10 Möglichkeiten des Mechanisierens

Das manuelle WIG-Verfahren (Bild 24) läßt sich schon mit einfachen Mittel mechanisieren. Dies wird vor allem interessant, wenn längere Längsnähte an Blechen zu schweißen sind oder häufig Rundnähte an rohrförmigen Körpern vorkommen.

Beim Schweißen von Längsnähten kann der Brenner an ein einfaches Fahrwerk angeflanscht werden, mit dem er über die Schweißfuge fährt. Wenn Ungenauigkeiten in der Fugengeometrie auftreten, empfiehlt sich die Verwendung einer Badsicherung.

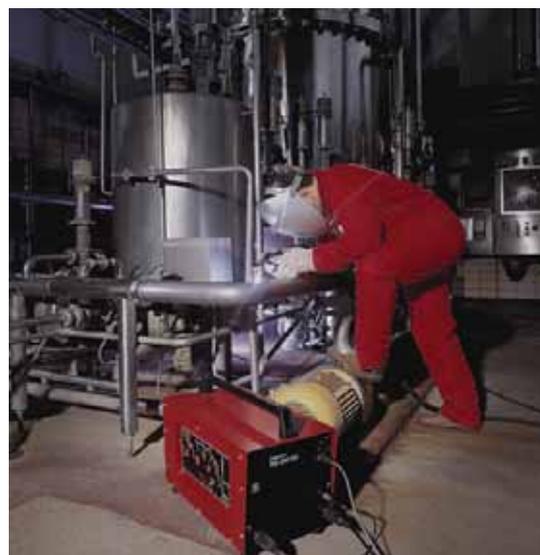
Beim Schweißen von Rundnähten wird der Brenner stationär aufgehängt und das Werkstück bewegt sich in einer Drehvorrichtung unter dem Brenner her.

Bei komplexen Teilen werden auch Schweißroboter zum WIG-Schweißen eingesetzt.

In allen Fällen wird, wo Zusatzwerkstoff erforderlich ist, dieser mechanisiert durch eine Vorschubvorrichtung in Drahtform dem Lichtbogen zugeführt.

## 6.11 Arbeitssicherheit

Das WIG-Schweißen ist ein sehr sauberes Verfahren. Es entstehen kaum schädliche Gase und Rauche, sodaß ein Absaugen direkt am Entstehungsort nach den bestehenden Arbeitsschutzvorschriften



**Bild 24** TIG 230 DC, WIG-Schweißen in der Lebensmittelindustrie

ten nicht vorgeschrieben ist. Es genügt die freie Lüftung oder die technische Lüftung des Raumes. Der Schweißer muß sich aber vor der Strahlung des Lichtbogens und vor elektrischen Gefahren schützen.

Gegen die infrarote und ultraviolette Strahlung trägt der WIG-Schweißer in der Regel einen Kopfschirm, Bild 24, der ihm beide Hände frei hält für die Brennerführung und die Zugabe von Zusatzmaterial. In diesen Schutzschirm ist der Schweißerschutzfilter integriert. Diese Filter sind neuerdings in DIN EN 169 genormt. Es gibt verschiedene Schutzstufen, die auf dem Glas dauerhaft aufgebracht sein müssen. Beim WIG-Schweißen werden je nach angewandter Stromstärke Filter der Schutzstufen 9 bis 14 eingesetzt, wobei die Stufe 9 zu den geringeren Strömen gehört und 14 den höheren Stromstärken zugeordnet ist.

Die höchste elektrische Gefährdung geht von der Leerlaufspannung aus. Dies ist die höchste Spannung, welche an der eingeschalteten Stromquelle zwischen den Anschlußbuchsen anliegt wenn der Lichtbogen nicht brennt. Nach dem Zünden des Lichtbogens ist die Spannung wesentlich geringer, beim WIG-Schweißen nur etwa 12 bis 20 Volt. Nach der UVV VBG 15 dürfen Stromquellen für Gleichstrom im normalen Betrieb einen Scheitelwert der Leerlaufspannung von max. 113 Volt haben. Bei Wechselstromanlagen beträgt dieser Wert ebenfalls 113 Volt, jedoch ist der Effektivwert Wert auf max. 80 Volt begrenzt. Unter erhöhter elektrischer Gefährdung, z.B. beim Schweißen in engen Räumen oder auf großen Eisenmassen, gelten für Wechselstrom herabgesetzte Werte, z.B. ein Scheitelwert von 68 Volt und ein Effektivwert von 48 Volt. Neuere Schweißstromquellen, die diese Forderung erfüllen tragen nach DIN EN 60974-1 das Zeichen "S". Ältere Stromquellen können dagegen noch mit "K" (Gleichstrom) oder "42 V" (Wechselstrom) gekennzeichnet sein. Gegen elektrische Schläge schützt der Schweißer sich am sichersten durch nicht beschädigte Schweißhandschuhe

aus Leder und gut isolierende Arbeitskleidung einschließlich Schuhwerk.

## 7 Besonderheiten verschiedener Werkstoffe

Es wurde schon gesagt, daß das WIG-Verfahren sich für das Schweißen einer großen Palette von Werkstoffen eignet. Einige Werkstoffe werden dabei mit Gleichstrom, andere mit Wechselstrom geschweißt. Tabelle 9 listet auf, welche Werkstoffe sich besser mit Gleichstrom und welche sich besser mit Wechselstrom schweißen lassen.

Im Folgenden werden einige Besonderheiten behandelt, die sich bei den verschiedenen Werkstoffen ergeben.

### 7.1 Un- und niedriglegierte Stähle

Diese Stähle lassen sich mit allen Schmelzschweißverfahren fügen. Bei der Auswahl des Schweißverfahrens sind aber meist weniger Qualitätsgesichtspunkte als vielmehr wirtschaftliche Überlegungen entscheidend. Das WIG-Verfahren ist deshalb wegen seiner ge-

Werkstoff	Gleichstrom		Wechselstrom
	Elektrode -Pol	Elektrode +Pol	
C-Stahl	XX	-	-
Nichtrostender Stahl	XX	-	-
Aluminium und Al-Legierungen	-	X <sup>1)</sup>	XX
Magnesium und Mg-Legierungen	-	X <sup>1)</sup>	XX
Kupfer	XX	-	-
Aluminiumbronze	X	-	XX
Siliziumbronze	XX	-	-
Messing	X	-	XX
Nickel und Ni-Legierungen	XX	-	X
Titan	XX	-	-

**Tabelle 9 Geeignete Stromart für verschiedene Werkstoffe Schutzgas: Reinargon**

<sup>1)</sup> nur für dünne Materialien

**XX** = beste Ergebnisse,

**X** = brauchbar,

- = nicht zu empfehlen

ringen Leistung bei diesen Stählen unterrepräsentiert. Eine Ausnahme macht das Schweißen von Wurzellagen. Bei Wanddicken größer etwa 6mm wird oft nur die Wurzel WIG-geschweißt und die übrigen Lagen werden mit einem leistungsfähigeren Verfahren eingebracht. Eine andere Ausnahme ist das Schweißen von Rohrleitungen mit kleineren Durchmessern. Hierfür gibt es nichts, was sich besser dafür eignen würde als das WIG-Verfahren.

Eine Besonderheit ist, daß es zur Porenbildung kommen kann, z.B. bei unlegierten Rohrstählen (z.B. P235), die wenig Silizium enthalten oder beim Einschweißen solcher Rohre in Kesselböden. Auch bei Tiefziehstählen, die nur mit Aluminium beruhigt sind, können Poren auftreten, wenn mit wenig Zusatzwerkstoff geschweißt wird. Durch Sauerstoffaufnahme aus der Atmosphäre, die auch beim Schutzgasschweißen nicht völlig zu verhindern ist, wird das Schweißgut unberuhigt und es können Poren durch Kohlenmonoxidbildung im Schweißgut auftreten. Die Abhilfe besteht darin, möglichst viel Si / Mn-legierten Zusatzwerkstoff einzubringen, wodurch der Sauerstoff unschädlich abgebunden wird.

## 7.2 Austenitsche CrNi-Stähle

Diese Werkstoffe eignen sich besonders gut zum WIG-Schweißen, weil durch die günstige Viskosität des Schweißgutes feingefiederte, glatte Oberrauten und flache Wurzelunterseiten entstehen.

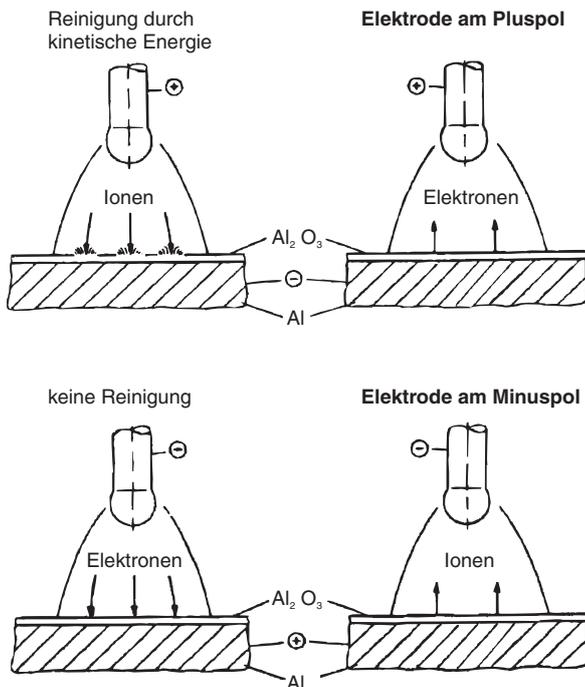
Durch die relativ langsame Schweißgeschwindigkeit des WIG-Verfahrens und die geringe Wärmeleitfähigkeit der CrNi-Stähle kann es bei kleinen Wanddicken aber leicht zu Überhitzungen kommen. Dadurch können Heißrisse auftreten, auch die Korrosionsbeständigkeit kann vermindert werden. Überhitzungen können wenn notwendig durch Einlegen von Abkühlungspausen oder Kühlen der Werkstücke vermieden werden. Dadurch verringert sich auch der Verzug, der gerade bei CrNi-Stählen wegen des höheren Ausdehnungskoeffizienten größer ist als bei unlegiertem Stahl.

Bei Bauteilen, die später einem Korrosionsangriff ausgesetzt sind, müssen die nach dem Schweißen auf der Oberfläche der Naht und auf den Rändern beiderseits im Grundwerkstoff zurückbleibenden Oxidhäute und Anlauffarben durch Bürsten, Strahlen, Schleifen oder Beizen entfernt werden, bevor das Bauteil in Betrieb geht. Unter diesen Häuten kommt es sonst zu einem verstärkten Korrosionsangriff. Dies gilt auch für die Wurzelseite beim Schweißen von Rohren. Da eine mechanische Bearbeitung hier schlecht möglich ist, empfiehlt sich die Vermeidung der Oxidation durch Formieren – siehe auch Kapitel 3.4 Formieren.

## 7.3 Aluminium und Aluminiumlegierungen

Beim Schweißen von Aluminiumwerkstoffen wird, von Ausnahmen abgesehen auf die später noch eingegangen wird, Wechselstrom zum Schweißen verwendet. Dies ist erforderlich um die hochschmelzende Oxidschicht auf dem Bad zu beseitigen. Aluminiumoxid ( $Al_2O_3$ ) hat einen Schmelzpunkt von etwa 2050°C. Der Grundwerkstoff z.B. Reinaluminium schmilzt dagegen schon bei 650°C. Aluminium hat eine so große chemische Verwandtschaft zu Sauerstoff, sodaß sich selbst wenn die Oberfläche des Grundwerkstoffs vor dem Schweißen durch Bürsten oder Schaben oxidfrei gemacht wurde, auf der Badoberfläche schnell wieder solche Häute bilden. Diese schmelzen wegen ihres hohen Schmelzpunktes nur direkt unter dem Lichtbogen teilweise auf. Der größte Teil der Nahtoberfläche wäre beim Schweißen mit Gleichstrom (-Pol) also mit einer festen Schicht von Aluminiumoxid bedeckt. Diese macht die Badbeobachtung unmöglich und erschwert die Zugabe von Zusatzwerkstoff. Zwar könnte diese Oxidschicht durch Verwenden von Flußmitteln, wie beim Löten beseitigt werden, dies würde aber einen zusätzlichen Aufwand bedeuten.

Beim Schweißen mit Wechselstrom bietet sich die Möglichkeit, diese Oxidschicht durch Ladungsträger im Lichtbogen aufzureißen und zu beseitigen. Dafür kom-

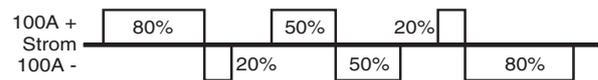


**Bild 25 Erklärung der Reinigungswirkung**

men nur die Ionen infrage, da die Elektronen wegen ihrer geringen Masse nicht genügend kinetische Energie dafür besitzen. Bild 25 zeigt den Ladungsträgerfluß im Lichtbogen.

Wenn der Minuspol an der Elektrode liegt, wandern die Elektronen von der Elektrode zum Werkstück und die Restionen vom Werkstück zur Elektrode. Bei dieser Polung ist eine Reinigungswirkung nicht möglich. Bei umgekehrter Polung treffen dagegen die schwereren Ionen auf die Werkstückoberfläche. Sie können durch ihre kinetische Energie die Oxidschicht aufreißen und beseitigen.

Das Schweißen am heißeren Pluspol hätte aber zur Folge, daß die Strombelastbarkeit der Elektrode nur sehr gering wäre. Diese Variante des WIG-Schweißens ist deshalb nur für das Schweißen sehr dünner Aluminiumstrukturen (bis etwa 2,5 mm Wanddicke) brauchbar. Als Kompromiß bietet sich der Wechselstrom an. Wenn die positive Halbwelle an der Elektrode liegt, tritt die Reinigungswirkung ein. In der danach folgenden negativen Halbwelle kann die Elektrode dann wieder abkühlen. Man spricht deshalb auch von der Reinigungs- und der Kühlhalbwelle. Die Strombelastbarkeit ist beim Schweißen an Wechsel-



**Bild 26 Unterschiedliche Balanceeinstellung bei rechteckförmigen Wechselstrom**

strom geringer als beim Gleichstrom-Minuspol-schweißen. Sie ist aber wesentlich höher als beim Schweißen am Pluspol – siehe auch Tabelle 1. Es hat sich gezeigt, daß für eine ausreichende Reinigungswirkung gar nicht die ganze positive Halbwelle benötigt wird, sondern daß 20 oder 30% davon ausreichen. Dies hat man sich bei modernen WIG-Stromquellen zu Nutze gemacht. Diese erzeugen einen künstlichen rechteckförmigen Wechselstrom, in dem mittels schnell reagierender Schalter (Transistoren) wechselseitig der Plus- und der Minuspol einer Gleichstromquelle auf die Elektrode geschaltet wird. Dabei kann man dann die Balance der beiden Halbwellen zueinander z.B. von 20% Plus / 80% Minus bis 80% Plus / 20% Minus verändern (Bild 26).

Der geringere Anteil des Pluspols führt zu einer höheren Strombelastbarkeit der Elektrode bzw. bei gleicher Stromeinstellung zu einer längeren Standzeit. Bei diesen sogenannten "Square-Wave-Quellen" kann meist auch die Frequenz des künstlichen Wechselstromes noch verändert werden, z.B. zwischen 50 und 300 Hz. Auch mit dem Erhöhen der Frequenz ist eine Schonung der Elektrode verbunden.

Der rechteckförmige künstliche Wechselstromes hat aber noch einen weiteren Vorteil. Da der Stromverlauf beim Wechsel der Polarität sehr steil ist, sind die Totzeiten des Lichtbogens beim Nulldurchgang wesentlich kürzer als bei einem sinusförmigen Verlauf. Das Wiederzünden erfolgt deshalb sicherer, sogar ohne Zündhilfe, und der Lichtbogen ist insgesamt stabiler. Allerdings machen sich die Wiederzündvorgänge als stärkeres Brummgeräusch bemerkbar. Moderne WIG-Stromquellen gestatten das Schweißen mit Gleichstrom, sowie mit si-

nusförmigem und mit rechteckförmigen Wechselstrom, Bild 27.

In neuerer Zeit wird auch eine Variante des WIG-Minuspolschweißens angewendet, bei der hochheliumhaltiges Schutzgas (z.B. 90% He / 10% Ar) verwendet wird. Beim Schweißen am Minuspol läßt sich wie bereits geschildert, die Oxidhaut nicht aufbrechen. Durch die hohe Temperatur des energiereicheren Heliumlichtbogens kann sie aber verflüssigt werden. Damit ist sie nur noch wenig störend. Das WIG-Gleichstrom-Minuspolschweißen unter Helium wird wegen des besseren Einbrandverhaltens vor allem bei Reparaturschweißungen an Gußteilen aus Aluminium-Silizium-Legierungen angewendet.

Eine weitere Besonderheit beim Schweißen des Werkstoffes Aluminium ist seine Porenempfindlichkeit bei der Aufnahme von Wasserstoff. Die Verhältnisse sind wesentlich kritischer als beim Schweißen von Stahl. Während Eisen beim Übergang vom flüssigen in den festen Zustand noch eine Lösungsfähigkeit für Wasserstoff von 8 cm<sup>3</sup>/100 g Schweißgut besitzt, hat Aluminium im festen Zustand praktisch keine Lösungsfähigkeit für Wasserstoff mehr. Das heißt, aller Wasserstoff, der beim Schweißen aufgenommen wurde, muß das Schweißgut verlassen bevor es erstarrt. Anderenfalls entstehen Poren im Schweißgut.

Quellen für Wasserstoff beim WIG-Schweißen von Aluminium sind in erster



**Bild 27** TRITON 220 AC/DC, WIG-Inverter-Schweißgerät

Linie Oxidhäute auf dem Grundwerkstoff. Diese binden Feuchtigkeit und müssen deshalb vor dem Schweißen durch Bürsten oder Schaben entfernt werden. Andererseits ist der Lichtbogen ruhiger, wenn sich eine dünne Oxidhaut auf der Oberfläche befindet, weil diese leichter Elektronen aussendet als das reine Metall. Es muß deshalb ein Kompromiß gefunden werden, zwischen einem stabilen Lichtbogen und einer ausreichenden Porensicherheit. Es hat sich als günstig erwiesen, die Werkstückoberflächen vor dem Schweißen gründlich von Oxiden zu befreien, danach aber mit dem Schweißen noch eine oder zwei Stunden zu warten, damit sich eine dünne Oxidschicht neu bilden kann. Auch die auf der Oberfläche der Schweißstäbe gebildeten Oxidhäute tragen zur Porenbildung bei. Zusatzwerkstoffe aus Aluminium sollten deshalb sorgfältig und nicht zu lange gelagert werden.

#### **7.4 Kupfer und Kupferlegierungen**

Das Schweißen von Kupfer wird vor allem durch seine große Wärmeleitfähigkeit erschwert. Deshalb muß bei größeren Werkstoffdicken zumindest am Schweißnahtbeginn vorgewärmt werden. Später ergibt sich ein Vorwärmeeffekt durch die voranlaufende Schweißwärme, sodaß ein großflächiges Vorwärmen nur bei Wanddicken > 5 mm erforderlich ist. Das WIG-Verfahren bietet die Möglichkeit den Lichtbogen selbst zum Vorwärmen zu benutzen, in dem man am Schweißnahtbeginn durch kreisende Bewegungen mit dem verlängerten Lichtbogen Wärme einbringt.

Reinkupfer und viele Cu-Legierungen werden mit Gleichstrom, Elektrode am Minuspol geschweißt. Nur einige Bronzen wie Messing und Aluminiumbronze lassen sich besser mit Wechselstrom schweißen.

#### **7.5 Sonstige Werkstoffe**

Außer den bereits besprochenen Werkstoffen werden noch in nennenswertem Maße Nickel und Nickellegierungen WIG-geschweißt. Die wichtigsten sind Nickel /

Chrom-Legierungen (z.B. Inconel) und Nickel / Kupfer-Legierungen (z.B. Monel). Ferner werden Titan und Titanlegierungen WIG-geschweißt. Auch für diese Werkstoffe eignet sich am besten Gleichstrom mit negativ gepolter Elektrode. Beim Schweißen von Titan muß aber nicht nur der Schweißnahtbereich selbst durch Schutzgas geschützt werden, sondern auch in weiterer Entfernung von der Schweißstelle und gegebenenfalls auch auf der Rückseite muß durch Schleppbrausen Schutzgas zugegeben werden um Anlauffarben zu vermeiden. Der Werkstoff versprödet sonst durch Aufnahme atmosphärischer Gase.

## 8 Anwendung des WIG-Schweißens

Anwendungsbeispiele für das WIG-Schweißen zeigen Bild 28 bis Bild 32. Mit dem WIG-Verfahren werden vornehmlich dünnwandige Werkstücke gefügt, bei dickeren Materialien wird dagegen meist nur die Wurzel mit diesem Verfahren geschweißt und die Füll- und Decklagen mit anderen, leistungsfähigeren Verfahren eingebracht. Nach einer Statistik, liegt deshalb auf die Gesamtheit aller in Deutschland hergestellten Schweißnähte bezogen, der Anteil dieses Verfahrens nur knapp unter 2%. Diese Zahl fällt allerdings für das WIG-Schweißen deshalb ungünstig aus, weil sie auf dem Zusatzwerkstoffverbrauch basiert. Beim WIG-Schweißen wird aber wie schon ausgeführt, in der Regel wenig Schweißzusatz gebraucht. Der wirkliche Anteil dieses Verfahrens dürfte deshalb höher liegen, obwohl es an die Anwendung des Lichtbogenhandschweißens, das etwa bei 7,5% liegt, nicht annähernd herankommt. Trotzdem ist das WIG-Schweißen ein sehr wichtiges Verfahren. Seine Vorteile wurden schon an anderer Stelle dieser Broschüre beschrieben.

### 8.1 Fertigungszweige

Das WIG-Schweißen wird hauptsächlich im Kessel-, Behälter-, Apparate- und Rohrleitungsbau eingesetzt, aber auch in der Luft- und Raumfahrtindustrie und bei



Bild 28 Anwendung der PICOTIG 160 HF

der Herstellung längsnahtgeschweißter Rohre aus Edelstahl.

Ein weiteres Anwendungsgebiet hat das WIG-Schweißen beim Auftragsschweißen vornehmlich im Werkzeugbau wo mit diesem Verfahren auch sehr feine Konturen, z.B. an Gesenken und Schnittwerkzeugen ausgebessert werden können.

### 8.2 Anwendungsbeispiele

Bild 29 zeigt die Anwendung des manuellen WIG-Schweißens im Apparatebau.



Bild 29 TRITON 160 DC, WIG-Schweißen im Apparatebau



**Bild 30 TRITON 260 DC, WIG-Schweißen an Rohrleitungen**

In ein Gehäuse aus nichtrostendem CrNi-Stahl (W.-Nummer 1.4301) wird ein Flansch eingeschweißt. Die benutzte Schweißanlage TRITON 160 DC liefert dafür Gleichstrom bis zu 160 Ampere bei einer Einschaltdauer von 50%.

Ebenfalls um das Schweißen von CrNi-Stahl in der chemischen Industrie geht es in dem Anwendungsfall in Bild 30

Hier werden Rundnähte an Rohrleitungen aus diesem Werkstoff WIG mit Gleichstrom geschweißt. Es ist die leistungsfähigere Schweißanlage TRITON 260 DC mit einer Nennstromstärke von 260 Am-



**Bild 31 WIG-Schweißen bei der Reparatur von Triebwerksteilen**



**Bild 32 WIG-Schweißen beim Einschweißen von Rohren in Rohrböden**

pere im Einsatz. Das WIG-Verfahren wurde hier vor allem darum ausgewählt, weil eine einwandfreie Wurzeldurchschweißung von außen gefordert war. Bei solchen Schweißarbeiten muß das Rohrinnere formiert werden.

Es wurde schon erwähnt, daß ein bevorzugtes Anwendungsgebiet für das WIG-Schweißen die Luft- und Raumfahrtindustrie ist. Bild 31 zeigt die Anwendung des Verfahrens bei der Reparatur einer Mischkammer für ein Flugzeugtriebwerk.

Der Grundwerkstoff ist hier eine hochwarmfeste und korrosionsbeständige Nickelbasis-Legierung.

In Bild 32 werden Rohre aus hitzebeständigem Stahl in den Rohrboden eines Wärmetauschers eingeschweißt. Es geht hier um die manuelle Anwendung des Verfahrens.

Sehr oft werden aber solche Schweißarbeiten auch mechanisiert. In diesem Fall wird der Brenner mittels eines Spanndorns im Innern des Rohres zentriert. Er läuft in der Regel von einer Position vor PA ausgehend in einer Kreisbahn um das

Rohr herum (Orbitalschweißen). Dabei kann auch Zusatzwerkstoff zugeführt werden. Da nacheinander alle Positionen von waagrecht über fallend und Überkopf bis steigend durchlaufen werden, sind die dafür verwendeten Schweißstromquellen programmierbar, sodaß die Schweißdaten der jeweiligen Schweißposition entsprechend optimal angepaßt werden können. Solche WIG-Orbitalschweißungen kommen auch als Stumpfnähte an Rohren vor. In diesem Falle läuft der Brenner an einer Spannzange um das Rohr.

## 9 Schrifttum

[1] R. Killing: Handbuch der Schweißverfahren, Teil 1: Lichtbogenschweißen Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 76/I, DVS-Verlag GmbH Düsseldorf 1999

[2] R. Killing: Kompendium der Schweißtechnik Band 1: Verfahren der Schweißtechnik Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 128/I, DVS-Verlag GmbH Düsseldorf 1997

[3] G. Aichele: Leistungskennwerte für Schweißen und Schneiden Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 72, DVS-Verlag GmbH Düsseldorf 1994

## 10 Impressum

Die WIG-Fibel, 2. Ausgabe 2002

Aus der Schriftenreihe EWM-Wissen – rund ums Schweißen

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, verboten. Kein Teil dieser Broschüre darf ohne schriftliche Einwilligung von EWM in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© EWM HIGHTEC WELDING GmbH

Dr.-Günter-Henle-Str. 8

D-56271 Mündersbach

Fon: +49(0)2680.181-0

Fax: +49(0)2680.181-244

<mailto:info@ewm.de>

<http://www.ewm.de>

# MIG/MAG-FIBEL





# Inhalt

1	Vorwort.....	2
2	Das Verfahren.....	2
2.1	Allgemeines.....	2
2.2	Stromart.....	3
3	Zusatzwerkstoff und Hilfsstoffe.....	3
3.1	Drahtelektrodensorten.....	3
3.2	Technische Lieferbedingungen für Drahtelektroden und Fülldrahtelektroden.....	4
3.3	Schutzgase.....	5
3.4	Eigenschaften des Schweißgutes.....	7
4	Fugenvorbereitung.....	7
4.1	Fugenformen.....	7
4.2	Anbringen der Fugenflanken.....	7
4.3	Badsicherungen.....	8
4.4	Formieren.....	9
5	Schweißgeräte.....	9
5.1	Schweißstromquellen.....	10
5.2	Drahtvorschubgeräte.....	11
5.3	Schlauchpaket und Brenner.....	13
5.4	Steuerung.....	14
6	Werkstoffübergang beim MIG/MAG-Schweißen.....	15
6.1	Lichtbogenbereiche.....	15
6.2	Kurzlichtbogen.....	15
6.3	Langlichtbogen.....	16
6.4	Sprühlichtbogen.....	17
6.5	Mischlichtbogen.....	17
6.6	Impulslichtbogen.....	17
6.7	Sonderformen des Werkstoffübergangs.....	17
7	Einstellen der Schweißparameter.....	18
7.1	Einstellen bei konventionellen Anlagen.....	18
7.2	Synergetische Einstellung von Schweißparametern.....	19
7.3	Die Regelung des MIG / MAG-Prozesses.....	20
8	Durchführen des Schweißens.....	21
8.1	Zünden des Lichtbogens.....	21
8.2	Brennerführung.....	21
8.3	Beenden des Schweißens.....	22
8.4	Schweißparameter.....	22
8.5	Möglichkeiten des Mechanisierens.....	24
9	Arbeitssicherheit.....	24
10	Besonderheiten verschiedener Werkstoffe.....	25
10.1	Un- und niedriglegierte Stähle.....	25
10.2	Hochlegierte Stähle und Nickelbasislegierungen.....	26
10.3	Aluminium und Aluminiumlegierungen.....	27
10.4	Sonstige Werkstoffe.....	27
11	Anwendung des MIG / MAG-Schweißens.....	28
11.1	Fertigungszweige.....	28
11.2	Anwendungsbeispiele.....	28
12	Schrifttum.....	29
13	Impressum.....	29

## 1 Vorwort

Das MIG/MAG- Schweißen (Bild 1) ist eines der jüngeren Lichtbogenschweißverfahren. Es stammt aus den USA, wo es 1948 zuerst angewendet wurde.



**Bild 1** MAG-Schweißen im Handwerksbetrieb

Kurze Zeit später kam es auch nach Europa. Es wurde zuerst nur mit inerten Gasen oder mit Argon, das nur geringe Mengen an aktiven Bestandteilen (z.B. Sauerstoff) enthielt, angewendet und hieß deshalb abgekürzt S.I.G.M.A.-Schweißen. Dies ist die Abkürzung für "shielded inert gas metal arc". Die Russen verwendeten dann ab 1953 anstelle der teuren Inertgase wie Argon oder Helium ein aktives Gas zum Schweißen, nämlich Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Dies war nur möglich, weil inzwischen auch Drahtelektroden entwickelt wurden, die dem beim Aktivgasschweißen höheren Abbrand von Legierungselementen Rechnung trugen.

Das MIG/MAG-Schweißen erfreut sich heute in fast allen Industriezweigen vom Handwerksbetrieb bis zum industriellen Großbetrieb großer Beliebtheit, weil es schon von Hause aus teilmechanisiert ist und sich mit wenig Aufwand auch vollmechanisch oder automatisch anwenden läßt.

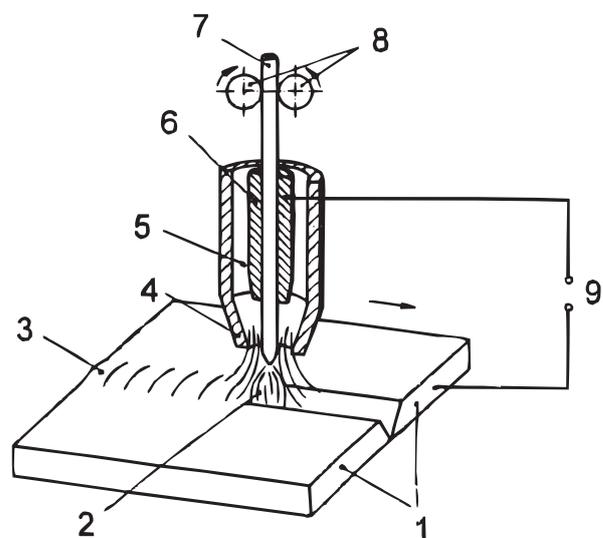
Diese Broschüre klärt über die Besonderheiten des Verfahrens auf und gibt Hinweise für die zweckentsprechende Anwendung.

## 2 Das Verfahren

### 2.1 Allgemeines

Der nach ISO 857-1 für Deutschland neue Oberbegriff für alle Lichtbogenschweißverfahren, bei denen eine Drahtelektrode unter Schutzgas abgeschmolzen wird, ist gasgeschütztes Metall-Lichtbogenschweißen (Prozess-Nr. 13). In Deutschland war der Oberbegriff früher Metall-Schutzgasschweißen. Die ISO-Norm erklärt das Verfahren aus dem Englischen übersetzt wie folgt: Metall-Lichtbogenschweißen unter Benutzung einer Drahtelektrode, wobei der Lichtbogen und das Schweißbad vor der Atmosphäre geschützt werden durch eine Gasumhüllung aus einer externen Quelle. Nach der Art des verwendeten Schutzgases wird dann weiter unterteilt in Metall-Inertgasschweißen (MIG), Prozess-Nr. 131, wenn ein inertes Gas verwendet wird und Metall-Aktivgasschweißen (MAG), Prozess-Nr. 135, wenn ein aktives Gas eingesetzt wird.

Als weitere Varianten werden in ISO 857-1 noch aufgezählt: Fülldrahtschweißen mit aktivem Gas (Prozess-Nr. 136), Fülldrahtschweißen mit inertem Gas (Prozess-Nr. 137), Plasma-MIG-Schweißen (Prozess-Nr. 151) und Elektrogasschweißen (Prozess-Nr. 73).



**Bild 2** Prinzip des gasgeschützten Metall-Lichtbogenschweißens nach ISO 857-1



**Bild 3 Verschweißen von Feinkornbaustählen im Kranbau**

Im Rahmen dieser Fibel wird nur Bezug genommen auf das MIG/MAG-Schweißen. Dieses ist dadurch gekennzeichnet, daß eine von der Spule durch einen Vorschubmotor zugeführte Drahtelektrode kurz vor dem Austritt aus dem Brenner durch die Stromkontaktdüse mit Strom versorgt wird, sodaß der Lichtbogen zwischen Drahtelektrodenende und Werkstück brennen kann. Das Schutzgas strömt aus der Schutzgasdüse aus, welche die Drahtelektrode konzentrisch umgibt (Bild 2).

Dadurch wird das Schweißgut vor dem Zutritt der atmosphärischen Gase Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff geschützt. Das Schutzgas hat neben der Schutzfunktion auch noch andere Aufgaben. Da es die Zusammensetzung der Lichtbogenatmosphäre bestimmt, beeinflusst es auch deren elektrische Leitfähigkeit und damit die Schweißbeigenschaften. Ferner beeinflusst es durch Zu- und Abbrandvorgänge die chemische Zusammensetzung des entstehenden Schweißgutes, hat also auch eine metallurgische Wirkung.

## 2.2 Stromart

Von neueren Ausnahmen abgesehen, wird das MIG/MAG-Schweißen mit Gleichstrom ausgeführt, wobei der Pluspol der Stromquelle an der Elektrode und der Minuspol am Werkstück liegt. Bei einigen Fülldrähten wird auch schon mal mit umgekehrter Polarität geschweißt.

In neuerer Zeit wird für sehr spezielle Anwendungsfälle, z.B. zum MIG-

Schweißen sehr dünner Aluminiumbleche, auch Wechselstrom eingesetzt.

## 3 Zusatzwerkstoff und Hilfsstoffe

### 3.1 Drahtelektrodenarten

Drahtelektroden für das MIG/MAG-Schweißen von unlegierten Stählen und Feinkornbaustählen sind in DIN EN 440 genormt. Die Norm unterscheidet nach der chemischen Zusammensetzung 11 Sorten von Schweißdrähten. Sie enthält aber auch solche Schweißdrahtsorten, die nur in anderen Ländern Europas üblich sind. In Deutschland werden aus der Zusammenstellung in Tabelle 1 für unlegierte Stähle nur die Sorten G2Si1, G3Si1 und G4Si1 in nennenswertem Umfang verwendet. Diese enthalten in der genannten Reihenfolge zunehmende Gehalte an Silizium und Mangan, und zwar im Mittel von 0,65 bis 0,9 % Silizium und von 1,10 bis 1,75 % Mangan. Für Feinkornstähle kommen auch die Sorten G4Mo und G3Ni1 und G3Ni2 zur Anwendung (Bild 3).

Fülldrahtelektroden zum Schweißen dieser Stähle enthält DIN EN 758. Nach der Zusammensetzung der Füllung unterscheidet man hier Rutiltypen, basische Typen und Metallpulver-Typen. Neben den Fülldrähten zum MIG/MAG-Schweißen sind in DIN EN 758 aber auch selbstschützende Fülldrähte genormt, die ohne zusätzlich zugegebenes Schutzgas verschweißt werden. Sie werden häufig zum Auftragsschweißen verwendet (Bild 4).



**Bild 4 Hartauftragung von Förderschnecken**

Kurzzeichen	Chemische Zusammensetzung in % (m/min) <sup>1)</sup> <sup>2)</sup> <sup>3)</sup>							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Al
G0	Jede andere vereinbarte Zusammensetzung							
G2Si1	0,06 bis 0,14	0,5 bis 0,8	0,9 bis 1,3	0,025	0,15	0,15	0,02	0,15
G3Si1		0,7 bis 1,0	1,3 bis 1,6					
G4Si1		0,8 bis 1,2	1,6 bis 1,9					
G3Si2		1,0 bis 1,3	1,3 bis 1,6					
G2Ti	0,04 bis 0,14	0,4 bis 0,8	0,9 bis 1,4				0,05 bis 0,2	0,05 bis 0,25
G3Ni1	0,06 bis 0,14	0,5 bis 0,9	1,0 bis 1,6	0,02	0,8 bis 1,5	0,15	0,02	0,15
G2Ni2		0,4 bis 0,8	0,8 bis 1,4		2,1 bis 2,7			
G2Mo	0,08 bis 0,12	0,3 bis 0,7	0,9 bis 1,3	0,025	0,15	0,4 bis 0,6	0,02	0,15
G4Mo	0,06 bis 0,14	0,5 bis 0,8	1,7 bis 2,1					
G2Al	0,08 bis 0,14	0,3 bis 0,5	0,9 bis 1,3			0,15		

<sup>1)</sup> Falls nicht festgelegt: Cr ≤ 0,15, Cu ≤ 0,35 und V ≤ 0,03. Der Anteil an Kupfer im Stahl plus Umhüllung darf 0,35% nicht überschreiten.

<sup>2)</sup> Einzelwerte in der Tabelle sind Höchstwerte.

<sup>3)</sup> Die Ergebnisse sind auf dieselbe Stelle zu runden, wie die festgelegten Werte unter Anwendung von ISO 31-0, Anhang B, Regel A.

**Tabelle 1 Kurzzeichen für die chemische Zusammensetzung für Drahtelektroden**

Drahtelektroden für das Schweißen warmfester Stähle sind in DIN EN 12070, Fülldrahtelektroden für diese Stähle in DIN EN 12071 genormt. Die Drahtelektroden reichen von der nur molybdänlegierten Variante über die Drähte mit 1, 2,5, 5 und 9 % Chrom bis zur Drahtelektrode mit 12 % Chrom. An weiteren Legierungselementen sind Molybdän, Vanadin und Wolfram vorhanden. Fülldrahtelektroden gibt es bis zu 5 % Chrom.

Drahtelektroden zum Schweißen nicht-rostender und hitzebeständiger Stähle sind in DIN EN 12072 genormt; Fülldrahtelektroden für diese Stähle in DIN EN 12073. Die Normen unterscheiden Zusätze für martensitische / ferritische Chromstähle, austenitische Stähle, ferritische / austenitische Stähle und voll-austenitische hochkorrosionsbeständige Stähle, ferner spezielle Typen und hitzebeständige Typen.

Für Drahtelektroden zum Schweißen von Aluminium und Aluminiumlegierungen gibt es z.Zt. einen Entwurf für eine neue Euronorm (EN ISO 18273).

### 3.2 Technische Lieferbedingungen für Drahtelektroden und Fülldrahtelektroden

Drähte, Stäbe und Drahtelektroden zum Schutzgasschweißen werden durch Kaltziehen hergestellt. Fülldrahtelektroden bei bestimmten Herstellungsverfahren auch durch Kaltwalzen.

Genormte Durchmesser und zulässige Grenzabmaße für Drahtelektroden und Fülldrahtelektroden findet man in DIN EN 759. Die Durchmesser reichen von 0,6 bis 4,0 mm. Bei Massivdrähten zum MIG/MAG-Schweißen sind die gebräuchlichsten Durchmesser aber 0,8, 1,0, 1,2 und 1,6 mm. Die Fülldrähte beginnen meist erst bei 1,0 mm Durchmesser. Dafür werden sie aber auch noch in dickeren Abmessungen wie 2,4 oder 3,2 mm benutzt.

Unlegierte und niedriglegierte Drahtelektroden kommen in der Regel mit verkupferter Oberfläche zum Einsatz. Die Verkupferung verringert den Gleitwiderstand beim Vorschieben und verbessert die Stromkontaktierung. Ein nennenswerter Korrosionsschutz geht von ihr nicht aus, weil sie porös ist. Fülldrahtelektroden können nur verkupfert werden,

wenn sie einen geschlossenen Mantel ohne Spalt besitzen.

Hochlegierte Drähte lassen sich nicht galvanisch oder elektrolytisch verkupfern. Sie werden mit weißblinker Oberfläche geliefert. Auch Schweißdrähte aus Aluminium kommen mit blanker Oberfläche zum Einsatz. Weil sich in die weiche Oberfläche des Aluminiums Ziehmittel eindrücken können, die später beim Schweißen zur Porenbildung führen, wird bei Qualitätsdrähten vor dem Fertigziehen ein Schälzug durchgeführt.

Drahtförmige Schweißzusätze zum Schutzgasschweißen werden auf Haspel,- Dorn- oder Korbspulen geliefert. Daneben gibt es aber auch Großgebilde wie Faßspulen.

### 3.3 Schutzgase

Schutzgase zum MIG/MAG-Schweißen findet man in DIN EN 439. In dieser Norm sind alle Schutzgase zum Lichtbogenschweißen und -schneiden genormt. Die Schutzgase werden in 7 Gruppen und in weitere Untergruppen unterteilt (Tabelle 2).

Die Gruppe R enthält Argon / Wasserstoff-Gemische, die eine reduzierende Wirkung haben. Die Gase der Gruppe R1 finden neben Argon und Helium Anwendung zum WIG-Schweißen und zum Plasmaschweißen, die Gase der Untergruppe 2 mit höherem Wasserstoffgehalt (H) dagegen zum Plasmaschneiden und zum Wurzelschutz (Formiergase).

In der Gruppe I sind die inerten Gase zusammengefaßt. Hier findet man Argon (Ar) und Helium (He) sowie Ar-

Kurzbezeichnung <sup>1)</sup>		Komponenten in Volumenprozent						Übliche Anwendung	Bemerkungen
Gruppe	Kennzahl	oxidierend		inert		reduzierend	reaktions-träge		
		CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Ar	He	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>		
R	1			Rest <sup>2)</sup>		> 0 bis 15		WIG, Plasmaschweißen, Plasmaschneiden, Wurzelschutz	
	2					> 15 bis 35			
I	1			100				MIG, WIG, Plasmaschweißen, Wurzelschutz	
	2				100				
	3			Rest	> 0 bis 95				
M1	1	> 0 bis 5		Rest <sup>2)</sup>		> 0 bis 5		MAG	
	2								
	3								
	4	> 0 bis 5	> 0 bis 3						
M2	1	> 5 bis 25		Rest <sup>2)</sup>				MAG	
	2		> 3 bis 10						
	3	> 0 bis 5							
	4	> 5 bis 25	> 0 bis 8						
M3	1	> 25 bis 50		Rest <sup>2)</sup>				MAG	
	2		> 10 bis 15						
	3	> 5 bis 50	> 8 bis 15						
C	1	100		Rest <sup>2)</sup>				stark oxidierend	
	2	Rest	> 0 bis 30						
F	1			Rest <sup>2)</sup>			100	Plasmaschneiden, Wurzelschutz	
	2					> 0 bis 50	Rest		reduzierend

<sup>1)</sup> Wenn Komponenten zugemischt werden die nicht in der Tabelle aufgeführt sind, so wird das Mischgas als Spezialgas und mit dem Buchstaben S bezeichnet. Einzelheiten zur Bezeichnung S enthält Abschnitt 4.

<sup>2)</sup> Argon kann bis zu 95% durch Helium ersetzt werden. Der Helium-Anteil wird mit einer zusätzlichen Kennzahl nach Tabelle 5 angegeben, siehe Abschnitt 4.

**Tabelle 2 Einteilung der Schutzgase für Lichtbogenschweißen und -schneiden (EN 439: 1994)**

gon/Helium-Gemische. Sie werden zum WIG-, MIG-, und Plasmaschweißen eingesetzt, sowie auch zum Wurzelschutz.

In der großen M-Gruppe, die noch in M1, M2 und M3 unterteilt ist, sind die Mischgase zum MAG-Schweißen zusammengefaßt. Auch hier gibt es in jeder Gruppe noch 3 bzw. 4 Untergruppen. Die Gase sind von M1.1 bis M3.3 nach Ihrem Oxidationsverhalten geordnet, d.h. M1.1 verhält sich schwach oxidierend, M3.3 ist am stärksten oxidierend. Hauptbestandteil dieser Gase ist Argon, an aktiven Komponenten sind Sauerstoff (O) oder Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) bzw. Sauerstoff und Kohlendioxid (Dreikomponenten-Gase) zugemischt.

In der Reihe der Gase zum MAG-Schweißen folgt in der Gruppe C das reine Kohlendioxid und ein Kohlendioxid / Sauerstoffgemisch. Letzteres hat allerdings in Deutschland keine Bedeutung. Die Gase der Gruppe C sind am stärksten oxidierend, weil das CO<sub>2</sub> bei der hohen Temperatur des Lichtbogens zerfällt, wobei neben Kohlenmonoxid auch große Mengen Sauerstoff entstehen.

In der Gruppe F findet man schließlich Stickstoff (N) und ein Stickstoff / Wasserstoff-Gemisch. Beide Gase können zum Plasmaschneiden und zum Formieren verwendet werden.

Neben dem Oxidationsverhalten verändern sich mit der Zusammensetzung des Gases auch die elektrischen und die physikalischen Eigenschaften im Lichtbogen-

raum und damit die Schweißeigenschaften. Durch den Zusatz von Helium zum Argon verbessert sich z.B. die Wärmeleitfähigkeit und der Wärmeinhalt der Lichtbogenatmosphäre. Beides führt zu einem energiereicheren Lichtbogen und damit zu einem besseren Einbrandverhalten. Das Zumischen von aktiven Komponenten bei den Mischgasen führt u.a. zu einer feineren Tropfenbildung beim Abschmelzen der Drahtelektrode. Ferner wird der Wärmetransport im Lichtbogen verbessert. Auch hieraus resultiert ein besseres Einbrandverhalten.

Die benötigte Durchflußmenge des Schutzgases läßt sich mit einer Faustregel errechnen, und zwar soll sie 10 - 12 x Drahtdurchmesser in Liter/Minute sein. Beim MIG-Schweißen von Aluminium werden, wegen der großen Oxidationsneigung des Werkstoffs, etwas darüber hinausgehende Durchflußmengen eingestellt, bei Ar / He- Mischgasen, wegen der geringen Dichte von Helium, auch wesentlich höhere. Das aus der Flasche oder der Ringleitung kommende Gas wird zunächst im Druck reduziert. Die eingestellte Durchflußmenge kann an einem Manometer, das zusammen mit einer Staudüse geeicht ist, abgelesen werden, oder an einem Durchflußmengenmesser mit Schwebekörper.

Auf den Einfluß der Schutzgase auf den Schweißprozeß wird später bei der Beschreibung der verschiedenen Lichtbogenarten noch näher eingegangen.

Kennziffer für die Festigkeits- und Dehnungseigenschaften des Schweißgutes

Kennziffer	Mindeststreckgrenze <sup>1)</sup> N/mm <sup>2</sup>	Zugfestigkeit N/mm <sup>2</sup>	Mindestbruchdehnung <sup>2)</sup> %
35	355	440 bis 570	22
38	380	470 bis 600	20
42	420	500 bis 640	20
46	460	530 bis 680	20
50	500	560 bis 720	18

Kennzeichen für die Kerbschlagarbeit des Schweißgutes

Kennzeichen	Temperatur für Mindestkerbschlagarbeit 47 J °C
Z	keine Anforderungen
A	+20
0	0
2	-20
3	-30
4	-40
5	-50
6	-60

**EN 440 – G 46 3 M G3Si1**

**Tabelle 3 Bezeichnungsbeispiel für eine Draht / Schutzgas-Kombination nach DIN EN 440**

### 3.4 Eigenschaften des Schweißgutes

Bei Schweißzusätzen für unlegierte Stähle und für Feinkornbaustähle geht es bei der Auswahl einer Draht / Schutzgas-Kombination in erster Linie darum, die Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften des Grundwerkstoffs auch im Schweißgut zu erreichen. Dazu bietet DIN EN 440 Hilfen an. Ähnlich wie bei Stabelektroden gibt es ein Bezeichnungssystem, aus dem Angaben über die Mindestwerte von Streckgrenze und Bruchdehnung, sowie die Festigkeit und die Kerbschlagarbeit des Schweißgutes entnommen werden können. Das Bezeichnungssystem wird in Tabelle 3 veranschaulicht.

Im gewählten Beispiel wird eine Drahtelektrode G3Si1 unter Mischgas (M) verschweißt. Das Schweißgut dieser Draht / Schutzgas-Kombination hat eine Mindeststreckgrenze von 460 N / mm<sup>2</sup>, eine Zugfestigkeit von 530 bis 680 N / mm<sup>2</sup> und eine Mindestdehnung von 20 % (46). Eine Kerbschlagarbeit von 47 Joule wird bis zu einer Temperatur von -30 °C erreicht (3). Ein ähnliches System gibt es auch zur Charakterisierung des Schweißgutes von Fülldrahtelektroden in DIN EN 758.

Bei den warmfesten Stählen, den korrosions- und hitzebeständigen Stählen und bei Aluminiumwerkstoffen gilt als Regel, daß das Schweißgut zum Erreichen der erforderlichen Werkstoffeigenschaften möglichst artgleich dem zu schweißenden Grundwerkstoff oder etwas höher legiert sein soll. Für Drahtelektroden und Fülldrahtelektroden zum Schweißen warmfester und korrosions- bzw. hitzebeständiger Stähle findet man aber auch Angaben über die Mindestwerte von Streckgrenze, Zugfestigkeit, Dehnung und Kerbschlagarbeit des Schweißgutes in tabellarischer Form in den entsprechenden Normen. Diese Werte sind aber nicht Bestandteil des Bezeichnungssystems.

Eine Drahtelektrode zum MAG-Schweißen des warmfesten Stahles 13 CrMo 4.5 hat nach DIN EN 12070 die Bezeichnung:

EN 12070 - G CrMo1Si

Eine Drahtelektrode zum MAG-Schweißen des korrosionsbeständigen CrNi-Stahles mit der Werkstoffnummer 1.4302 hat nach DIN EN 12072 folgende Bezeichnung:

EN 12072 - G 19 9 L

Die Bezeichnung einer Drahtelektrode zum MIG-Schweißen des Werkstoffes AlMg 5 lautet:

EN 18273 - G RAlMg5Mn

## 4 Fugenvorbereitung

### 4.1 Fugenformen

Bild 5 zeigt die wichtigsten Fugenformen, die beim MAG-Schweißen von Stahl zur Anwendung kommen.

Wegen des guten Einbrandverhaltens des Prozesses können bei Nähten mit Stegen (I-, Y,- DY- Nähten) größere Blechdicken ohne Ausfugen durchgeschweißt werden als beim Lichtbogenhandschweißen. Bei größeren Materialdicken empfiehlt sich aber zur Fehlervermeidung ein Ausfugen von der Rückseite. Die Steghöhe richtet sich nach der anwendbaren Stromstärke.

Bei Aluminiumwerkstoffen werden bei größeren Dicken wegen der höheren Wärmeableitung größere Öffnungswinkel (70 - 90 °) empfohlen.

### 4.2 Anbringen der Fugenflanken

Das Anschrägen der Fügekanten erfolgt bei un- und niedriglegierten Stählen in der Regel durch autogenes Brennschneiden. Hochlegierte Stähle und die Metalle, die MIG / MAG- geschweißt werden (z.B. Aluminium) können mit dem Plasmalichtbogen schmelzgeschnitten werden. Ein Entfernen der beim thermischen Trennen entstehenden Oxidhäute ist nicht unbedingt erforderlich, kann aber in Sonderfällen notwendig werden. Auf die Besonderheiten des Werkstoffs Aluminium in dieser Hinsicht wird an anderer Stelle noch näher eingegangen.

Wenn besondere Anforderungen hinsichtlich der Einhaltung geringer Toleranzen gestellt werden, kann auch ein mechanisches Anarbeiten der Fugenflanken emp-

Stoßart	Werkstückdicke (mm)	Skizze
I-Naht	einseitig 3-8 beidseitig <8	
V-Naht	einseitig 3-10 mit Gegenlage 3-40	
Y-Naht	einseitig 5-40 mit Gegenlage >10	
X-Naht	beidseitig > 10	
U-Naht	einseitig > 12 mit Gegenlage >12	
V-Naht	einseitig 3-10 mit Gegenlage 3-30	
Kehlnaht-T- Stoß	einseitig >2	
Kehlnaht- Eckstoß	einseitig >2 beidseitig > 3	
Kehlnaht- Überlappstoß	einseitig >2	
Kehlnaht- Doppelkehl- naht	beidseitig > 2	

**Bild 5 Fugenformen nach DIN EN 29692 – ISO 9692**

fohlen werden. Dies gilt besonders für Rundnähte. Die modernen Möglichkeiten des Schneidens mit dem Elektronenstrahl oder dem Laserstrahl kommen bei der mechanisierten Fertigung vor.

### 4.3 Badsicherungen

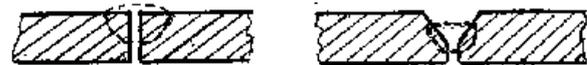
Während beim manuellen Schweißen der Schweißer den Schweißverlauf beobachtet und durch Einstellung der richtigen Stromstärke, die Stellung des Lichtbogens in der Fuge und die Schweißgeschwindigkeit auch bei ungleichem Wurzelspalt eine gleichmäßige Wurzel-

raupe erreichen kann, muß beim vollmechanisierten Schweißen von der gewählten Schweißfuge, dem eingestellten Wurzelspalt über die richtigen Schweißparameter und die abgeschmolzene Menge des Zusatzdrahtes alles stimmen. Zur Erleichterung des Wurzelschweißens werden deshalb beim maschinellen Schweißen oft Badsicherungen verwendet (Bild 6).

Wenn der Wurzelspalt nicht zu sehr variiert, können als natürliche Badsicherung auch Wurzelstege dienen, z.B. bei I- oder Y-Fugen (interne Badsicherungen). Abhängig von der Steghöhe müssen die Schweißparameter beim Schweißen der ersten Lage so gewählt werden, daß der Steg nicht vollständig aufgeschmolzen wird. Der verbleibende Rest des Steges kann dann beim Schweißen der Gegenlage, mit oder ohne Ausfugen, noch erfaßt werden.

Künstliche (externe) Badsicherungen bestehen z.B. aus Metall, bei den meisten Metallen und Legierungen aus Kupfer, bei Aluminium, das einen niedrigen Schmelzpunkt hat, auch aus nichtrostendem Stahl. Auch Keramikunterlagen kommen beim Schweißen als Badsicherung zum Einsatz. Die Unterlage soll das spontane Durchfallen des Schweißgutes z.B. an Stellen, wo der Spalt etwas breiter ist oder wo kein Steg vorhanden ist, verhindern, sodaß das schmelzflüssige Metall aufgefangen wird und eine Wurzelraupe gebildet werden kann. Die Badsicherung formt auch die Unterseite der Wurzellage. Zu diesem Zweck ist sie deshalb meist mit einer Nut versehen.

Interne Badsicherung Steg



I-Stoß

Y-Stoß

Externe Badsicherung



V-Naht auf Cu-Schiene

**Bild 6 Badsicherungen beim maschinellen Schweißen**



**Bild 7 Gasgekühltes Kompaktgerät SATURN 301**

#### 4.4 Formieren

Hierunter versteht man die zusätzliche Zugabe von Schutzgas an die Wurzelrückseite, wo der zu schweißende Werkstoff auch im flüssigen Zustand vorliegt, aber nicht vom Schutzgas, das auf der Oberseite zugeführt wird, erreicht wird. Im Gegensatz zum WIG-Schweißen, wo wegen der relativ geringen Schweißgeschwindigkeit die Wurzelrückseite durch Oxidation oft ein "verbranntes" Aussehen annimmt, was durch das Formiergas verhindert werden soll, ist dies beim MIG/MAG-Schweißen aus diesem Grunde nicht unbedingt erforderlich.

Durch das Formieren wird aber auch die Bildung von Oxidhäuten und Anlauffarben auf der Wurzelrückseite verhindert oder zumindest vermindert. Dies ist z.B. beim Schweißen von korrosionsbeständigen Stählen wichtig, weil solche Oxidhäute die Korrosionsbeständigkeit der Schweißverbindung herabsetzen. Sie müssen deshalb nach dem Schweißen durch Bürsten, Strahlen oder Beizen entfernt werden. Da macht es Sinn, solche Häute durch Formieren gar nicht erst entstehen zu lassen.

Beim Schweißen von Rohren können dazu die Enden einfach versperrt und das Formiergas in das Innere eingeleitet werden. Beim Schweißen von Blechen läßt man es aus Öffnungen der Badsicherungsschiene ausströmen. Als Formier-

gas kann Argon oder ein Argon / Wasserstoff-Gemisch verwendet werden. Vielfach können aber auch die preiswerten Formiergase der Gruppe F in DIN EN 439 eingesetzt werden. Diese bestehen z.B. aus einem Wasserstoff/Stickstoff-Gemisch. Auch reiner Stickstoff kann unter bestimmten Umständen zum Formieren verwendet werden.

## 5 Schweißgeräte

Geräte zum MIG/MAG-Schweißen bestehen aus der Stromquelle, der Steuerung und dem Drahtvorschubgerät mit Schlauchpaket und Brenner. Für verschiedene Anwendungsfälle können diese als Kompaktgeräte oder als Universalgeräte zum Einsatz kommen.

Beim Kompaktgerät (Bild 7) sind Stromquelle, Steuerung und Drahtvorschubgerät in einem Gehäuse untergebracht.

Der Operationsradius entspricht der Länge des Brenner-Schlauchpaketes. Dies sind je nach zu verwendendem Drahtelektrorendurchmesser 3 - 5 m. Dementsprechend werden Kompaktgeräte hauptsächlich an festen Arbeitsplätzen, z.B. in Schweißkabinen oder an Fertigungsbändern eingesetzt. Beim Universalgerät (Bild 8), auch dekompakt genannt, ist der Drahtvorschub separat in



**Bild 8 Wassergekühltes Universalgerät WEGA 401**

einem Koffer untergebracht und mittels Zwischenleitung mit der Stromquelle und der Steuerung verbunden.

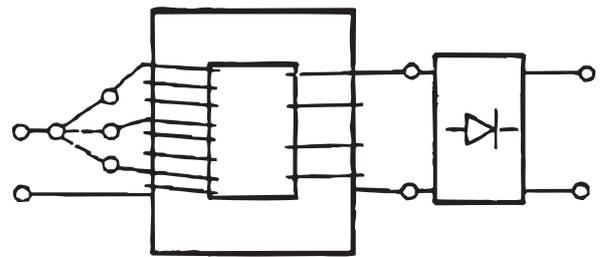
Er kann ans Werkstück mitgenommen werden, wodurch sich der Operationsradius um 10 bis 20 m gegenüber dem Kompaktgerät vergrößert. Universalgeräte werden deshalb meist an wechselnden Arbeitsplätzen und auf Baustellen eingesetzt.

### 5.1 Schweißstromquellen

Die Schweißstromquelle hat die Aufgabe, den Schweißprozeß mit der benötigten elektrischen Energie zu versorgen. Dazu gehört, daß die hohe Spannung des Netzes herabgesetzt und die benötigte hohe Stromstärke auch beim Kurzschluß zur Verfügung gestellt wird. Da beim MIG/MAG-Schweißen, von neuerlichen Ausnahmen abgesehen, nur Gleichstrom verwendet wird, kommen als Stromquellen nur Gleichrichter und Inverter zur Anwendung. Stromquellen zum MIG/MAG-Schweißen haben eine waagerechte oder leicht fallende statische Kennlinie (Konstantspannungscharakteristik). Dies ist notwendig, damit eine innere Regelung des Prozesses möglich wird. Hierauf wird



**Bild 9** Inverter-Multiprozeßgerät PHOENIX

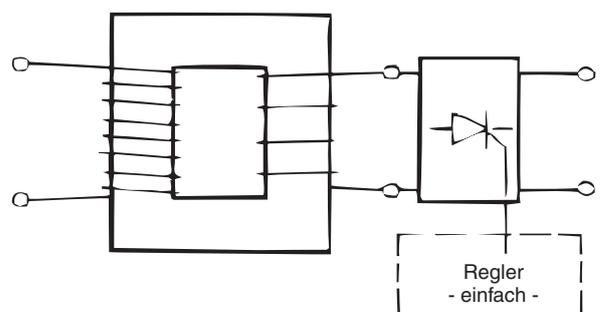


**Bild 10** Prinzip einer Stufenschaltermaschine

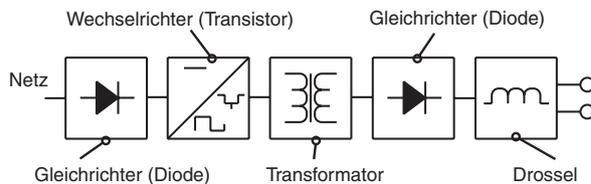
später noch eingegangen. Bei Geräten, die als Multiprozessanlagen eingesetzt werden sollen, ist die Kennlinie auch von senkrecht fallend bis waagrecht verstellbar.

Der Schweißgleichrichter besteht aus dem Transformator und nachgeschalteten Gleichrichtersätzen. Während der Transformator die hohe Spannung und niedrige Stromstärke des Versorgungsnetzes in Schweißstrom mit niedriger Spannung und hoher Stromstärke umwandelt, richten die Gleichrichtersätze den aus dem Trafo kommenden Wechselstrom gleich. Um den besonderen Anforderungen unterschiedlicher Schweißaufgaben gerecht werden zu können, müssen die Stromquellen einstellbar sein. Bei einfachen Geräten zum MIG / MAG-Schweißen geschieht dies durch primärseitige Windungsanzapfung mittels Stufenschalter. Bild 10 zeigt das Prinzip einer Stufenschaltermaschine.

Durch Abgreifen von mehr oder weniger Windungen der Primärspule wird das Übersetzungsverhältnis des Trafos verändert und damit die Spannung auf der Sekundärseite. Bei etwas aufwendigeren Stromquellen erfolgt das Stellen des



**Bild 11** Prinzip einer thyristorgesteuerten Stromquelle



**Bild 12 Blockschaubild eines Inverters der 3. Generation**

Stromes im Gleichrichterteil mittels steuerbarer Gleichrichter (Thyristoren). Das Schema einer solchen Anlage zeigt Bild 11.

Durch entsprechendes Ansteuern der Thyristoren werden mehr oder weniger große Teile der Wechselstromhalbwellen durchgelassen, wodurch sich die Schweißspannung verändert.

Anspruchsvollere MIG / MAG-Geräte sind mit Invertern als Stromquellen ausgestattet. Der Inverter ist eine elektronische Stromquelle. Nachdem eine Zeitlang analoge, sekundärgetaktete und primärgetaktete elektronische Stromquellen verwendet wurden, hat sich die Entwicklung jetzt auf die primärgetakteten konzentriert. Diese arbeiten nach einem völlig anderen Wirkprinzip als die konventionellen Stromquellen (Bild 12).

Der aus dem Netz kommende Strom wird zunächst gleichgerichtet und danach, damit er transformierbar wird, durch Ein- und Ausschalten in kurze Abschnitte zerteilt. Diesen Vorgang nennt man Takten. Er wird ermöglicht durch schnell reagierende elektronische Schalter, die Transistoren. Die ersten transistorisierten Inverter arbeiteten mit einer Taktfrequenz von etwa 25 kHz. Heute sind mit weiterentwickelten Transistoren Taktfrequenzen von 100 kHz und mehr möglich.

Nach dem "Zerhacken" (Takten) des Stromes wird dieser auf die erforderliche hohe Stromstärke und niedrige Spannung transformiert. Hinter dem Trafo entsteht dann ein rechteckförmiger Wechselstrom, der anschließend noch einmal gleichgerichtet wird. Die hohe Taktfrequenz hat den Vorteil, daß die erforderliche Masse des Trafos sehr klein gehalten werden kann. Sie ist nämlich von der Frequenz des zu transformierenden Stromes ab-

hängig. Dadurch ist es möglich Leichtgewichtsstromquellen herzustellen.

Bei den elektronischen Stromquellen wird vieles, was bei konventionellen Stromquellen mit Komponenten wie Widerständen, Drosseln und Kondensatoren erreicht wird, durch die Steuerung elektronisch gelöst. Die Steuerung dieser Stromquellen ist deshalb ebenso wichtig wie das Leistungsteil. Das Stellen des Stromes geschieht z.B. bei getakteten Quellen durch Verändern des Verhältnisses zwischen den Stromein-/Stromauszeiten. Auch die Veränderung der Taktfrequenz kann zum Verstellen der Stromhöhe benutzt werden. Um impulsförmigen Strom zu erzeugen, wird das Verhältnis der Ein-/Auszeiten durch die Steuerung zyklisch verändert. Auf ähnliche Weise kann der Strom auch am Beginn und zum Ende des Schweißens hin hoch- bzw. runtergefahren werden.

Durch die neue Technik wurde aber auch die geregelte Stromquelle möglich, welche die Schweißtechnik schon lange gefordert hatte. Ein Kontrollgerät mißt Schweißstrom und Schweißspannung und vergleicht mit den eingestellten Werten. Ändern sich die eingestellten Schweißparameter z.B. durch unerwünschte Widerstände im Schweißstromkreis, dann regelt die Steuerung entsprechend nach. Dies erfolgt sehr schnell im  $\mu\text{s}$ -Bereich. Auf ähnliche Weise kann auch der Kurzschlußstrom begrenzt und der  $\cos\phi$  verbessert werden. Ein verbesserter Wirkungsgrad und geringere Leerlaufverluste der Inverterstromquellen ergeben sich schon aus der geringeren Masse des Trafos.

## 5.2 Drahtvorschubgeräte

Im Drahtvorschubgerät wird die Drahtelektrode durch Vorschubrollen in der Geschwindigkeit ihres Abschmelzens auf den Prozeß zubewegt. Sie wird dabei von der Spule abgezogen und in das Schlauchpaket geschoben, an dessen Ende sich der Schweißbrenner befindet. Zu diesem Zwecke gibt es vor den Vorschubrollen eine Führungsdüse, die den Draht in eine definierte Richtung bringt



**Bild 13** Blick in ein Drahtvorschubgerät mit 4-Rollenantrieb

und hinter den Rollen, am Beginn des Schlauchpaketes, die Drahteinlaufdüse. Anlagen zum vollmechanischen Schweißen verfügen oft auch noch über ein zwischengeschaltetes Richtwerk, das die vom Aufspulen herrührende Vorbiegung des Drahtes beseitigt.

Die Vorschubrollen werden durch einen Gleichstrommotor angetrieben, der sich stufenlos in der Umdrehungsgeschwindigkeit verstellen läßt. Bei modernen Geräten, die einen geregelten



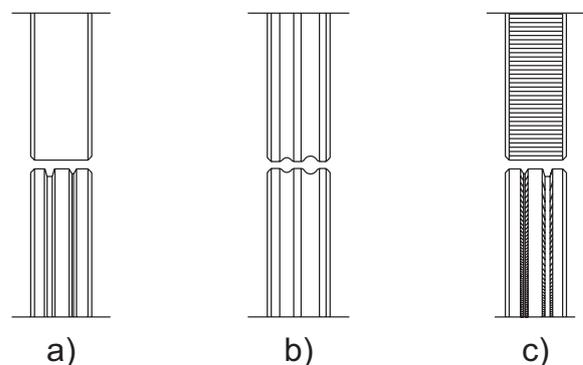
**Bild 14** 4-Rollen-Antrieb

Schweißprozeß gestatten, wird die Drahtvorschubgeschwindigkeit durch einen Tachometer gemessen und belastungsunabhängig geregelt. Beim MIG/MAG-Schweißen sind in der Regel Drahtvorschubgeschwindigkeiten zwischen 2 und 20 m / min üblich, bei Hochleistungsvarianten auch mehr. Die Motoren sind deshalb über ein Getriebe mit der Antriebsrolle verbunden.

Das Drahtvorschubgerät soll die Oberfläche der Drahtelektrode schonend behandeln. Die Drahtvorschubrollen müssen deshalb einen ausreichend großen Durchmesser besitzen, damit die spezifische Flächenpressung der Drahtoberfläche nicht zu groß wird. Gegenüber einem 2-Rollen-Antrieb kann bei 4-Rollen-Antrieben der Draht mit geringerem Anpreßdruck und trotzdem schlupffrei gefördert werden. Der Anpreßdruck zwischen den Rollen kann weiter verringert werden, wenn mehrere Rollen angetrieben werden. Bei 4-Rollen-Antrieben werden vielfach alle Rollen miteinander verzahnt und gemeinsam von einem Motor angetrieben.

Bild 13 gestattet einen Blick in ein Drahtvorschubgerät mit 4-Rollen-Antrieb. Bild 14 zeigt Details des Antriebs.

Meist hat nur eine Rolle des Vorschubrollenpaares eine trapezförmige Nut, während die Gegendruckrolle glatt ist (Bild 15).



**Bild 15** Verschiedene Antriebsrollen  
a) Stahl  
b) Aluminium  
c) Fülldraht

Dabei ergibt sich eine 3-Punkt-Auflage der Drahtoberfläche zwischen den Rollen, die oberflächenschonend ist. Bei Fülldrahtelektroden und weichen Drahtelektroden haben beide Rollen manchmal auch eine halbkreisförmige Nut. Eine schonende Behandlung der Drahtoberfläche ist deshalb wichtig, weil Drahtabrieb mit ins Schlauchpaket gefördert wird, und dieses nach kurzer Zeit verstopfen kann. Verstärkter Metallabrieb entsteht auch, wenn die Vorschubrollen verschlissen sind. Ihr Zustand muß deshalb regelmäßig kontrolliert werden.

### 5.3 Schlauchpaket und Brenner

Das Schlauchpaket enthält alle notwendigen Versorgungsleitungen, also die Stromleitung, die Schutzgasleitung, den Drahtzuführungsschlauch, die Steuerleitung und bei Geräten, die für höhere Stromstärken ausgelegt sind, auch die Kühlwasserzu- und -rückführung.

Bei wassergekühlten Geräten liegt die Stromleitung in der Wasserrückführung. Der Querschnitt der Leitung kann somit geringer gehalten werden als ohne Kühlung und das Schlauchpaket ist flexibler. Der Drahtführungsschlauch besteht beim Schweißen von un- und niedriglegiertem Stahl aus einer Stahlspirale. Bei Verwendung von Drahtelektroden aus Chrom-Nickel-Stahl sowie aus Aluminium und anderen Metallen, wird dafür ein Schlauch aus verschleißfestem Kunststoff (z.B. Teflon) verwendet. Kunststoffführungen haben einen günstigeren Reibungskoeffizienten als Stahl. Die Steuerleitung ermöglicht es, Steuersignale vom Brenner aus an die Steuerung zu versenden. Am Brennerhandgriff befindet sich dazu der Brennerschalter mit dem die zum Schweißen notwendigen Funkti-



**Bild 16** Schwanenhalsbrenner



**Bild 17** Schnellschweißbrenner HIGH-SPEED

onen geschaltet werden können.

Am Ende des Schlauchpaketes sitzt der Schweißbrenner. Die folgenden Bilder zeigen einige gebräuchliche Brennertypen.

Am häufigsten werden Schwanenhalsbrenner (Bild 16) verwendet. Sie besitzen ein geringes Gewicht und die Zugänglichkeit des Lichtbogens zur Schweißstelle ist damit sehr gut. Eine besondere Form und Handlichkeit zeichnet den Schnellschweißbrenner (Bild 17) aus.

Ein weiterer Brennertyp ist der Pistolenbrenner. Er ist in Bild 18 als Push-Pull-Brenner zu sehen.

Beim Push-Pull-Antrieb wird die Drahtelektrode von einem im Brennerhandgriff befindlichen Vorschubmotor gezogen, während gleichzeitig ein im Gerät befindlicher Motor den Draht ins Schlauchpaket schiebt. Hiermit lassen sich auch weiche und dünne Drähte problemlos fördern. Ein Push / Pull-Antrieb wird auch häufig bei Roboteranlagen eingesetzt und bei maschinellen Schweißanlagen, wo die Drahtelektrode bauartbedingt über große Wege transportiert werden muß. Bild 19 zeigt ferner noch den Brenner für eine digitalisierte Schweißanlage, bei dem Schweißdaten auf dem Display abgelesen und vom Brenner aus verstellt wer-



**Bild 18** Push / Pull-Brenner



**Bild 19 Brenner mit Display und Fernsteller** den können.

Beim Kleinspulenbrenner (Bild 20) sitzt eine Minidrahtspule direkt auf dem Brenner und der Vorschubmotor im Handgriff.

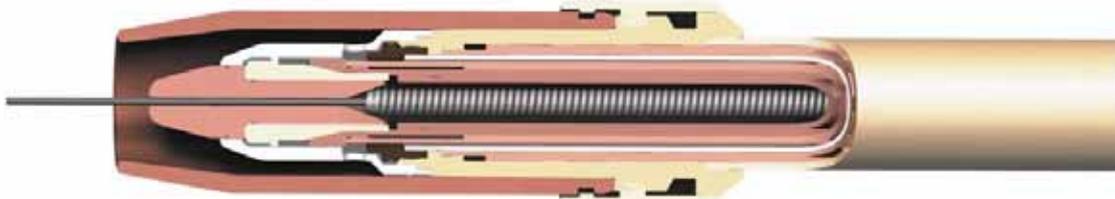


**Bild 20 Kleinspulenbrenner**

Die Zuführungswege sind damit sehr kurz und es können auch sehr dünne und weiche Drähte ohne Probleme transportiert

## 5.4 Steuerung

An der Steuerung der Schweißanlage können verschiedene Funktionen eingestellt werden, die dann teilweise vom Brennerschalter aus über die Steuerleitung abgerufen werden können. Hierzu gehört z.B. das Umschalten von 2-Takt auf 4-Takt-Betrieb. Weitere Funktionen sind das Einstellen einer Einschleichgeschwindigkeit der Drahtelektrode beim Zünden und das Einstellen einer Rückbrandzeit des Lichtbogens beim Beenden des Schweißens. Durch die einstellbare niedrige Geschwindigkeit der Drahtelektrode beim Zünden wird der Zündvorgang sicherer, weil der zu Beginn noch schwach auf dem kalten Werkstoff brennende Lichtbogen durch den nachdrückenden Draht nicht sofort wieder erstickt wird. Die eingestellte Rückbrandzeit verhindert ein Festbrennen der Elektrode im Endkrater. Dies wird dadurch erreicht, daß der Drahtvorschub schon etwas eher abgeschaltet wird, als der Schweißstrom. Ist die Rückbrandzeit allerdings zu lang eingestellt, dann kann der Draht an der Stromkontaktdüse festbrennen. Ein weiteres Programm kann verhindern, daß nach dem Beenden des Schweißens ein



**Bild 21 Schnittbild vom Brennerkopf eines MIG / MAG-Brenners**

werden. Bild 21 zeigt das Schnittbild eines Schwanenhalsbrenners.

Es ist deutlich zu erkennen, daß die der Drahtführung dienende Stahlspirale bis ganz an die in den Düsenstock eingeschraubte Stromkontaktdüse herangeführt wird. Damit wird verhindert, daß der geschobene Draht bei Vorschubstörungen im vorderen Teil des Brenners hier ausknickt.

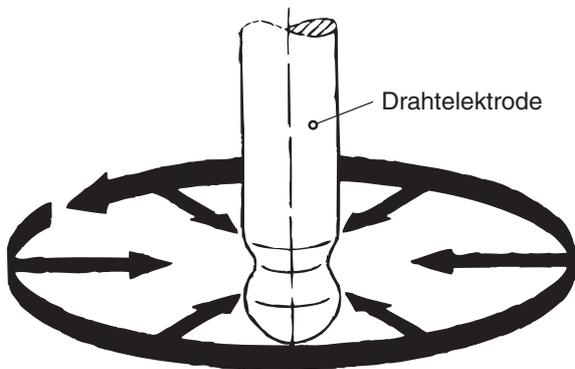
zu großer Tropfen am Drahtende zurückbleibt, der beim erneuten Zünden stören würde. Deshalb wird der am Draht gebildete Tropfen unmittelbar vor dem Beenden des Schweißens noch durch einen Stromimpuls abgelöst. Die zuletzt genannte Funktion ist besonders bei vollmaschinellen Anlagen wichtig, während bei der teilmechanischen Anwendung des Verfahrens der Schweißer das Drahtende vor dem Wiederezünden abknipfen kann. Moderne MIG / MAG-Anlagen gestatten auch ein rampenförmiges Hoch-

fahren des Stromes zu Beginn und ein entsprechendes Absenken am Ende der Schweißnaht.

## 6 Werkstoffübergang beim MIG/MAG-Schweißen

### 6.1 Lichtbogenbereiche

Je nach eingestellten Schweißparametern und verwendetem Schutzgas stellen sich beim MIG/MAG-Schweißen unterschiedliche Werkstoffübergangsformen, auch Lichtbogenbetriebszustände genannt, ein. Dabei wirken sowohl physikalische Phänomene, wie Oberflächenspannung und Viskosität des Metalls, Schwerkraft und Plasmaströmung mit, als auch elektrische Kräfte, wie die Lorenzkraft. Besonders die letztgenannte elektromagnetische Kraft hat einen dominierenden Einfluß bei Tropfenübergängen, die im freien Flug erfolgen. Die Lorenzkraft, auch Pinch-Effekt genannt, ist eine aus dem umgebenden Magnetfeld resultierende, radial nach innen gerichtete Kraft (Bild 22), die das schmelzflüssige Elektrodenende einschnürt und einzelne Tropfen von diesem abkneift (engl. to pinch = abkneifen).



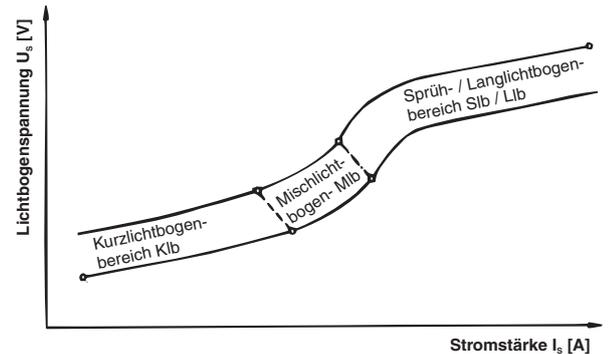
**Bild 22** Schema der Wirkung des Pinch-Effektes [1]

DIN 1910 - 4 unterscheidet und beschreibt die in Tabelle 4 aufgeführten Lichtbogenarten.

Die mit gleichförmigem Strom auftretenden Werkstoffübergangsformen treten teils im unteren Leistungsbereich, d.h. bei niedrigen Stromstärken und Spannungen, teils im oberen Leistungsbereich auf.

Benennung	Werkstoffübergang
Sprühlichtbogen	feinst- bis feintropfig > praktisch kurzschlußfrei
Langlichtbogen	grob- bis feintropfig > nicht kurzschlußfrei
Kurzlichtbogen	feintropfig > im Kurzschluß
Impulslichtbogen	Tropfengröße und Tropfenfrequenz einstellbar > praktisch kurzschlußfrei

**Tabelle 4** Lichtbogenarten nach DIN 1910-4



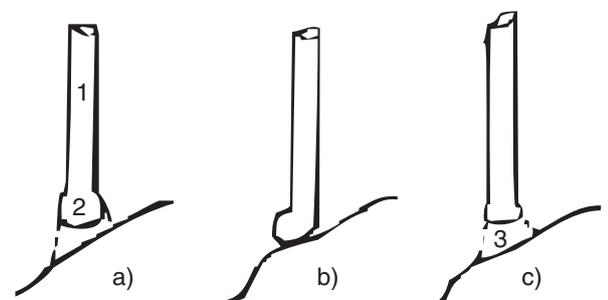
**Bild 23** Lage der Arbeitsbereiche

Bild 23 zeigt schematisch ihre Lage im U / I-Diagramm.

Der Impulslichtbogen tritt über den ganzen Leistungsbereich hinweg auf. Die einzelnen Lichtbogenarten werden nachfolgend beschrieben.

### 6.2 Kurzlichtbogen

Der Kurzlichtbogen tritt im unteren Leistungsbereich, d.h. bei niedrigen Stromstärken und Lichtbogen-Spannungen auf. Sein Name beschreibt nicht nur, daß es sich hierbei um einen sehr kurzen Lichtbogen handelt, sondern er wurde früher auch wegen der Art des Tropfenüber-



**Bild 24** Tropfenübergang beim Kurzlichtbogen

- 1: Drahtelektrode
- 2: Tropfen
- 3: Lichtbogen

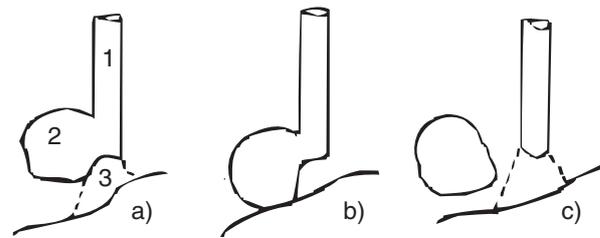
gangs Kurzschlußlichtbogen genannt. Bild 24 zeigt die Stationen des Tropfenübergangs.

Unter Einfluß der Lichtbogenwärme bildet sich am Elektrodenende ein kleiner Tropfen (a), der wegen der Kürze des Lichtbogens schon bald Kontakt mit dem Schmelzbad bekommt. Es entsteht ein Kurzschluß, der Lichtbogen erlischt (b). Der Tropfen wird durch die Oberflächenspannungen des Schmelzbades vom Drahtende abgesaugt, der Pinch-Effekt hat wegen der geringen Stromstärke keinen wesentlichen Einfluß auf die Tropfenablösung. Danach zündet der Lichtbogen wieder (c). Dieser Vorgang wiederholt sich in sehr regelmäßigen Abständen je nach verwendetem Schutzgas ca. 20 bis 100 mal in der Sekunde. Während der Kurzschlußphase steigt der Strom an (Kurzschlußstrom). Wegen der geringen Größe des Tropfens ist die Kurzschlußphase aber sehr kurz und es kommt nicht zu sehr hohen Stromspitzen. Ferner verlangsamen Drosseln im Schweißstromkreis bei konventionellen Stromquellen die Anstiegsgeschwindigkeit des Stromes. So erfolgt das Wiederspitzigen des Lichtbogens nach dem Kurzschluß sanft und ohne wesentliche Spritzerbildung. Bei Invertiern verhindert die Software der Stromquelle einen exzessiven Anstieg des Stromes.

Beim Kurzlichtbogen handelt es sich um einen relativ "kalten" Prozeß. Er tritt unter allen Schweißschutzgasen auf und eignet sich besonders zum Schweißen von Wurzellagen, von dünnen Blechen und in Zwangslagen.

### 6.3 Langlichtbogen

Der Langlichtbogen tritt im oberen Leistungsbereich auf, wenn unter Kohlendioxid oder unter hoch-CO<sub>2</sub>-haltigen Schutzgasen geschweißt wird. Die Grenze im CO<sub>2</sub>-Gehalt liegt hier bei größer etwa 25 %. Da wegen der physikalischen Eigenschaften der Lichtbogenatmosphäre unter den genannten Schutzgasen der Lichtbogenansatz an der Drahtelektrode stark eingeschnürt ist, macht sich der Pinch-Effekt hierbei nicht oder nur sehr



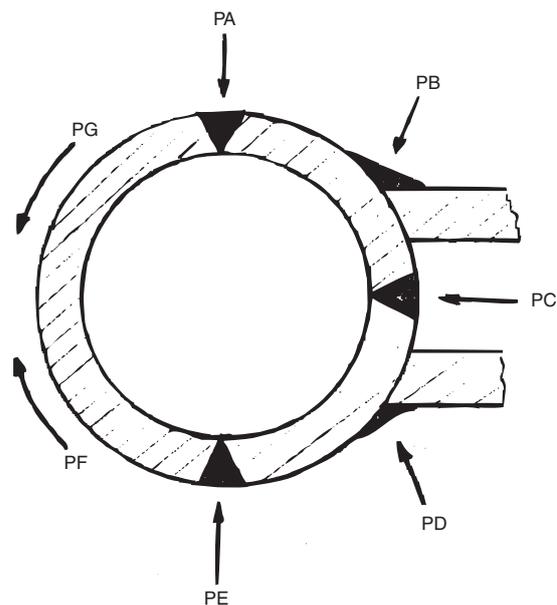
**Bild 25 Tropfenübergang beim Langlichtbogen**

- 1: Drahtelektrode
- 2: Tropfen
- 3: Lichtbogen

schwach bemerkbar. Bild 25 verdeutlicht diesen Werkstoffübergangsmodus.

Es bilden sich grobe Tropfen an der Elektroden spitze (a), die vornehmlich unter Einfluß der Schwerkraft zum Werkstück übergehen. Dabei kommt es häufig zur Bildung von Kurzschlußbrücken zwischen Tropfen und Schmelzbad (b), in deren Verlauf Zusatzwerkstoff ins Schmelzbad übergeht. Vereinzelt kommt es auch zum freien Übergang einzelner sehr grober Tropfen (c). Die Kurzschlüsse sind hierbei wegen der großen Tropfenmasse länger andauernd. Daraus resultieren sehr hohe Kurzschlußströme, die zu starker Spritzerbildung beim Wiederspitzigen des Lichtbogens führen.

Bei diesem Prozeß, der im oberen Stromstärken- und Spannungsbereich stattfindet, entsteht ein großes, heißes Schmelzbad. Der Prozeß eignet sich

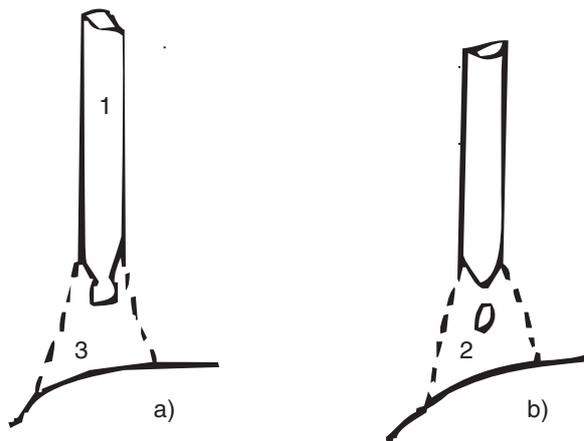


**Bild 26 Schweißpositionen nach ISO 6947**

deshalb nur zum Schweißen in den Positionen PA und PB (Bild 26). Zwangslagenschweißungen sind nicht möglich.

### 6.4 Sprühlichtbogen

Unter Argon und argonreichen Mischgasen umhüllt der Lichtbogen am Tropfenansatz das gesamte Elektrodenende, sodaß sich der Pinch-Effekt bei ausreichender Stromstärke optimal einstellen kann (Bild 27). Das Drahtende schnürt sich dabei ein (a) und einzelne Tropfen werden von der Elektrode abgelöst (b).



**Bild 27** Tropfenübergang beim Sprühlichtbogen

- 1: Drahtelektrode
- 2: Tropfen
- 3: Lichtbogen

Es kommt zu einem kurzschlußfreien, spritzerarmen Werkstoffübergang. Der Sprühlichtbogen tritt bei argonreichen Schutzgasen im oberen Leistungsbereich auf. Auch bei dieser Lichtbogenart bildet sich ein großes, heißes Schmelzbad, sodaß der Prozeß nur eingeschränkt für Zwangslagenschweißungen geeignet ist.

### 6.5 Mischlichtbogen

Zwischen dem Kurzlichtbogen einerseits und dem Sprüh- oder Langlichtbogen andererseits stellt sich eine Lichtbogenform ein, für die ein gemischter Werkstoffübergang teils im Kurzschluß, teils im freien Flug typisch ist. In diesem Bereich tritt aber verstärkt Spritzerbildung, auch unter argonreichen Mischgasen, auf. Es wird daher empfohlen, diesen mittleren Stromstärkenbereich zu vermeiden oder dort den Impulslichtbogen einzusetzen.

### 6.6 Impulslichtbogen

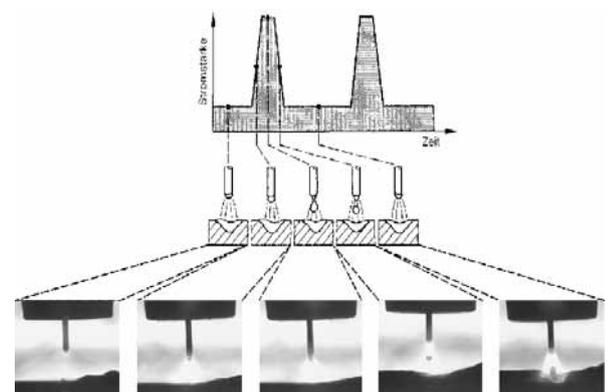
Der Impulslichtbogen tritt auf, wenn statt des gleichförmigen Stromes ein impulsförmiger Strom zum Schweißen verwendet wird. Einstellparameter sind bei dieser Lichtbogenart je nach Modulation der Stromquelle neben der Drahtvorschubgeschwindigkeit der Grundstrom oder die Grundspannung, der Impulsstrom oder die Impulsspannung, die Impulsdauer und die Impulsfrequenz. Wie Bild 28 zeigt, löst sich unter Einwirkung des Pinch-Effektes in der Impulsphase jeweils ein Tropfen von der Elektroden spitze ab. Es kommt so zu einem feintropfigen, spritzerarmen Schweißprozeß.

Bei fest eingestellten Werten für Grundstrom (-spannung), Impulsstrom (-spannung) und Impulsdauer kann die Leistung über den Drahtvorschub eingestellt und die Lichtbogenlänge durch Veränderung der Pulsfrequenz angepaßt werden. Der Impulslichtbogen tritt über den gesamten Leistungsbereich auf und ist im Bereich niedriger und mittlerer Stromstärken auch gut für Zwangslagenschweißungen geeignet.

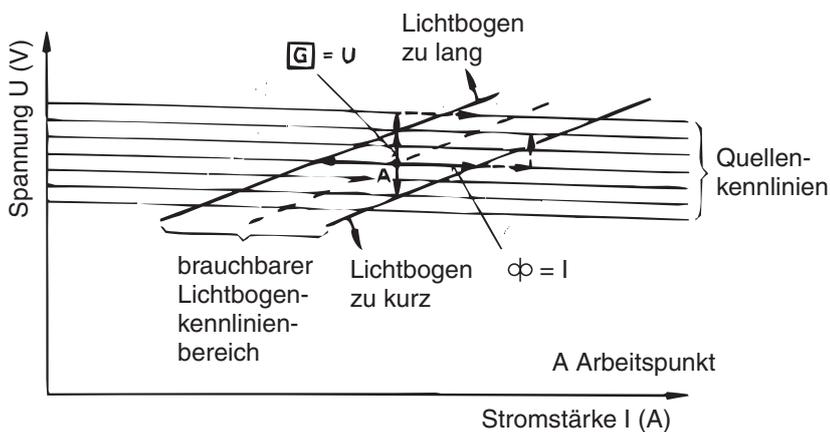
### 6.7 Sonderformen des Werkstoffübergangs

Neben den vorstehend beschriebenen Standardlichtbogenarten gibt es noch Sonderformen, die erst in den letzten Jahren mehr in den Vordergrund getreten sind.

Bei Stromstärken, die über denen des konventionellen Sprühlichtbogens liegen, d.h. bei Drahtvorschubraten beim 1,2 mm



**Bild 28** Tropfenablösung beim Impulslichtbogen


**Bild 29 Günstige Lichtbogenbereiche beim MIG/MAG-Schweißen [1]**

Draht z.B. von mehr als 15 m/min, tritt unter Mischgasen der Hochleistungssprühlichtbogen auf. Dieser bringt allerdings einen so tiefen, schneidenden Einbrand, daß dadurch Fehler im Schweißgut auftreten können. Er wird deshalb kaum angewendet. Bei Erhöhung der Spannung beginnt dann in diesem Leistungsbereich der Lichtbogen zu rotieren und der Einbrand verbreitert sich. Der rotierende Lichtbogen wird zur Steigerung der Einbringleistung oder zur Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit für Füll- und Decklagen bei Stumpfnähten und für Kehlnähte an dickwandigen Bauteilen eingesetzt.

Beim Hochleistungskurzlichtbogen handelt es sich um einen Prozeß mit einem Werkstoffübergang im typischen Kurzschlußübergangsmodus. Er tritt bei Stromstärken im Bereich des konventionellen Sprühlichtbogens, aber wesentlich niedrigerer Lichtbogen Spannung auf.

Die genannten Hochleistungsvarianten des MIG / MAG-Schweißens werden, von Ausnahmen abgesehen, nur vollmechanisiert angewendet.

## 7 Einstellen der Schweißparameter

### 7.1 Einstellen bei konventionellen Anlagen

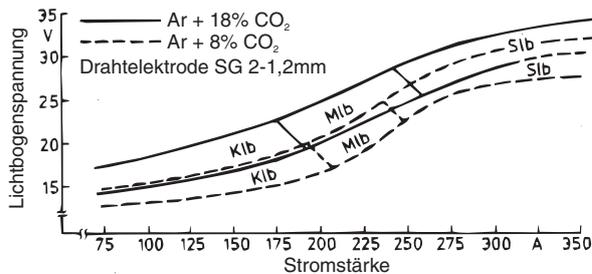
Im Gegensatz zum Lichtbogenhandschweißen und zum WIG-Schweißen sind zur Einstellung von MIG / MAG-Anlagen zwei Stellvorgänge notwendig. Dies wird nachfolgend am Beispiel der

Einstellung einer Stufenschaltermaschine erläutert.

Für das MIG/MAG-Schweißen werden Konstantspannungsstromquellen eingesetzt. Die gewünschte Spannung wird deshalb durch Einstellen einer bestimmten Kennlinie an den Grob- und Feinstufenschaltern der Strom-

quelle gewählt und die günstigste Lichtbogenlänge durch Einstellen der dazu passenden Drahtvorschubgeschwindigkeit erreicht. Bild 29 zeigt, wie sich Änderungen der Einstellung der Stromquelle und der Drahtvorschubgeschwindigkeit auf die Lage des Arbeitspunktes auswirken.

Der Arbeitspunkt (A) ist der Schnittpunkt zwischen der eingestellten Quellenkennlinie und der Lichtbogenkennlinie. Er ist gekennzeichnet durch die Stromstärke  $I_s$  und die Spannung  $U_s$ . Wird die Drahtvorschubgeschwindigkeit erhöht, dann verkürzt sich der Lichtbogen und der Arbeitspunkt wandert auf der Quellenkennlinie nach rechts, die Stromstärke steigt. Entgegengesetzt verhält es sich bei einer Verringerung der Drahtfördergeschwindigkeit. Auf diese Weise kann über das Potentiometer für den Drahtvorschub die gewünschte Stromstärke eingestellt werden. Mit der Erhöhung der Stromstärke verkürzt sich aber der Lichtbogen. Damit er nicht zu kurz wird, muß gleichzeitig die Spannung entsprechend erhöht werden. Zur Erhöhung der Spannung muß am Stufenschalter eine höher liegende Kennlinie eingestellt werden, bei einer gewünschten Verringerung der Lichtbogen Spannung eine niedrigere. Bei dem meist üblichen geringfügig fallenden Verlauf der waagerechten Stromquellenkennlinien ist mit der Verstellung des gewünschten Parameters auch immer eine geringfügige Veränderung des anderen verbunden. Bei absolut waagerechtem



**Bild 30** Arbeitsbereiche für zwei Argonmischgase [1]  
**Klb** = Kurzlichtbogen  
**Mlb** = Mischlichtbogen  
**Slb** = Sprühlichtbogen  
**Drahtelektrode SG2 = G3Si-EN 440**

Verlauf tritt diese gegenseitige Beeinflussung nicht auf.

Damit optimale Verhältnisse beim Schweißen vorliegen, darf der Lichtbogen nicht zu kurz und nicht zu lang sein. Bei einem zu kurzen Lichtbogen treten verstärkt Kurzschlüsse und damit Spritzer auf. Die Kurzschlüsse kann man erkennen an dem knatternden Geräusch das vom Lichtbogen ausgeht. Mit zunehmender Länge des Lichtbogens steigt dagegen die Gefahr, daß Luft in den Lichtbogenbereich eintritt und damit die Porengfahr größer wird. Auch nimmt die Neigung zu Einbrandkerben zu. Einen zu langen Lichtbogen erkennt der Schweißer an dem zischenden Geräusch des Lichtbogens. Die Linie der idealen Arbeitspunkte, d.h. die ideale Arbeitskennlinie, läuft etwa diagonal durch das U / I- Diagramm. In Wirklichkeit gibt es einen brauchbaren Lichtbogenkennlinienbereich. Dies ist der Arbeitsbereich, in dem geschweißt werden sollte. In Bild 30 sind die Arbeitsbereiche für eine Si / Mn legierte Drahtelektrode und zwei verschiedene Mischgase dargestellt.

Zu günstigen Schweißbedingungen führen alle Arbeitspunkte, die innerhalb der Arbeitsbereiche liegen. Arbeitspunkte, die nach unten herausfallen bedeuten zu kurze Lichtbögen, Arbeitspunkte die oberhalb der oberen Grenzlinie liegen führen zu Lichtbögen, die zu lang sind. Die Arbeitsbereiche gelten immer nur für eine bestimmte Drahtelektrode. Da ein Wechsel des Schutzgases zu anderen physikalischen Bedingungen in der

Lichtbogenatmosphäre führt, gilt der Arbeitsbereich auch immer nur für ein bestimmtes Schutzgas.

Beim Schweißen mit impulsförmigem Strom tritt über den gesamten Bereich der Impulslichtbogen auf. Da der Werkstoffübergang in jedem Fall kurzschlußfrei ist, verschieben sich die Bereichsgrenzen bei niedrigen und mittleren Stromstärken aber etwas zu höheren Lichtbogenspannungen.

## 7.2 Synergetische Einstellung von Schweißparametern

Da nicht in allen Betrieben immer genügend gut ausgebildete Schweißer zur Verfügung stehen, bieten moderne MIG / MAG-Anlagen vereinfachte Möglichkeiten zur Einstellung der Schweißparameter, wie z.B. die Multiprozessgeräte PHOENIX (Bild 31).

Es begann schon in den 70er Jahren mit der Einknopfbedienung, bei der über ein einzelnes Drehpotentiometer die Leistung durch Änderung des Drahtvorschubs eingestellt wurde und mit dem gleichen Verstellknopf in einem bestimmten Übersetzungsverhältnis eine stufenlose Kennlinienverstellung verbunden war, sodaß die Spannung gleichzeitig angepaßt wurde. Über einen zweiten Knopf war noch eine gewisse Korrektur des Arbeitspunktes möglich.



**Bild 31** Multiprozessgeräte PHOENIX



**Bild 32** Display des Schweißgerätes PHOENIX 330 EXPERT

Heute gehört zum Standard vieler MIG / MAG-Anlagen eine noch weitergehende Vereinfachung der Einstellung. Die idealen Arbeitskennlinien für häufig vorkommende Schweißaufgaben sind in der Maschine gespeichert. Der Bediener der Anlage stellt, z.B. mittels Tipptasten, nur noch den zu schweißenden Werkstoff, den gewünschten Drahtdurchmesser und das angeschlossene Schutzgas ein. Damit ist die vorprogrammierte, ideale Arbeitskennlinie aufgerufen. Die Leistung läßt sich nun an einem Drehknopf stufenlos einstellen und für individuelle Wünsche bezüglich der optimalen Lichtbogenlänge steht noch ein Korrekturknopf zur Verfügung. Bild 32 und Bild 33 zeigen Displays einer modernen Schweißanlage, die sogar noch weitergehende Einstellungen gestatten.

Im mittleren Teil kann die Schweißaufgabe durch Tipptasten eingestellt werden. Dabei wird neben Werkstoff und Durchmesser der Drahtelektrode, sowie Schutzgas noch vorgegeben, ob mit Massivdraht oder Fülldraht geschweißt werden soll, oder ob Sonderaufgaben wie



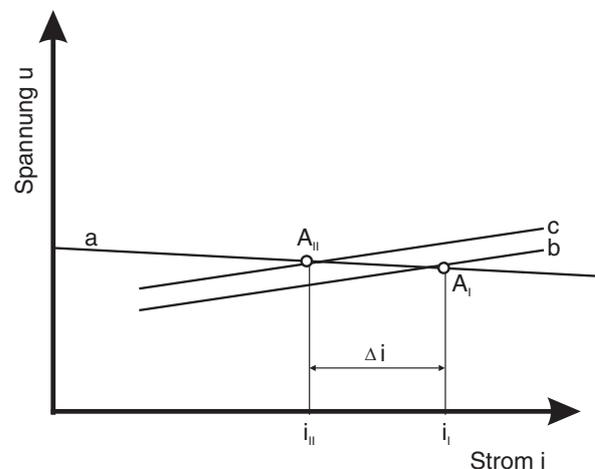
**Bild 33** Display des Schweißgerätes PHOENIX PROGRESS

MIG-Löten oder Auftragsschweißen vorliegen. Da es sich bei der Anlage um eine Multiprozess-Anlage handelt, wird in diesem Feld auch die für andere Prozesse (WIG, E-Hand) erforderliche Kennlinienveränderung vorgenommen. Im linken Teil des Displays läßt sich am oberen Drehknopf die Leistung einstellen, der mittlere Drehknopf dient zur Korrektur der Lichtbogenlänge und der untere verändert über eine verstellbare Drossel die Lichtbogendynamik. Die zu dem gewählten Arbeitspunkt gehörende Stromstärke und Spannung werden im oberen Teil des Displays angezeigt. Die benutzten Schweißdaten können gespeichert und bei späterer Gelegenheit wieder aufgerufen werden.

### 7.3 Die Regelung des MIG / MAG-Prozesses

Die eingestellten Schweißparameter sollen während des Schweißens möglichst konstant bleiben. Dafür sorgt beim MIG / MAG-Schweißen die innere Regelung. Ihre Wirkungsweise wird im Folgenden erklärt.

Den Ablauf eines Regelvorgangs kann man sich am besten verdeutlichen, wenn man annimmt, daß der Lichtbogen von einer höheren Ebene ausgehend eine Stufe herabgeführt wird. Wie sich Stromstärke und Lichtbogenspannung dabei ändern zeigt Bild 34.



**Bild 34** Die innere Regelung ( $\Delta i$ -Regelung) – Verlauf von Stromstärke und Spannung beim Überschweifen einer Stufe

Der Arbeitspunkt AI entspricht den Parametern, mit denen der Lichtbogen auf der Stufe brennt. Beim Übergang über die Stufe verlängert sich der Lichtbogen und der Arbeitspunkt wandert von AI nach AII. Die Stromstärke verringert sich dabei um den Betrag  $\Delta_i$ . Die Spannung verringert sich nur unwesentlich, da die Charakteristik der Stromquelle leicht fallend ist. Für die Rückführung des jetzt viel zu langen Lichtbogens auf das ursprüngliche Maß sorgt nun die innere Regelung. Bei der niedrigeren Stromstärke  $i_{II}$  schmilzt weniger Draht ab als vorher. Da die Fördergeschwindigkeit der Drahtelektrode aber unverändert bleibt, wird der Lichtbogen kontinuierlich kürzer, weil mehr Draht in den Lichtbogen hinein gefördert wird, als zurzeit dort abgeschmolzen wird. Auf diese Weise ist nach kurzer Zeit die ursprüngliche Lichtbogenlänge wieder erreicht und der Lichtbogen brennt wieder mit der vorher eingestellten Stromstärke und Spannung. Diese Regelung arbeitet fast trägheitslos und ist deshalb sehr schnell. Es handelt sich um einen Selbstregelungseffekt innerhalb des Systems, deshalb innere Regelung oder auch  $\Delta_i$ -Regelung genannt.

## 8 Durchführen des Schweißens

Der MIG- oder MAG-Schweißer benötigt eine gute Ausbildung, nicht nur im praktischen Schweißen, sondern auch hinsichtlich der theoretischen Besonderheiten des Verfahrens. Dies hilft ihm Fehler zu vermeiden.

### 8.1 Zünden des Lichtbogens

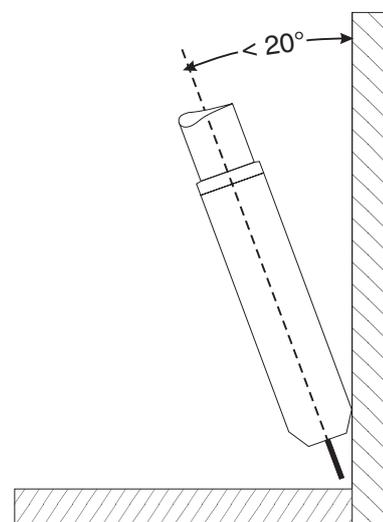
Nach Betätigung des Brennerschalters setzt sich die Drahtelektrode mit der vorher eingestellten Geschwindigkeit in Bewegung. Gleichzeitig wird sie über das Stromrelais stromführend gemacht und das Schutzgas beginnt zu strömen. Beim Berühren der Werkstückoberfläche entsteht ein Kurzschluß. Wegen der hohen Stromdichte an der Elektrodenspitze beginnt an der Berührungsstelle Material zu verdampfen und der Lichtbogen zündet. Bei hohen Drahtförderraten kann der zunächst noch sehr schwache Lichtbogen

durch den nachdrückenden Drahtwerkstoff wieder erstickt werden, sodaß das Zünden erst nach dem zweiten oder dritten Anlauf gelingt. Es ist deshalb zweckmäßiger mit verminderter Fördergeschwindigkeit zu zünden und erst wenn der Lichtbogen stabil brennt, auf die eigentliche Drahtfördergeschwindigkeit hochzuschalten. Neuzeitliche MIG/MAG-Anlagen bieten die Möglichkeit, eine sogenannte "Einschleichgeschwindigkeit" einzustellen. Das Zünden sollte nie außerhalb der Fuge und nur an solchen Stellen erfolgen, die unmittelbar danach wieder aufgeschmolzen werden. Von nicht überschweißten Zündstellen kann wegen der hohen Abkühlungsgeschwindigkeit solcher örtlich erwärmten Stellen Ribbildung ausgehen.

### 8.2 Brennerführung

Der Brenner wird in Schweißrichtung etwa  $10^\circ$  bis  $20^\circ$  geneigt und kann schleppend oder stechend geführt werden (Bild 35).

Sein Abstand zum Werkstück soll so sein, daß das freie Drahtende, d.h. der Abstand zwischen der Unterkante der Stromkontaktdüse und dem Ansatzpunkt des Lichtbogens, etwa  $10 - 12 \times$  Drahtdurchmesser [mm] beträgt. Bei zu stark geneigtem Brenner besteht die Gefahr, daß Luft in das Schutzgas eingesaugt wird. Stechende Brennerführung ist in der Regel üblich beim Schweißen mit Mas-



**Bild 35** Stellung des Brenners zum Grundwerkstoff

sivdrähten, schleppende Führung beim Einsatz von schlackenführenden Fülldrähten. Leicht schleppend wird der Brenner generell auch in der Position PG geführt. Fallnahtschweißen (Pos. PG) kommt hauptsächlich bei dünneren Blechen vor. Bei dickeren besteht die Gefahr, daß durch vorlaufendes Schweißgut Bindefehler entstehen. Bindefehler durch vorlaufendes Schweißgut können auch in anderen Positionen auftreten, wenn mit zu geringer Schweißgeschwindigkeit geschweißt wird. Breites Pendeln sollte deshalb, von der Position PF abgesehen, möglichst vermieden werden. Die übliche Pendelform ist das offene Dreieck.

### 8.3 Beenden des Schweißens

Am Ende der Naht darf der Lichtbogen nicht plötzlich abgeschaltet und der Brenner vom Endkrater weggezogen werden. Vor allem bei dickeren Blechen, wo in großvolumigen Raupen tiefe Endkrater entstehen können, ist es günstiger den Lichtbogen langsam vom Bad abziehen oder, wenn die verwendete Anlage dies hergibt, ein Endkraterfüllprogramm einzustellen. Bei den meisten Anlagen kann auch eine gewisse Nachströmzeit des Schutzgases eingestellt werden, damit das letzte noch flüssige Schweißgut unter der Schutzgasabdeckung erstarren kann.

Dies ist aber nur wirksam, wenn der Brenner auch eine Zeitlang am Ende der Naht verweilt.

### 8.4 Schweißparameter

Die untere Grenze der möglichen Anwendung des Verfahrens für Stumpfnähte liegt bei unlegiertem Stahl bei etwa 0,7 mm, bei nichtrostendem Stahl bei 1 mm und bei Aluminiumwerkstoffen bei etwa 2 mm.

Wurzellagen und Dünnbleche werden meist mit dem Kurzlichtbogen geschweißt oder im unteren Leistungsbereich des Impulslichtbogens. Für Füll-, Deck- und Gegenlagen an dickeren Blechen wird dann mit höherer Leistung der Sprüh- oder Langlichtbogen eingestellt. Diese Schweißarbeiten können aber auch sehr

spritzerarm mit dem Impulslichtbogen ausgeführt werden.

Richtwerte für geeignete Schweißdaten zum Schweißen von Stumpf- und Kehlnähten können Tabelle 5 bis Tabelle 9 entnommen werden.

Blechedicke mm	Fugenform	Öffnungswinkel °	Stegabstand mm	Position	Drahtelektr. Durchm. mm	Drahtvorschub m/min	Stromstärke Ampere	Lichtbogen <span>spannung</span> Volt	Lage		
1	I	-	0	PA	0,8	3,8	70	18	1		
2					1,0	4,3	125				
4			PG	0,8	7,1	130	19				
			PA		4,8	135					
6	V	50	2,0	PG		5,4	160	20	2		
				PA	1,0	4,3	125	19			
			PG		8,4	205	22	2			
					4,7	130	19	1			
			8	PA	1,2		3,1	135		18	1
							8,1	270		28	2
10	PF	1,0		3,7	100	17	1				
							2				
15	PA	1,2	2,5		3,2	135	19	1			
					9,0	290	28	2			
20	PF	1,0	3,0		4,5	120	18	1			
								2			
20	PA	1,2	3,0		3,2	130	19	1			
								2			
			PA		9,2	300	29	3			
								4			
			PF		3,2	130	19	1			
					4,2	160	20	2			
PA		3,8	140	19	1						
					2						
20	PA	1,2	3,0		9,5	310	29	4			
								5			
								6			

**Tabelle 5 Richtwerte für das MAG-Schweißen von Stumpfnähten an un- und niedriglegiertem Stahl.**

**Drahtelektrode: G3Si1/G4Si1**

**Schutzgas: Mischgas M2.1**

**Werte nach [1] und [2]**

Blechdicke mm	Fugenform	Öffnungswinkel °	Stegabstand mm	Position	Drahtelekt. Durchm. mm	Drahtvorschub m/min	Stromstärke Ampere	Lichtbogenspannung Volt	Lage
1	I	-	0	PG	0,8	4,0	70	15	1
2			1,5	PA					
4			2,0	PG					
6			2,5						
8	V	60	2,0	PA	1,0	3,4	95	15	
10						10,0	200	26	2
12						4,4	110	16	1
14						10,0	200	26	2
16					1,2	3,0	110	17	1
18						8,0	250	28	2
20									3
22									4

**Tabelle 6 Richtwerte für das MAG-Schweißen von Stumpfnähten an nicht rostendem CrNi-Stahl 1.4541**  
Drahtelektrode: G199L, Schutzgas: Mischgas M1.2 Werte nach [2]

a-Maß mm	Position	Drahtelektroden- durchmesser mm	Drahtvorschub m/min	Stromstärke Ampere	Lichtbogenspannung Volt	Lagenzahl
1,0	PA/PB	0,8	3,8	65	17	1
	PG					
2,0	PA/PB	0,8	7,3	130	19	1
	PG		7,1	100	20	
3,0	PB	1,0	10,6	215	23	1
	PG		9,0	210	22	
4,0	PA/PB		10,7	220	23	
5,0	PB	1,2	9,5	300	29	1
6,0						
8,0	PF	1,0	4,7	115	18	3
	PB	1,2	9,5	300	29	
10,0	PF	1,0	4,8	130	19	2
	PB	1,2	9,5	300	29	
12,0	PF	1,2	4,2	165	19	2
	PB	1,2	9,5	300	29	

**Tabelle 8 Richtwerte für das MAG-Schweißen von Kehlnähten an un- und niedriglegiertem Stahl.**  
Drahtelektrode: G3Si1/G4Si1, Schutzgas: Mischgas M2.1 Werte nach [1]

Blech dicke mm	Fugenform	Öffnungswinkel °	Steghöhe mm *)	Drahtelektroden- Durchmesser. mm	Drahtvorschub m/min	Stromstärke Am- pere	Lichtbogen- spannung Volt	Lage
2	I	-	2	0,8	5,0	110	20	1
4			4	1,2	3,1	170	22	
6	Y	70	1,5	1,6	6,0	220	26	2
8					6,8			
10					6,2			
12					6,0			
14	60	2,0	1,6	1,6	7,2	230	26	G
16					13,7	240		
18					12,2	220		
20					15,6	250		
22	1,5	1,2	1,2	1,2	12,2	220	26	2
24					15,6	250		

\*) ohne Stegflächenabstand G= Gegenlage

**Tabelle 7 Richtwerte für das MIG-Schweißen von Stumpfnähten an Aluminiumwerkstoffen**  
Drahtelektrode: GRAIMg5, Schutzgas: Argon, Schweißposition PA, Werte nach [1] und [2]

a-Maß mm	Position	Drahtelektroden- durchmesser mm	Drahtvorschub m/min	Stromstärke Ampere	Lichtbogenspannung Volt	Lagenzahl	
2,0	PB	0,8	6,5	100	17	1	
	PG		7,0	110	18		
3,0	PB	1,0	9,0	200	24	1	
	PG		8,8	195	22		
4,0	PB	1,2	10,4	220	26	3	
5,0			8,0	250	28		
6,0							
8,0							

**Tabelle 9 Richtwerte für das MAG-Schweißen von Kehlnähten an nichtrostendem CrNi-Stahl 1.4541.**  
Drahtelektrode: G 19 9 L, Schutzgas: Mischgas M1.2 Werte nach [2]

Die dem Schweißer zur Information dienenden Strom- und Spannungswerte können an den, meist in die Geräte eingebauten, Meßinstrumenten abgelesen werden. Beim Impulsschweißen zeigen die Anzeigeeinstrumente den sich aus Impuls- und Grundphase bei der eingestellten Pulsfrequenz ergebenden arithmetischen Mittelwert von Stromstärke und Lichtbogenlänge an. Die Tabellen können deshalb auch als Richtwerte für das MIG / MAG-Impulsschweißen dienen. Sind keine Meßgeräte eingebaut, kann mit externen Meßgeräten gemessen werden, oder der Schweißer muß sich nach der ebenfalls in den Tabellen angegebenen Drahtvorschubgeschwindigkeit richten. Die richtige Lichtbogenlänge muß er dann nach dem einstellen, was er sieht und hört.

### 8.5 Möglichkeiten des Mechanisierens

Beim teilmechanischen MIG/MAG-Schweißen erfolgt die Zugabe des Schweißzusatzes und des Schutzgases, sowie die Regelung der Lichtbogenlänge schon mechanisiert, nur die Schweißfortschrittsbewegung muß noch manuell vorgenommen werden.

Eine Vollmechanisierung ist mit einfachen Mitteln möglich, indem man den Brenner einspannt und in Schweißgeschwindigkeit mit einem Fahrwagen über das Werk-



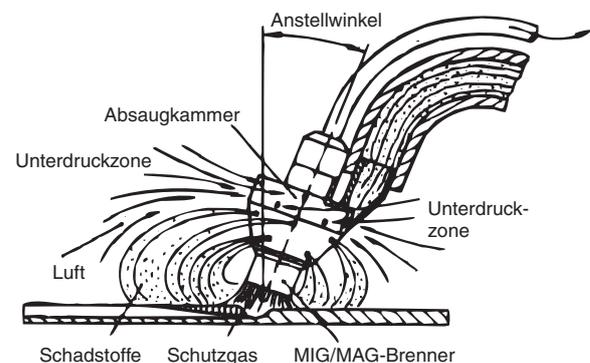
**Bild 36 Vollmechanisiertes Schweißen**

stück bewegt, oder indem der Brenner stationär aufgehängt wird und ein rotationssymmetrisches Bauteil sich in einer Drehvorrichtung unter dem Brenner bewegt (Bild 36).

Das Konzept des Prozesses macht dieses Verfahren auch geeignet für schwierige Mechanisierungsaufgaben, wo z.B. mehrere Brenner gleichzeitig an einem Werkstück schweißen. Nicht umsonst ist das MIG / MAG-Schweißen deshalb auch das Verfahren, das mit Abstand am meisten beim Lichtbogenschweißen mit Industrierobotern zum Einsatz kommt.

## 9 Arbeitssicherheit

Beim MIG/MAG-Schweißen geht der Tropfen durch den Lichtbogen über. Infolge der hohen Temperaturen, die dort herrschen, kommt es zu einer stärkeren Metallverdampfung als beispielsweise beim WIG-Prozeß. Es entstehen deshalb auch mehr schädliche Gase und Rauche. Bei Fülldrahtelektroden erhöht sich dieser Anteil noch durch verdampfende Füllungsbestandteile. Es ist deshalb sowohl bei länger andauernden ortsgebundenen Schweißarbeiten als auch bei kurzzeitigen fast immer ein Absaugen der Schadstoffe direkt am Entstehungsort vorgeschrieben. Bei nicht ortsgebundenen Schweißarbeiten genügt mit Ausnahme des Schweißens hochlegierter Stähle und beschichteter Werkstoffe, die freie Lüftung oder die technische Lüftung des Raumes. Beim MIG/MAG-Schweißen bietet es sich an eine brennerintegrierte Absaugung, Bild 37, einzusetzen.



**Bild 37 Brennerintegrierte Absaugung**

Wichtig ist es, daß die Absaugdüse so konzipiert ist, daß nicht das Schutzgas von der Schweißstelle mitabgesaugt wird.

Der Schweißer muß sich ferner vor der Strahlung des Lichtbogens und vor elektrischen Gefahren schützen. Gegen die infrarote und ultraviolette Strahlung trägt der MIG/MAG-Schweißer in der Regel einen Kopfschirm, der ihm beide Hände frei hält. In diesen Schutzschirm ist das Schweißerschutzfilter integriert. Diese Filter sind neuerdings in DIN EN 169 genormt. Es gibt verschiedene Schutzstufen, die auf dem Glas dauerhaft aufgebracht sein müssen. Beim MIG/MAG-Schweißen werden je nach angewandter Stromstärke Filter der Schutzstufen 10 bis 15 eingesetzt, wobei die Stufe 10 zu den geringeren Strömen gehört und 15 den höheren Stromstärken zugeordnet ist.

Die höchste elektrische Gefährdung geht von der Leerlaufspannung aus. Dies ist die höchste Spannung, welche an der eingeschalteten Stromquelle zwischen den Anschlußbuchsen anliegt, wenn der Lichtbogen nicht brennt. Nach dem Zünden des Lichtbogens ist die Spannung wesentlich geringer, beim MIG/MAG-Schweißen etwa zwischen 17 bis 30 Volt. Nach der UVV VBG 15 dürfen Stromquellen für Gleichstrom im normalen Betrieb einen Scheitelwert der Leerlaufspannung von max. 113 Volt haben. Bei Wechselstromanlagen, die neuerdings in speziellen Fällen beim MIG/MAG-Schweißen eingesetzt werden, beträgt dieser Wert ebenfalls 113 Volt, jedoch ist der Effektivwert auf max. 80 Volt begrenzt. Unter erhöhter elektrischer Gefährdung, z.B. beim Schweißen in engen Räumen oder auf großen Eisenmassen, gelten für Wechselstrom herabgesetzte Werte, z.B. ein Scheitelwert von 68 Volt und ein Effektivwert von 48 Volt. Neuere Schweißstromquellen, die diese Forderung erfüllen, tragen nach DIN EN 60974-1 das Zeichen "S". Ältere Stromquellen können dagegen noch mit "K" (Gleichstrom) oder "42 V" (Wechselstrom) gekennzeichnet sein. Gegen elektrische Schläge schützt der Schweißer sich am

sichersten durch nicht beschädigte Schweißerhandschuhe aus Leder und gut isolierende Arbeitskleidung einschließlich Schuhwerk.

## 10 Besonderheiten verschiedener Werkstoffe

Es wurde schon gesagt, daß das MIG/MAG-Verfahren sich für das Schweißen einer großen Palette von Werkstoffen eignet. Im Folgenden werden einige Besonderheiten behandelt, die sich bei den verschiedenen Werkstoffe ergeben.

### 10.1 Un- und niedriglegierte Stähle

Un- und niedriglegierte Stähle werden unter Mischgasen M1, M2, M3 oder unter reinem Kohlendioxid geschweißt (Bild 38). Wegen der geringeren Spritzerbildung, vor allem im oberen Leistungsbereich, dominieren in Deutschland aber die Mischgase. Diese Stähle lassen sich im allgemeinen gut mit dem MAG-Verfahren schweißen. Eine Ausnahme bilden hochkohlenstoffhaltige Sorten, wie E 360 (früher St. 70), mit ca. 0,45 % C. Durch den großen Einbrand des Prozesses nimmt das Schweißgut durch Vermischung relativ viel Kohlenstoff auf und es kommt dadurch zu einer Gefährdung durch Heißrisse. Abhilfe ist möglich durch alle Maßnahmen, welche den Einbrand und damit die Vermischung reduzieren. Dazu zählen niedrige Stromstärken ebenso wie



**Bild 38** MAG-Schweißen an Trägern im Stahlbau

Schweißen auf dem etwas vorlaufenden Schweißgut - Vorsicht: Bindefehlergefahr. Porenbildung entsteht bei un- und niedriglegierten Stählen hauptsächlich durch Stickstoff. Dieser kann durch Aufmischung beim Schweißen von Stählen mit hohem Stickstoffgehalt stammen, z.B. bei nitrierten Stählen. Meist wird der Stickstoff aber infolge einer unvollständigen Schutzgasglocke aus der Luft aufgenommen. Ein sicherer Schutz ist gewährleistet, wenn die richtige Schutzgasmenge eingestellt wurde und Verwirbelungen des Schutzgasstromes, z.B. durch Spritzer in der Schutzgasdüse oder Instabilitäten des Prozesses, vermieden werden. Kohlendioxid als Schutzgas ist weniger empfindlich gegen diese Art der Porenbildung als Mischgase. Bei Mischgasen nimmt die Empfindlichkeit mit steigendem CO<sub>2</sub>-Gehalt ab.

## 10.2 Hochlegierte Stähle und Nickelbasislegierungen

Auch diese Werkstoffgruppe läßt sich prinzipiell mit dem MIG / MAG-Prozeß gut schweißen. Als Schutzgase kommen für hochlegierte Stähle Argon / Sauerstoff-Gemische mit 1-5 % Sauerstoff (M1.1) oder Argon mit CO<sub>2</sub>-Gehalten bis zu 2,5% (M1.2) zur Anwendung. Einen bedeutenden Nachteil stellen beim Schweißen korrosionsbeständiger Stähle die Oxidhäute dar, die nach dem Schweißen auf und neben der Naht zurückbleiben. Diese müssen vollständig durch Bürsten, Beizen oder Strahlen entfernt werden bevor das Bauteil in Betrieb geht, weil sie die Korrosionsbeständigkeit verschlechtern. Der Säuberungsaufwand ist bei MAG-geschweißten Nähten größer als beim E-Handschiessen, wo die Schlackenabdeckung dem Sauerstoff bei höheren Temperaturen noch den Zutritt zur Nahtoberfläche verwehrt. Ein Teil der wirtschaftlichen Vorteile des teilmechanischen Schweißens kann deshalb durch die höheren Nacharbeitungskosten wieder verloren gehen. CO<sub>2</sub>-haltige Mischgase verhalten sich in dieser Hinsicht etwas günstiger als O<sub>2</sub>-haltige. Sie werden deshalb zunehmend angewendet. Der Koh-

lendioxidanteil im Schutzgas darf aber nicht zu hoch werden, weil das im Lichtbogen zerfallende Gas zur Aufkohlung des Schweißgutes führt und damit zu einer Herabsetzung der Korrosionsbeständigkeit. Der zulässige CO<sub>2</sub>-Gehalt ist deshalb auf max. 5 % begrenzt.

Beim Schweißen korrosionsbeständiger Stähle muß jede Überhitzung vermieden werden, weil sie durch Ausscheidung von Chromkarbid zur Versprödung und zur Herabsetzung der Korrosionsbeständigkeit führen kann. Es muß deshalb das Wärmeeinbringen kontrolliert und dem Werkstoff eventuell durch Einlegen von Abkühlungspausen Gelegenheit zum Zwischenabkühlen geboten werden. Bei den Werkstoffen aus der Gruppe der voll-austenitischen Stähle ist "kaltes" Schweißen auch zur Vermeidung von Heißrisen angesagt.

Da austenitische Stähle durch Wasserstoff nicht verspröden, können dem Argon zur Leistungssteigerung (Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit) auch einige Prozent Wasserstoff beigemischt werden. Wegen der Porengefahr sollte der H<sub>2</sub>-Gehalt aber nicht über 7 % liegen. Duplexstähle, die eine Zweiphasen-Struktur aus Austenit und Ferrit besitzen, neigen dagegen wieder mehr zu wasserstoffinduzierter Rißbildung.



**Bild 39** MIG-Aluminium-Schweißen im Fahrzeugbau

Nickelbasislegierungen werden in der Regel unter Argon MIG-Geschweißt. Bei Reinnickel und einigen Legierungen können geringe Wasserstoffzusätze die Oberflächenspannungen verringern und so die Nahtzeichnung verbessern.

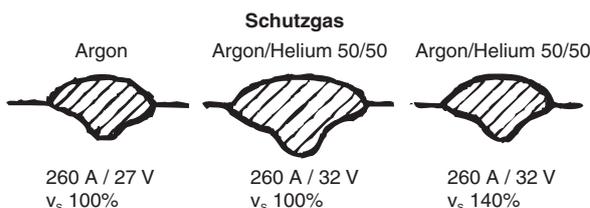
### 10.3 Aluminium und Aluminiumlegierungen

Aluminiumwerkstoffe werden grundsätzlich MIG-geschweißt (Bild 39).

Als Schutzgas kommt im Regelfall Argon zur Anwendung. Wegen der großen Wärmeleitfähigkeit des Aluminiums wirken sich hier Heliumzugaben besonders günstig aus. Helium verbessert, wie bereits erwähnt, die Wärmeleitfähigkeit und den Wärmeinhalt der Schutzgasatmosphäre. Dies bringt einen tieferen und breiteren Einbrand, wie es schematisch in Bild 40 gezeigt wird.

Wo der tiefere Einbrand nicht gebraucht wird, z. B. beim Schweißen dünner Bleche, kann bei gleicher Einbrandform entsprechend schneller geschweißt werden. Dickere Querschnitte von Aluminium müssen wegen der großen Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffes vorgewärmt werden. Dies sichert nicht nur ausreichenden Einbrand, sondern verringert auch die Porenanfälligkeit, weil das Schweißgut mehr Zeit zum Entgasen während des Erstarrens hat. Bei Verwendung von heliumhaltigen Schutzgasen - üblich sind Gehalte von 25 oder 50 % - kann die Vorwärmung verringert werden, bzw. bei geringeren Wanddicken kann ganz auf das Vorwärmen verzichtet werden. Dies gleicht den höheren Preis der heliumhaltigen Gase teilweise wieder aus.

Schwierigkeiten, die hochschmelzende Oxidhaut auf dem Bad zu beseitigen, bestehen beim MIG-Schweißen nicht, weil



**Bild 40** Einbrandprofil bei verschiedenen Schutzgasen. Werkstoff: AlMg<sub>3</sub>, Drahtelektrode: Ø1,6mm

der Pluspol an der Elektrode liegt (kathodische Reinigung). Trotzdem ist es ratsam, die Oxidhäute unmittelbar vor dem Schweißen durch Schaben oder Bürsten zu entfernen, da sie hygroskopisch sind und daher Wasserstoff ins Schweißgut bringen. Wasserstoff ist die alleinige Ursache für Porenbildung beim Schweißen von Aluminiumwerkstoffen. Aluminium hat im flüssigen Zustand eine relativ große Löslichkeit für Wasserstoff, im festen Zustand ist dieses Gas dagegen fast gar nicht im Metall löslich. Jeglicher Wasserstoff, der beim Schweißen aufgenommen wurde, muß deshalb das Schweißgut vor der Erstarrung verlassen, wenn keine Poren auftreten sollen. Dies ist vor allem bei dickeren Querschnitten nicht immer möglich. Gänzlich porenfreie Nähte sind deshalb, wenn größeren Wanddicken vorliegen, bei Aluminiumwerkstoffen nicht zu erreichen. Die günstige Wirkung einer Vorwärmung wurde schon vorher erwähnt.

AlMg- und AlSi-Legierungen neigen bei Si-Gehalten von etwa 1 % bzw. Mg-Gehalten von etwa 2 % zur Heißrissigkeit beim Schweißen. Dieser Legierungsbereich sollte durch Auswahl des Schweißzusatzes vermieden werden. Meist verhält sich die nächst höher legierte Drahtelektrode besser als eine artgleiche.

### 10.4 Sonstige Werkstoffe

Außer den schon genannten Werkstoffen werden noch Kupfer und Kupferlegierungen in nennenswertem Maße MIG-geschweißt. Reinkupfer muß wegen der großen Wärmeleitfähigkeit relativ hoch vorgewärmt werden, um Bindefehler zu vermeiden.

Das Schweißgut von Bronzedrähten, z.B. solche aus Aluminium- oder Zinnbronze, besitzt gute Gleiteigenschaften. Es wird deshalb für Auftragsschweißungen an Gleitflächen verwendet. Bei solchen Schweißungen auf Eisenwerkstoffen muß der Einbrand durch geeignete Maßnahmen gering gehalten werden, weil Eisen in Kupfer nur eine geringe Löslichkeit hat. Es wird in Form von Kügelchen im

Schweißgut eingeschlossen und vermindert die Gebrauchseigenschaften.

Ähnlich sind die Bedingungen beim MIG-Löten. Dieses Verfahren wird z.B. zum Verbinden verzinkter Bleche im Automobilbau eingesetzt. Als Zusätze werden Drahtelektroden aus Silizium- oder Zinnbronze verwendet. Durch den niedrigeren Schmelzpunkt dieser Bronzen wird die Zinkverdampfung verringert. Es entstehen weniger Poren und der Schutz durch die Zinkschicht bleibt bis nahe an die Naht heran und auch auf der Rückseite der Bleche erhalten. Auch hierbei sollte möglichst kein Einbrand in den Stahlwerkstoff hinein entstehen, sondern die Bindung sollte, wie beim Hartlöten, nur durch Diffusions- und Adhäsionskräfte erfolgen. Dies wird durch angepasste Schweißparameter und eine besondere Brennerhaltung erreicht, wodurch der Lichtbogen nur auf dem flüssigen Schmelzbad brennt.

## 11 Anwendung des MIG / MAG-Schweißens

### 11.1 Fertigungszweige

Der Anteil des Verfahrens liegt, gemessen an allen Lichtbogenschweißverfahren, auf das abgesetzte Schweißgut bezogen, nach einer neueren Statistik bei 80 %.

Es gibt kaum einen Industriezweig, in dem das MIG/MAG-Schweißen nicht angewendet wird. Hauptanwendungsgebiete sind der Fahrzeugbau, wo z.B. Kraftfahrzeuge, Lokomotiven und Schienenfahrzeuge gefertigt werden. Hier wird zunehmend auch der Werkstoff Aluminium verwendet. Weitere Anwendungen gibt es im Stahl- und Brückenbau, im Schiffbau und im Maschinenbau. Im Kran- und Baggerbau werden zunehmend höherfeste Stähle verwendet, für die sich das MAG-Verfahren besonders eignet, weil das Schweißgut einen niedrigen Wasserstoffgehalt besitzt und deshalb keine Kaltrisse entstehen. Etwas unterrepräsentiert ist das MAG-Schweißen im Kessel-, Apparate- und Rohrleitungsbau, wo wegen der ausge-

zeichneten Güterwerte des Schweißgutes vielfach noch basische Stabelektroden verschweißt werden.

Aber nicht nur in der Industrie, sondern auch im Handwerk findet man kaum eine Werkstatt, in der nicht MAG-geschweißt wird. Dies trifft sowohl auf Kfz-Werkstätten, als auch auf Schlossereien und kleine Stahlbaubetriebe zu.

### 11.2 Anwendungsbeispiele

Einige ausgesuchte Anwendungsbeispiele sollen abschließend den zweckmäßigen Einsatz des MIG / MAG-Prozesses verdeutlichen.

Bild 38 zeigt die Anwendung des MAG-Schweißens im Stahlbau.

An Trägern, wie sie im Bild zu sehen sind, kommen an den Ecken Kehlnähte oder Doppel-HV-Nähte vor. Bei längeren Trägern müssen auch Stumpfnähte quer zur Hauptbelastungsrichtung geschweißt werden. Für diese gelten besondere Festlegungen bezüglich der Fehlerfreiheit.

An den Karosserien von Pkws kommen neben zahlreichen Widerstandsschweißpunkten auch kurze MAG-Nähte vor (Bild 41).

Bei verzinkten Blechen werden diese auch MIG-gelötet. Karosserien aus Aluminium werden Widerstandspunkt- und MIG-geschweißt.



**Bild 41** MIG-Löten beim Zusammenbau der Karosserie



**Bild 42** MIG-Schweißen beim Herstellen von Aufliedertanks

Bild 42 zeigt das MIG-Schweißen an Aufliedertanks von Tankfahrzeugen, die aus Aluminiumlegierungen gefertigt werden.

Damit bei den relativ weichen Aluminiumdrähten keine Förderschwierigkeiten auftreten, wird hier mit einem Push-Pull-Antrieb geschweißt.

## 12 Schrifttum

[1] R. Killing: Handbuch der Schweißverfahren, Teil 1: Lichtbogenschweißen, Fachbuchreihe Schweißtechnik, Band 76/I, DVS-Verlag Düsseldorf 1999

[2] G. Aichele: Leistungskennwerte für Schweißen und Schneiden, Fachbuchreihe Schweißtechnik, Band 72, DVS Verlag Düsseldorf 1994

## 13 Impressum

Die MIG/MAG-Fibel, 2. Ausgabe 2002

Aus der Schriftenreihe EWM-Wissen – rund ums Schweißen

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, verboten. Kein Teil dieser Broschüre darf ohne schriftliche Einwilligung von EWM in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© EWM HIGHTEC WELDING GmbH

Dr.-Günter-Henle-Str. 8

D-56271 Mündersbach

Fon: +49(0)2680.181-244

Fax: +49(0)2680.181-0

<mailto:info@ewm.de>

<http://www.ewm.de>



# PLASMA-FIBEL





# Inhalt

1	Schweißen mit dem Plasmalichtbogen.....	2
1.1	Einleitung.....	2
2	Das Verfahren.....	2
2.1	Allgemeines.....	2
2.2	Stromart.....	3
2.3	Elektroden.....	3
2.4	Gase zum Plasmaschweißen.....	3
2.5	Schweißzusätze.....	4
3	Einteilung des Plasmaschweißens.....	4
3.1	Plasmaverbindungsschweißen.....	4
3.1.1	Mikroplasmaschweißen.....	4
3.1.2	Softplasmaschweißen.....	4
3.1.3	Dickblechplasmaschweißen.....	5
3.1.4	Plasmapulververbindungsschweißen.....	5
3.2	Plasmaauftragschweißen.....	6
3.3	Plasmalöten.....	6
4	Einrichtungen zum Plasmaschweißen.....	7
4.1	Steuerung.....	7
4.2	Stromquelle.....	7
4.3	Schweißbrenner.....	9
5	Durchführung des Schweißens.....	9
5.1	Einstellen der Schutzgasmenge.....	9
5.2	Fugenvorbereitung.....	10
5.3	Formieren.....	10
5.4	Zünden des Lichtbogens.....	10
5.5	Führen des Brenners.....	11
5.6	Magnetische Blaswirkung.....	11
5.7	Schweißpositionen.....	11
5.8	Beenden des Schweißens.....	11
5.9	Schweißparameter.....	11
5.10	Arbeitssicherheit.....	12
5.11	Besonderheiten verschiedener Werkstoffe.....	12
5.11.1	Un- und niedriglegierte Stähle.....	12
5.11.2	Hochlegierte Stähle.....	12
5.11.3	Aluminium und Aluminiumlegierungen.....	13
5.11.4	Sonstige Werkstoffe.....	15
5.11.5	Werkstoffe für das Plasmaauftragschweißen.....	15
6	Anwendung des Plasmaschweißens und -lötens.....	15
6.1	Anwendungsbeispiele.....	15
6.2	Vergleich mit dem WIG-Schweißen.....	16
7	Schrifttum.....	16
8	Impressum.....	16

# 1 Schweißen mit dem Plasmalichtbogen

## 1.1 Einleitung

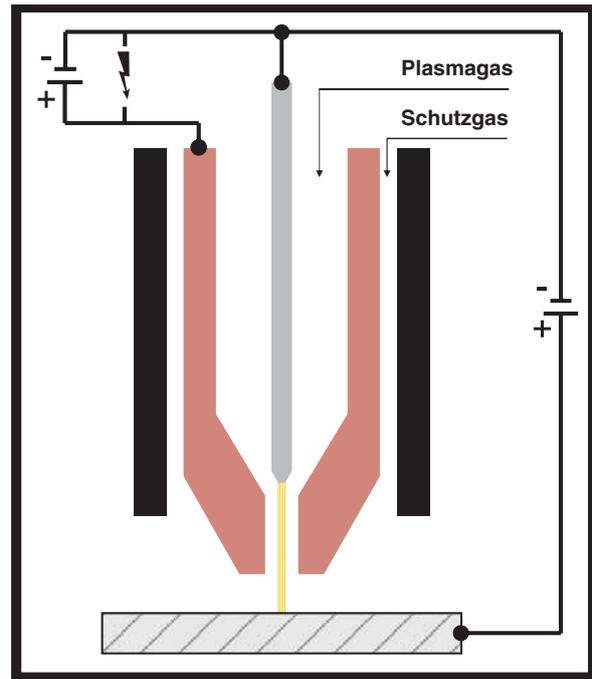
Das Plasmaschweißen ist eines der jüngsten Schmelzschweißverfahren. Es gehört zum Wolfram-Schutzgasschweißen, Kurzzeichen: WP, und wurde erst in den 60iger Jahren in Deutschland eingeführt. Der Internationale Standard ISO 857-1 erklärt das Plasmaschweißen (Prozess-Nr. 15) aus dem Englischen übersetzt wie folgt: Lichtbogenschweißen unter Benutzung eines eingeschnürten Lichtbogens.

Schon sehr früh wurde versucht, die Leistungsdichte im Lichtbogen zu erhöhen, in dem man ihn einschnürte. Infolge der hohen Energiedichte in einem solchen Lichtbogen entsteht ein gasförmiger Zustand der Materie, in dem sie sich bei hohen Temperaturen in heftiger Bewegung befindet, besondere elektrische Eigenschaften hat und hell leuchtet. der Physiker Langmuir nannte diesen Zustand „Thermisches Plasma“. Es besteht aus einem Gemisch aus Ionen, Elektronen, und neutralen Teilchen, ist aber weitgehend ionisiert. Dieser Zustand der Materie ist im Kern eines jeden Lichtbogens anzutreffen, in einem eingeschnürten Lichtbogen wegen der hohen Energiedichte jedoch in viel größerem Maße. Wie beim WIG-Verfahren ist die Zugabe des Zusatzwerkstoffes beim Plasmaschweißen von der Stromstärke entkoppelt, d.h. die Einstellung der Schweißparameter kann auf die Bedürfnisse des Schweißprozesses konzentriert werden. Im Bereich der Schweißtechnik wird das thermische Plasma zum Schweißen, zum thermischen Spritzen und zum Schmelzschnitten eingesetzt. Im Rahmen dieser Broschüre wird im Wesentlichen nur die Anwendung zum Schweißen behandelt.

## 2 Das Verfahren

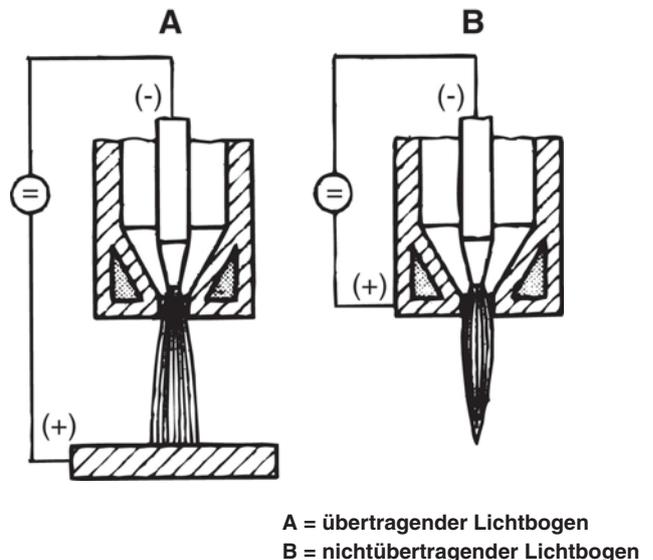
### 2.1 Allgemeines

Die Einschnürung des Lichtbogens erfolgt durch eine wassergekühlte Kupferdüse mit enger Bohrung, durch die der Lichtbogen hindurch gezwängt wird, **Bild 1**. Er nimmt dabei eine fast zylindrische Gestalt an und divergiert nur noch um einige Grad. Daraus resultiert die hohe Energiedichte. Im Innern der Plasmadüse brennt



**Bild 1: Prinzip des Plasmaschweißens**

der Lichtbogen an der nadelförmigen Wolframelektrode. Sie wird umspült vom Plasmagas. Das durch die kleine Einschnürbohrung austretende Gas kann beim Schweißen natürlich einen weiträumigen Schutz der Schweißstelle nicht übernehmen. Es wird deshalb aus einer zweiten Düse noch Schutzgas zugeführt. Nach der Art des Lichtbogens kann man unterscheiden zwischen dem übertragenden Lichtbogen und dem nichtübertragenden Lichtbogen, **Bild 2**. Im ersten Fall liegt der Schweißstrom-



A = übertragender Lichtbogen  
B = nichtübertragender Lichtbogen

**Bild 2: Lichtbogenarten**

kreis zwischen der Elektrode und dem Werkstück. Diese Variante wird auch Plasmalichtbogenschweißen genannt. Im zweiten Fall wird der Lichtbogen zwischen Elektrode und wassergekühlter Kupferdüse gezündet. Der Lichtbogen brennt dann nur innerhalb des Brenners und die heißen Gase treten in Form eines Strahles aus - Plasmastrahlschweißen. Diese Variante hat aber beim Schweißen und Schneiden keine Bedeutung, wohl aber beim Plasmaspritzen.

## 2.2 Stromart

Zum Plasmaschweißen von Stahl wird in der Regel Gleichstrom eingesetzt und der Minuspol der Stromquelle liegt an der Elektrode. Neben Schweißen mit gleichförmigem Strom wird auch das Impulsschweißen eingesetzt. Beim Schweißen von Aluminiumwerkstoffen wird wegen der fehlenden Reinigungswirkung beim Minuspolschweißen am Pluspol geschweißt, jedoch können wegen der geringen Strombelastbarkeit der Elektrode am Pluspol nur geringe Stromstärken angewendet werden. Einen Kompromiss stellt das Wechselstromschweißen dar, das ausreichende Reinigungswirkung mit höherer Strombelastbarkeit verbindet. Moderne Anlagen zum Wechselstromschweißen arbeiten mit rechteckförmigem Wechselstrom. Eine neuere Variante ist das Plasmaschweißen von Aluminium am Gleichstrom-Minuspol unter hochheliumhaltigen Schutzgasen.

## 2.3 Elektroden

Zum Plasmaschweißen werden die gleichen Wolframelektroden verwendet wie zum WIG-Schweißen. Sie werden wegen des hohen Schmelzpunktes von Wolfram pulvermetallurgisch durch Sintern mit nachfolgendem Verdichten und Verfestigen hergestellt, und sind in DIN EN 26848 (ISO 6848) genormt, **Tabelle 1**. Die Durchmesser liegen zwischen 1,6 mm und 8mm. Am meisten verwendet werden Durchmesser zwischen 1,6 mm und 4 mm. Elektroden mit oxidischen Beimengungen zeichnen sich gegenüber Elektroden aus reinem Wolfram durch eine höhere Strombelastbarkeit bzw. längere Standzeit aus, weil sie sich bei gleichen Stromstärken weniger erwärmen. Dies hängt

Kurzzeichen	Zusammensetzung				Kennfarbe
	Oxidzusatz % (m/m)	Art	Verunreinigungen % (m/m)	Wolfram % (m/m)	
WP	-	-		99,8	grün
WT 4	0,35 bis 0,55	ThO <sub>2</sub>	≤ 0,20	Rest	blau
WT 10	0,80 bis 1,20				gelb
WT 20	1,70 bis 2,20				rot
WT 30	2,80 bis 3,20				violett
WT 40	3,80 bis 4,20				orange
WZ 3	0,15 bis 0,50	ZrO <sub>2</sub>			braun
WZ 8	0,70 bis 0,90		weiß		
WL 10	0,90 bis 1,20	LaO <sub>2</sub>			schwarz
WC 20	1,80 bis 2,20	CeO <sub>2</sub>			grau

**Tabelle 1: Wolframelektroden nach DIN EN 26848**

damit zusammen, dass die Elektronenaustrittsarbeit aus den in der Elektrode eingeschlossenen Oxiden niedriger ist, als aus dem reinen Metall. Auch die Zündfreudigkeit oxidhaltiger Elektroden ist besser. Anstelle der früher hauptsächlich verwendeten thorierten Elektroden, werden in letzter Zeit vermehrt ceroxidhaltige Elektroden verwendet. Weil Thorium ein Alphastrahler ist, senden thoriumoxidhaltige Elektroden eine schwache radioaktive Strahlung aus. Beim Gleichstrom-Minuspol-Schweißen werden die Elektroden wie beim WIG-Schweißen spitz angeschliffen. Zum Gleichstrom-Pluspol-Schweißen und zum Wechselstromschweißen, das bei Aluminium vorkommt, liegen die Elektrodenenden dagegen nur kegelstumpfförmig vor oder werden gar nicht angeschliffen.

## 2.4 Gase zum Plasmaschweißen

Auch beim Plasmaschweißen werden Gase eingesetzt, die in DIN EN 439 genormt sind. Beim Schweißen wird als Plasmagas, auch Zentrumsgas genannt, in der Regel Argon verwendet, weil es leicht ionisierbar ist, und deshalb einen hohen Ionisierungsgrad erreicht. Beim Schweißen von Chrom-Nickel-Stählen und von Nickelbasislegierungen werden dem Argon auch geringe Mengen von Wasserstoff zugegeben, wodurch die Wärmeübertragung verbessert wird und höhere Schweißgeschwindigkeiten möglich sind. Einen ähnlichen Effekt erreicht man beim Schweißen von Aluminium, Titan und Zirkon durch Zumischen von Helium ins

Plasmagas. Als äußeres Schutzgas kommen in der Regel bei unlegierten und hochlegierten Stählen Argon oder Argon/Wasserstoff-Gemische zum Einsatz. Zum Schweißen von un- und niedriglegierten Stählen können aber auch aktive Mischgase auf der Basis Argon/Kohlendioxid oder Argon/Sauerstoff verwendet werden. Zum Schweißen von Aluminium, Titan und Zirkon werden neben Argon als Schutzgas auch Argon/Helium-Gemische eingesetzt.

## 2.5 Schweißzusätze

Die Zugabe des Schweißzusatzes geschieht beim manuellen Schweißen wie beim WIG-Schweißen durch Zugabe von Stäben. Bei der vollmaschinellen Anwendung des Verfahrens wird mittels einer besonderen Zuführungseinheit drahtförmiger Schweißzusatz eingeschmolzen. Beim Plasmapulverschweißen erfolgt die Zugabe von Zusatzwerkstoff in Form von Metallpulver, und zwar beim Auftragschweißen in einem separaten Fördergasstrom, beim Plasmapulververbindungs-schweißen mit dem Schutzgas. Die Zusatzwerkstoffe für das Plasmaschweißen sind die gleichen wie beim WIG-Schweißen. Sie sollten im Vergleich zum Grundwerkstoff artgleich oder etwas überlegiert sein.

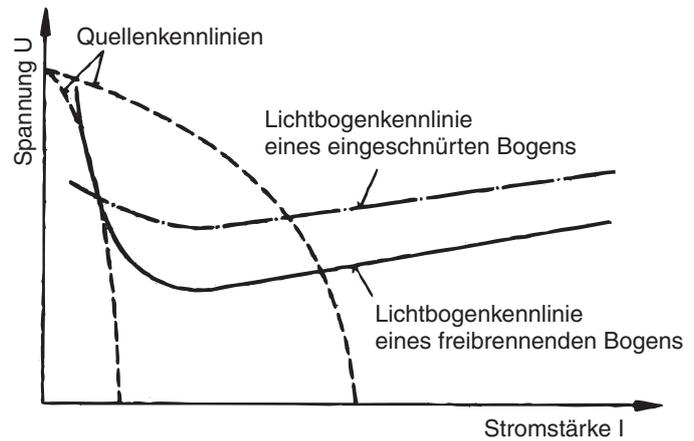
## 3 Einteilung des Plasmaschweißens

Beim Plasmaschweißen wird ausschließlich mit übertragenem Lichtbogen geschweißt. Nach der Art der Anwendung kann man zunächst in Plasmaverbindungsschweißen und Plasmaauftragschweißen unterscheiden. Beim Verbindungsschweißen ergibt sich eine weitere Unterteilung nach der Leistung. Hierauf wird im Folgenden noch näher eingegangen

### 3.1 Plasmaverbindungsschweißen

#### 3.1.1 Mikroplasmaschweißen

Bisher war immer von der hohen Energiedichte des Verfahrens durch den eingeschnürten Lichtbogen die Rede, was den Eindruck erwecken könnte, dass das Plasmaschweißen nur für dickere Werkstücke geeignet wäre. Tatsächlich ergeben sich aber gerade bei sehr dünnen Materialien andere typische Vorteile des eingeschnürten Lichtbogens gegenüber dem WIG-



**Bild 3: Arbeitspunkte bei freibrennenden und eingeschnürten Lichtbögen**

Schweißen. Beim Schweißen im Folien- und im Dünnstblechbereich sind zum Teil Stromstärken von nur wenigen Ampere oder sogar unter einem Ampere notwendig. Der WIG-Lichtbogen ist bei so geringen Strömen sehr instabil, weil sich kein definierter Arbeitspunkt einstellt. **Bild 3** veranschaulicht dies in schematischer Darstellung [1]. Die zum WIG-Schweißen verwendeten Stromquellen haben besonders bei niedrigen Stromstärken eine nahezu senkrechte fallende Charakteristik. Ebenfalls einen nahezu senkrechten Verlauf hat die Kennlinie eines nichteingeschnürten Lichtbogens bei niedrigen Stromstärken, im sogenannten Ayrton'schen Bereich. Dadurch stellt sich am Arbeitspunkt kein exakter Schnittpunkt sondern nur eine schleifende Berührung zwischen beiden Kennlinien ein, was zu der erwähnten Instabilität des Lichtbogens führt. Der senkrecht fallende Teil der Lichtbogenkennlinie fehlt bei einem eingeschnürten Lichtbogen, sodass dieser auch bei sehr niedrigen Stromstärken auf einem exakten Arbeitspunkt noch stabil brennt. Mit dem Plasmalichtbogen lassen sich deshalb z.B. im Folienbereich Werkstücke von nur 1/100 mm Dicke noch mit Strömen unter 1 Ampere stumpf verbinden. Man nennt diesen Bereich bis etwa 50 Ampere deshalb Mikroplasmaschweißen. Es wird meist manuell ausgeführt.

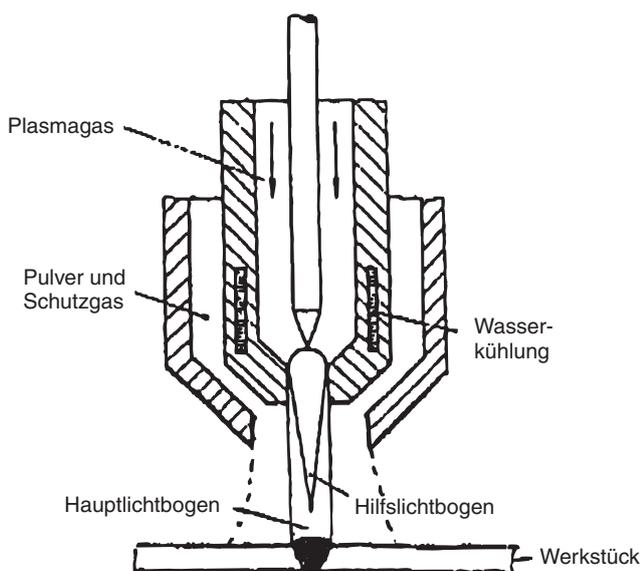
#### 3.1.2 Softplasmaschweißen

Wenn man die Öffnung der Einschnürdüse gegenüber dem, was bei normalen Plasmabrennern üblich ist, etwas vergrößert, entsteht ein Lichtbogen, der weniger eingeschnürt und

energiereich ist und in seiner Wirkung etwa zwischen dem WIG- und dem Plasmalichtbogen liegt. Er bietet Vorteile beim manuellen Schweißen im Blechdickenbereich zwischen 1 mm und 2 mm.

### 3.1.3 Dickblechplasma-schweißen

Diesen Bereich, der etwa bis zu Materialdicken von 10 mm reicht, muß man unterteilen in den Bereich der Durchdrücktechnik und den Bereich der Schlüsselochtechnik. Der erstgenannte Bereich erhielt seinen Namen davon, dass die Wärme nur von der Oberfläche aus zugeführt und durch Wärmeleitung an die tieferliegenden Schichten weitergegeben wird. Das Schweißgut wird durch den Druck des Plasmalichtbogens nach unten durchgedrückt und bildet auf der Rückseite eine Wurzel. Im Durchdrückbereich kann sowohl manuell als auch vollmechanisch geschweißt werden. Bei Blechdicken über etwa 2,5 mm ist eine Technik anwendbar, die als Schlüsselochtechnik bekannt ist. Der Plasma-lichtbogen durchstößt die gesamte Blechdicke und bildet eine Schweißöse aus. Über diese Öse erfolgt die Wärmeübertragung nicht nur von der Oberfläche aus sondern auch über den gesamten vom Strahl durchdrungenen Querschnitt. Dadurch verbessert sich der Wirkungsgrad des Verfahrens und die mögliche Schweißgeschwindigkeit steigt gegenüber den bei der Durchdrücktechnik erreichbaren Geschwindigkeiten sprunghaft an. Das flüssige Schmelzbad

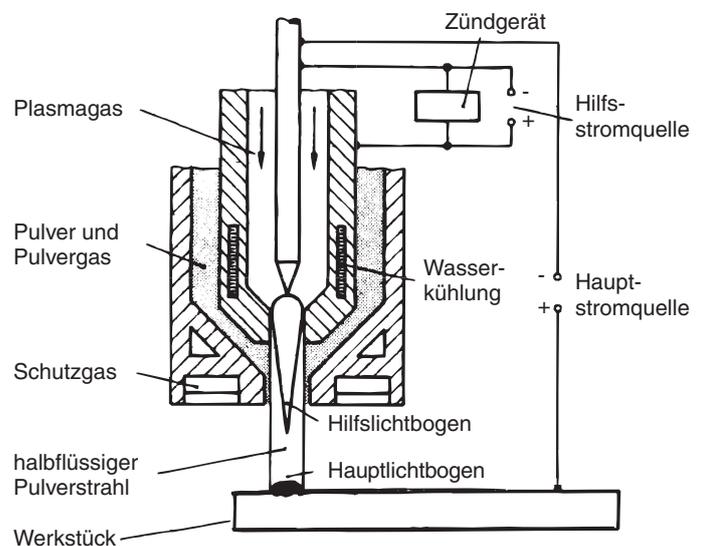


**Bild 4: Prinzip des Plasmapulververbindungsschweißens**

wird vom Plasmastrahl zur Seite gedrückt, fließt aber am hinteren Rand der Öse wieder zusammen und erstarrt dort zur Schweißraupe. Natürlich muss hierbei alles stimmen, z.B. der Abstand des Brenners zum Werkstück und die Schweißgeschwindigkeit. Diese Art des Schweißens ist deshalb nur vollmechanisch möglich.

### 3.1.4 Plasmapulververbindungsschweißen

Eine neuere Variante des Plasmaschweißens ist das Plasmapulververbindungsschweißen, **Bild 4** [2]. Im Gegensatz zum Plasmapulverauftragschweißen, über das im folgenden



**Bild 5: Prinzip des Plasmapulverauftragschweißens**

Abschnitt berichtet wird, ist hierbei kein besonderer Fördergasstrom für den pulverförmigen Schweißzusatz erforderlich. Er wird mit dem Schutzgas zugegeben. Dadurch können die Abmessungen des Brenners kleiner gehalten werden. Wenn man die Vorteile dieses Verfahrens herausstellen will, muss man es mit dem WIG-Schweißen vergleichen. Bei der manuellen Anwendung behält der Schweißer eine Hand frei, weil die Zugabe des stabförmigen Schweißzusatzes entfällt. Er kann sich deshalb mehr auf den eigentlichen Schweißprozess konzentrieren. Beim vollmechanischen WIG-Schweißen, wo der Zusatzdraht meist hinter dem Brenner zugegeben wird, muss bei Kurvenfahrten der ganze Schweißkopf samt der Drahtzuführungsdüse mitgedreht werden, weil sonst der Draht nicht einwandfrei im

Schmelzbad abschmelzen kann. Diese Drehbewegung führt beim Roboterschweißen die letzte Handachse aus, die damit für andere Zustellbewegungen des Brenners ausfällt. Beim Plasmapulverschweißen ist eine solche Drehbewegung des Kopfes nicht erforderlich, weil der pulverförmige Zusatz konzentrisch um den Lichtbogen herum zugegeben wird.

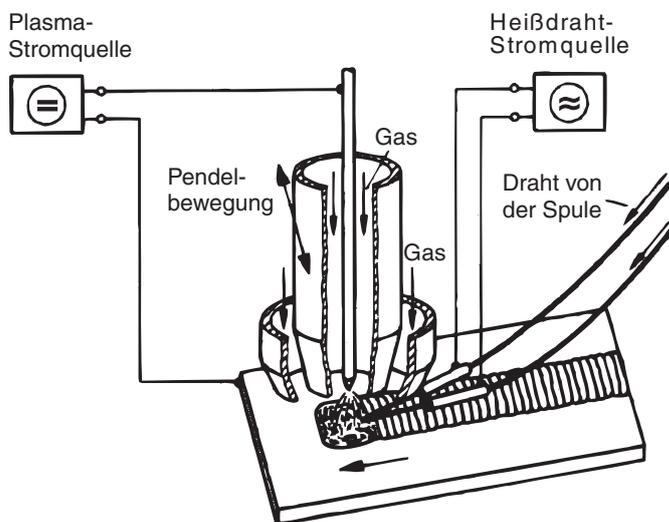
### 3.2 Plasmaauftragschweißen

Beim Plasmapulverauftragschweißen, **Bild 5** [1], wird pulverförmiger Schweißzusatz in einem separaten Fördergasstrom zugegeben. Er schmilzt in einem nichtübertragenen Hilfslichtbogen, der zwischen Elektrode und wassergekühlter Kupferdüse brennt, bereits teilweise auf. Der übertragene Hauptlichtbogen schmilzt den Grundwerkstoff an und aus aufgeschmolzenem Grundwerkstoff und abgeschmolzenem Zusatzwerkstoff entsteht durch Vermischung die Schweißraupe. Durch Abstimmung der Stromstärke und der abgeschmolzenen Pulvermenge kann die Schweißgutzusammensetzung optimal eingestellt werden. Beim Plasmaheißdrahtschweißen, **Bild 6** [1] werden zwei Drähte an einer eigenen Stromquelle durch Widerstandserwärmung vorgewärmt und schmelzen dann im Schmelzbad eines Plasma-lichtbogens auf. Während der Weiterbewegung des Schweißkopfes in Schweißrichtung wird das gesamte System quer zur Schweißrichtung gependelt, sodass Auftragsraupen von bis zu 60 mm Breite entstehen. Auch bei diesem Verfahren

ist wie beim Plasmapulverauftragschweißen der Einbrand und damit die Vermischung gering, sodass zum Erreichen der gewünschten Zusammensetzung an der Oberfläche nur wenige Lagen erforderlich sind.

### 3.3 Plasmalöten

Mit dem zunehmenden Einsatz von verzinkten Blechen in der Automobilindustrie kommt anstelle des Schweißens mehr und mehr das Lichtbogenlöten zur Anwendung. Neben dem MIG-Löten hat sich seit kurzem auch das Plasmalöten einen festen Anwendungsbereich erschlossen. Diese Verfahrensvariante unterscheidet sich vom Mikro- oder Softplasma-schweißen hauptsächlich durch die Art des Zusatzwerkstoffes. Anstelle der beim Schweißen üblichen artgleichen oder artähnlichen Stahldrähte oder -stäbe werden hier Kupferbasislegierungen eingesetzt. Für verzinkte Bleche sind dies Silizium- oder Zinnbronzen, für aluminierete Bleche werden auch Aluminiumbronzen verwendet. Durch den niedrigen Schmelzpunkt dieser Zusätze werden die metallischen Überzüge viel weniger durch Verdampfen und Verbrennen geschädigt, als beim Lichtbogenschweißen. Gegenüber dem MIG-Löten werden ein besseres Nahtaussehen und bessere Festigkeits- und Zähigkeitswerte des Lötgutes erreicht.



**Bild 6: Prinzip des Plasmaheißdrahtschweißens**



**Bild 7: Handbrenner zum Plasmalöten**

Das Plasmalöten setzt aber gegenüber dem Schweißen eine etwas andere Brennerführung voraus. Der Lichtbogen wird weniger auf den Grundwerkstoff gerichtet, sondern steht mehr auf einer Zunge vorlaufenden Lötgutes. Dadurch wird ein Anschmelzen der Bleche

weitgehend vermieden, es wird aber genügend Wärme in die zu verbindenden Partner gebracht, um durch Diffusion und Adhäsionskräfte eine Lötverbindung entstehen zu lassen. Das Verfahren kann manuell mit von Hand zugegebenem stabförmigem Zusatz ausgeführt werden, es ist aber auch eine kontinuierliche Zugabe des Lötdrahtes zum Brenner durch ein separates Zuführungsgerät möglich. **Bild 7** zeigt einen Plasmabrenner mit Kaltdrahtzuführung zum manuellen Löten. Bei der vollmechanischen Anwendung wird ein Maschinenbrenner eingesetzt, wobei der Zusatzdraht ebenfalls kontinuierlich an die Lötstelle gebracht wird. Die Brennerführung kann auch durch einen Schweißroboter erfolgen.

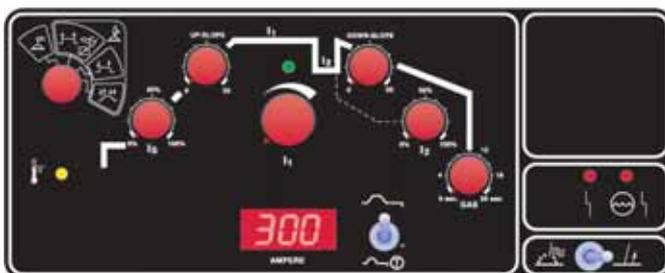
## 4 Einrichtungen zum Plasmaschweißen

Eine Anlage zum Plasmaschweißen besteht aus der Stromquelle, der Steuerung und dem Brenner.

### 4.1 Steuerung

Die Steuerung hat die Aufgabe den Schweißstrom zu schalten, zu stellen und konstant zu halten. **Bild 8** zeigt das Display einer Schweißanlage für das Plasma-Gleich-

Schweißgerät-Steuerung INTIG03



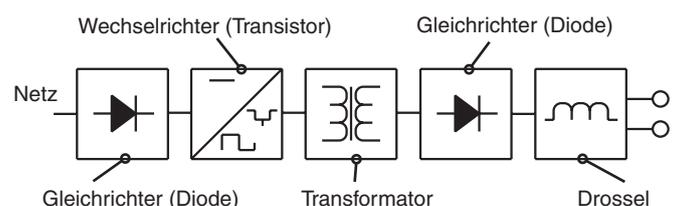
**Bild 8:** Display der Steuerung einer Plasmaschweißanlage

stromschweißen. Einige Parameter lassen sich bei dieser Anlage voreinstellen, wie die Gasvorströmzeit und der Hilfslichtbogenstrom. Neben dem Hauptstrom lassen sich einstellen der Startstrom, das rampenförmige An- und Abfahren des Stromes (Up-Slope/Down-Slope) und die Gasnachströmzeit. Die Plasma-Stromquelle ist mit einem Hochspannungs-

impulszündgerät ausgestattet. Durch die Hochspannungsimpulse, einer Wechselspannung von einigen tausend Volt, wird zunächst zwischen der wassergekühlten Kupferdüse und der Elektrode ein schwacher, nicht übertragender Lichtbogen gezündet, der sogenannte Hilfslichtbogen. Dieser bleibt auch während des Schweißens eingeschaltet. Er ionisiert die spätere Lichtbogenstrecke vor, sodass der Lichtbogen berührungslos zünden kann, wenn der Hauptstromkreis eingeschaltet wird.

### 4.2 Stromquelle

Die Stromquelle hat die Aufgabe, den aus dem Netz kommenden Wechselstrom mit hoher Spannung und niedriger Stromstärke in Schweißstrom mit niedriger Spannung und einstellbarer hoher Stromstärke umzuwandeln. Moderne Stromquellen für das Plasmaschweißen arbeiten nach dem Inverterprinzip. Der Inverter ist eine elektronische Stromquelle, die nach einem völlig anderen Wirkprinzip arbeitet als konventionelle Stromquellen (**Bild 9**). Der aus dem Netz kommende Strom wird zunächst gleichgerichtet und danach, damit er transformierbar wird, durch Ein- und Ausschalten in kurze Abschnitte zerteilt. Diesen Vorgang nennt man Takten. Er wird ermöglicht durch schnell reagierende elektronische Schalter, die Transistoren. Die ersten transistori-



**Bild 9:** Blockschaubild eines Inverters der 3. Generation, Taktfrequenz bis zu 100 Hz

sierten Inverter arbeiteten mit einer Taktfrequenz von etwa 25 kHz. Heute sind mit weiterentwickelten Transistoren Taktfrequenzen von 100 kHz und mehr möglich. Nach dem „Zerhacken“ (Takten) des Stromes wird der Strom auf die erforderliche hohe Stromstärke und niedrige Spannung transformiert. Hinter dem Trafo entsteht dann ein rechteckförmiger Wechselstrom,

der anschließend noch einmal gleichgerichtet wird. Die hohe Taktfrequenz hat den Vorteil, dass die erforderliche Masse des Trafos sehr klein gehalten werden kann. Sie ist nämlich von der



**Bild 10: Schweißanlage zum Plasmaschweißen**

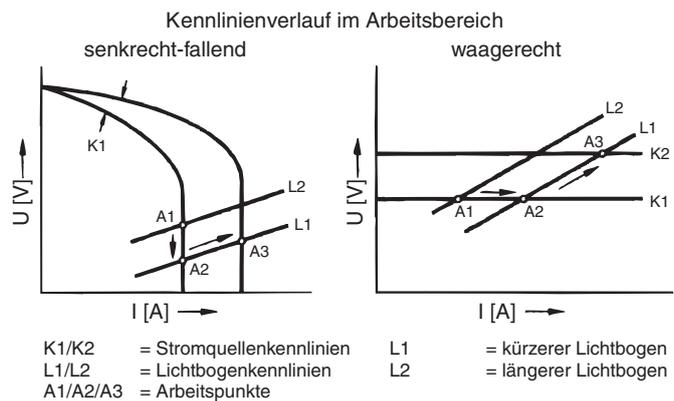
Frequenz des zu transformierenden Stromes abhängig. Dadurch ist es möglich, Leichtgewichtsstromquellen herzustellen. Eine neuzeitliche Anlage für das Plasmaschweißen von Dickblechen mit einer Leistung von 400 A wiegt deshalb einschließlich aller Nebenaggregate nur noch ca. 100 kg – **Bild 10**. Anlagen zum Mikroplasmaschweißen **Bild 14** wiegen nur einige Kilogramm.

Bei den elektronischen Stromquellen wird vieles, was bei konventionellen Stromquellen mit Komponenten wie Widerständen, Drosseln und Kondensatoren erreicht wird, durch die Steuerung elektronisch gelöst. Die Steuerung dieser Stromquellen ist deshalb ebenso wichtig wie der Leistungsteil. Das Stellen des Stromes geschieht z.B. bei getakteten Quellen durch Verändern des Verhältnisses zwischen den Stromein-/Stromauszeiten. Auch die Veränderung der Taktfrequenz kann zum Verstellen der Stromhöhe benutzt werden. Um impulsförmigen Strom zu erzeugen, wird das Verhältnis der Ein-/Auszeiten durch die Steuerung zyklisch verändert.

Durch die neue Technik wurde aber auch die stromgeregelt Stromquelle möglich, welche die Schweißtechnik schon lange gefordert hatte. Die elektronische Regelung vergleicht den eingestellten Schweißstrom-Sollwert mit dem -Istwert

und hält diesen selbst bei größeren Änderungen der Schweißspannung konstant. Ein verbesserter Wirkungsgrad, sowie  $\cos \phi$  und geringere Leerlaufverluste der Inverterstromquellen ergeben sich schon aus der geringeren Masse des Trafos. Inverter-Stromquellen für das Plasmaschweißen haben in der Regel eine im Arbeitsbereich senkrecht fallende Kennlinie (Konstantstromcharakteristik), **Bild 11-links**. Bei einer solchen Charakteristik verändert sich die Stromstärke bei Längenänderungen des Lichtbogens nicht.

Für das Plasmaschweißen mit Wechselstrom werden elektronische Stromquellen verwendet, die einen künstlichen rechteckförmigen Wechselstrom abgeben. Dieser wird erzeugt, in dem der Plus- und der Minuspol einer Gleichstromquelle in schneller Folge durch elektronische Schalter, heute in der Regel



**Bild 11: Konstantstrom- und Konstantspannungscharakteristiken**

Transistoren, abwechselnd auf die Elektrode geschaltet werden. Da diese Schaltvorgänge sehr schnell erfolgen, entsteht auf diese Weise ein rechteckförmiger Wechselstrom mit sehr steilem Nulldurchgang beim Wechsel der Polarität. Die Frequenz des Wechselstromes kann in der Regel zwischen 30 Hz und 300 Hz verändert werden. Ferner ist die Balance der Wechselstromhalbwellen verstellbar, und zwar meist zwischen 20% Plus/80% Minus und 80% Plus/20% Minus. Mit dem Anteil der beiden Halbwellen können die Strombelastbarkeit der Wolframelektrode und die Einbrandwirkung des Lichtbogens beeinflusst werden.

### 4.3 Schweißbrenner

Für das Mikroplasma-schweißen, das meist manuell angewendet wird, werden leichte Brenner verwendet, die in Form und Größe etwa den beim WIG-Schweißen verwendeten Brennern ähneln, **Bild 12**. Bei höheren Schweißströmen muss der Brenner intensiv wassergekühlt werden. Hierdurch und durch die erforderlichen zwei Schutzgasströme nimmt der Brenner Maße an, welche die manuelle Anwendung des Verfahrens erschweren. Für die vollmechanische Variante des Plasmaschweißens werden deshalb Maschinenbrenner eingesetzt. **Bild 13** zeigt einen Maschinenbrenner zum Plasmaverbindungsschweißen.



**Bild 12:** Handbrenner zum Plasmaschweißen



**Bild 13:** Maschinenbrenner zum Plasmaschweißen

## 5 Durchführung des Schweißens

Vor Beginn des Schweißens sind die Fugenflanken im Schweißnahtbereich gründlich zu säubern. Sie müssen metallisch blank und frei von Fett, Schmutz, Oxiden und Farbresten sein. Das Säubern kann durch mechanische Bearbeitung, Schleifen oder Bürsten erfolgen. Bei korrosionsbeständigen Werkstoffen dürfen nur Bürsten mit Borsten aus nichtrostendem Stahl verwendet werden.

Zum Reinigen und Entfetten sind geeignete Lösungsmittel zu benutzen. Achtung: Bei Verwendung chlorhaltiger Lösungsmittel können giftige Dämpfe entstehen.

### 5.1 Einstellen der Schutzgasmenge

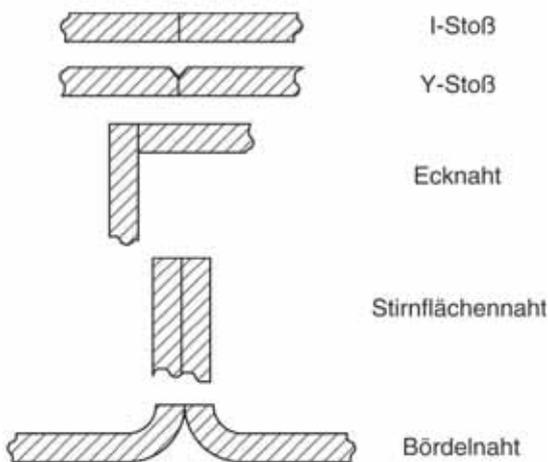
Die Plasmagasmenge ist abhängig von der zu schweißenden Werkstückdicke und damit von der Brennergröße. Sie liegt beim Mikroplasma-schweißen zwischen 0,2 l/min und 1 l/min und beim Dickblechplasmaschweißen zwischen 1 l/min und 6 l/min. Die Menge des äußeren Schutzgases beträgt dementsprechend 5-10 l/min bzw. 15-25 l/min. [1]. Das Messen der Durchflussmenge kann indirekt mit Manometern erfolgen, die den der Durchflussmenge proportionalen Druck vor einer eingebauten Staudüse messen. Die Skala des Manometers ist dann direkt in l/min geeicht. Genauer sind Messgeräte, die mittels Glasröhrchen und Schwebekörper direkt in dem zum Brenner fließenden Schutzgasstrom messen. **Bild 14** zeigt die Gasdosiereinheit an der Schweißanlage Mikroplasma 50.



**Bild 14:** Gasdosiereinheit an der Microplasma-schweißanlage "Microplasma 50"

## 5.2 Fugenvorbereitung

Die beim Plasmaverbindungsschweißen am meisten verwendeten Fugenformen zeigt **Bild 15**. Wegen des guten Einbrandverhaltens werden die Werkstückkanten häufig nur als I-Stoß vorbereitet und aufgeschmolzen, ohne dass Schweißzusatz zugeführt wird. Bei dickeren Blechen, die sich nicht in einer Lage als I-Stoß durchschweißen lassen, wird ein Y-Stoß vorbereitet. Der V-förmige obere Teil der Fuge muss dann aber mit Zusatzwerkstoff aufgefüllt werden. Dafür gibt es Plasmabrenner mit integrierter Kaltdrahtzuführung – **Bild 16**. Es kommen ferner Bördelnähte, Stirnflächennähte und Ecknähte vor.

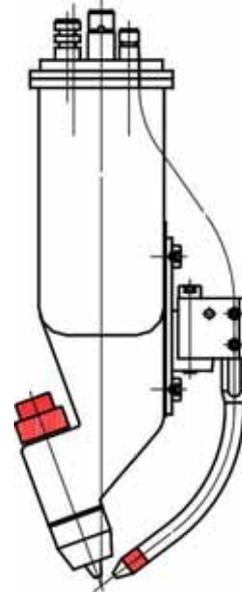


**Bild 15: Typische Fugen für das Plasmaschweißen**

## 5.3 Formieren

Hierunter versteht man die zusätzliche Zugabe von Schutzgas an die Wurzelrückseite, wo der zu schweißende Werkstoff auch im flüssigen Zustand vorliegt, aber nicht vom Schutzgas, das auf der Oberseite zugeführt wird, erreicht wird. Im Gegensatz zum WIG-Schweißen wirkt die Naht beim Plasmaschweißen durch die höhere Schweißgeschwindigkeit weniger „verbrannt“, wenn nicht formiert wird. Das kalte Formiergas hilft aber auch bei der Formung der Wurzelrückseite mit. Daher kommt der Name „Formiergas“. Durch das Formieren wird auch die Bildung von Oxidhäuten und Anlauffarben auf der Wurzelrückseite verhindert, oder zumindest vermindert. Dies ist z.B. beim Schweißen von

korrosionsbeständigen Stählen wichtig, weil solche Oxidhäute die Korrosionsbeständigkeit der Schweißverbindung herabsetzen. Beim Schweißen von Rohren können die Enden einfach versperrt und das Formiergas in das Innere eingeleitet werden. Beim Schweißen von



**Bild 16: Plasmabrenner mit integrierter Kaltdrahtzuführung**

Blechen läßt man es aus Öffnungen der Badsicherungsschiene ausströmen. Als Formiergas kann Argon oder ein Argon/Wasserstoff-Gemisch verwendet werden. In DIN EN 439 sind in der Gruppe F aber auch preiswerte Formiergase genormt. Diese bestehen z.B. aus einem Wasserstoff/Stickstoff-Gemisch. Auch reiner Stickstoff kann unter bestimmten Umständen zum Formieren verwendet werden.

## 5.4 Zünden des Lichtbogens

Zuerst wird der nichtübertragende Hilfslichtbogen im Innern des Brenners zwischen Wolframelektrode und Einschnürdüse gezündet. Dieser ionisiert die Gasstrecke zwischen Brenner und Grundwerkstoff vor, sodass nach Einschalten des Schweißstromes der Hauptlichtbogen berührungslos zünden kann, wenn der Brenner sich dem Werkstück auf einige Millimeter Abstand genähert hat. Der Hilfslichtbogen ist für den Schweißer hinter dem dunklen Schutzglas zu erkennen und hilft ihm, den Schweißnahtbeginn besser zu finden (Pilotlichtbogen).

## 5.5 Führen des Brenners

Beim manuellen Plasmaschweißen wird wie beim WIG-Schweißen das Nach-Links-Schweißen bevorzugt, d.h. der Schweißstab wird in Schweißrichtung vor dem Brenner geführt. Das manuelle Schweißen wird beim Mikroplasma-schweißen, beim Softplasma-schweißen, bei Anwendung der Durchdruck-technik und beim Plasmapulververbindungs-schweißen angewandt. Bei letzterem wird der Schweißzusatz, wie bereits erwähnt, pulverförmig konzentrisch um die Plasmadüse herum zugegeben. Dagegen wird das Plasma-schweißen mit Stichlochtechnik und das Plasmapulverauftragschweißen in der Regel nur vollmechanisch angewendet. Hier sind zusätzliche Investitionen für Fahrwerke zum Führen des Brenners in Schweißrichtung oder für die Bewegung des Werkstücks unter dem feststehenden Brenner erforderlich.

## 5.6 Magnetische Blaswirkung

Im Gegensatz zum WIG-Lichtbogen ist der Plasmalichtbogen wesentlich richtungsstabiler. Er wird durch äußere Magnetfelder deshalb weniger beeinflusst. Trotzdem sollte man die allgemeinen Regeln zur Vermeidung der Blaswirkung auch beim Plasmaschweißen beachten, d.h. beim Wurzelschweißen sollten die Heftstellen eng beieinanderliegen und die abstoßende Wirkung des Gegenpols durch entsprechende Anbringung des Masseanschlusses am Werkstück genutzt werden.

## 5.7 Schweißpositionen

Das Plasmaverbindungsschweißen wird bei der manuellen Anwendung nur in den Positionen waagrecht (PA) und horizontal (PB) angewendet. Beim vollmechanischen Schweißen werden Längsnähte in Position PA geschweißt und Rundnähte in Position PA oder als Quernaht in Position PC. Das Plasmaauftragschweißen wird in der Regel nur in Position PA ausgeführt.

## 5.8 Beenden des Schweißens

Beim Beenden des Schweißens wird der Strom rampenförmig heruntergefahren, um den Endkrater klein zu halten. Dies ist besonders wichtig beim Schweißen in Schlüsseloch-

technik. Hier muß u.U. auch der Gasdruck zum Ende der Naht hin heruntergefahren werden, um das Schlüsseloch zu schließen.

## 5.9 Schweißparameter

Neben den elektrischen Parametern Schweißstromstärke und Schweißspannung wird das Einbrandverhalten beim Plasmaschweißen auch von der Schweißgeschwindigkeit und vom Druck des Plasmagases, d.h. von der Menge des zugegebenen Plasmagases und dem Durchmesser der Einschnüroffnung beeinflusst. Die Schweißspannung ist wegen der größeren Länge des Lichtbogens höher als beim nah verwandten WIG-Schweißen.

Werkstück- dicke mm	Schweiß- strom A	Schweiß- spannung V	Plasma- gas l/min	Schutz- gas l/min	Schweiß- geschwind. cm/min
0,1	3	21	0,2	5	30
0,2	6	22	0,2	5	30
0,4	14	24	0,2	6	35
0,5	18	23	0,2	6	20
1,0	40	25	0,3	7	35

Fugenvorbereitung: I-Stoß ohne Spalt  
 Grundwerkstoff: X 5 CrNi 18.10  
 Plasmagas: Argon I1 - DIN EN 439  
 Schutzgas: Argon/Wasserstoff R1 - DIN EN 439  
 Schweißposition: PA

**Tabelle 2: Schweißparameter für das manuelle Mikroplasma-schweißen (Werte aus [5])**

Werkstück- dicke mm	Schweiß- strom A	Schweiß- spannung V	Plasma- gas l/min	Schutz- gas l/min	Schweiß- geschwind. cm/min
2,5	200	24	1,5	15	80
3,0	210	28	2,5	18	75
4,0	220	27	2,5	18	65
5,0	230	29	2,5	20	45
6,0	240	28	2,8	20	40
8,0	290	28	3,5	20	25

Fugenvorbereitung: I-Stoß  
 Grundwerkstoff: X 5 CrNi 18.10  
 Plasmagas: Argon I1 - DIN EN 439  
 Schutzgas: Argon/Wasserstoff R1 - DIN EN 439  
 Schweißposition: PA  
 Schweißzusatz: bei größerem Spalt ab 3 mm Blechdicke

**Tabelle 3: Schweißparameter für das vollmechanisierte Plasma-Stichloch-Schweißen (Werte aus [5])**

Die **Tabellen 2 und 3** [3] enthalten Schweißdaten zum Mikroplasma-schweißen und zum Dickblechplasma-schweißen von austenitischen Chrom-Nickel-Stählen.

### 5.10 Arbeitssicherheit

Das Plasmaschweißen ist, wie das WIG-Schweißen, ein sehr sauberes Verfahren. Es entstehen kaum schädliche Gase und Rauche, sodass ein Absaugen direkt am Entstehungsort nach den bestehenden Arbeitsschutzvorschriften nicht vorgeschrieben ist. Es genügt die freie Lüftung oder die technische Lüftung des Raumes. Der Schweißer muss sich aber vor der Strahlung des Lichtbogens und vor elektrischen Gefahren schützen. Gegen die infrarote und ultraviolette Strahlung trägt der Plasma-Schweißer in der Regel einen Kopfschirm, der ihm beide Hände frei hält für die Brennerführung und die Zugabe von Zusatzmaterial. In diesen Schutzschirm ist der Schweißerschutzfilter integriert. Diese Filter sind in DIN EN 169 genormt. Es gibt verschiedene Schutzstufen, die auf dem Glas dauerhaft aufgebracht sein müssen. Beim Plasma-Schweißen werden je nach angewandter Stromstärke Filter der Schutzstufen 9 bis 14 eingesetzt, wobei die Stufe 9 zu den geringeren Strömen gehört, z.B. beim Mikroplasma-schweißen, und 14 den höheren Stromstärken zugeordnet ist. Die höchste elektrische Gefährdung geht von der Leerlaufspannung aus. Dies ist die höchste Spannung, welche an der eingeschalteten Stromquelle zwischen den Anschlußbuchsen anliegt, wenn der Lichtbogen nicht brennt. Nach dem Zünden des Lichtbogens ist die Spannung wesentlich geringer, beim WIG-Schweißen z.B. nur etwa 12 bis 20 Volt. Nach der UVV VBG 15 dürfen Stromquellen für Gleichstrom im normalen Betrieb einen Scheitelwert der Leerlaufspannung von max. 113 Volt haben. Bei Wechselstromanlagen beträgt dieser Wert ebenfalls 113 Volt, jedoch ist der Effektivwert auf max. 80 Volt begrenzt. Unter erhöhter elektrischer Gefährdung, z.B. beim Schweißen in engen Räumen oder auf großen Eisenmassen, gelten für Wechselstrom herabgesetzte Werte, z.B. ein Scheitelwert von 68 Volt und ein Effektivwert von 48 Volt. Neuere Schweißstromquellen, die diese Forderung erfüllen, tragen nach DIN EN 60974-1 das

Zeichen „S“. Ältere Stromquellen können dagegen noch mit „K“ (Gleichstrom) oder „42V“ (Wechselstrom) gekennzeichnet sein. Gegen elektrische Schläge schützt der Schweißer sich am sichersten durch nicht beschädigte Schweißerhandschuhe aus Leder und gut isolierende Arbeitskleidung einschließlich Schuhwerk.

### 5.11 Besonderheiten verschiedener Werkstoffe

Das Plasmaschweißen eignet sich zum Verbindungsschweißen einer großen Palette von Stählen sowie Nichteisenmetallen und -legierungen.

#### 5.11.1 Un- und niedriglegierte Stähle

Für diese Werkstoffe ist das Plasmaschweißen gut einsetzbar, wenn bestimmte Besonderheiten beachtet werden. Bedingt durch den tiefen Einbrand und die für das Plasmaschweißen typischen Fugenformen mit großen Stegen, die aufgeschmolzen werden müssen, besteht das Schweißgut zu einem großen Anteil aus aufgeschmolzenem Grundwerkstoff. Bei unlegierten Stählen, zum Beispiel bei Rohrstählen, die wenig Silizium enthalten, kann das Schweißgut dann durch Aufnahme von Sauerstoff unberuhigt werden. Die Folge ist eine metallurgische Porenbildung im Schweißgut.

Bei der Chargenauswahl muß deshalb auf den Siliziumgehalt Rücksicht genommen werden, oder es müssen größere Anteile von Si/Mn-legiertem Zusatzwerkstoff zugesetzt werden.

#### 5.11.2 Hochlegierte Stähle

Für diese Werkstoffgruppe eignet sich das Plasmaschweißen mit Stichlochtechnik besonders gut. Die werkstoffspezifische Viskosität des Schweißgutes führt zu besonders flachen und feingefiederten Unterraupen. Mechanische Badsicherungen sind deshalb meist nicht notwendig.

Das intensivere Wärmeeinbringen durch den konzentrierten Lichtbogen wird kompensiert durch die, z.B. im Vergleich zum WIG-Schweißen, höhere Schweißgeschwindigkeit, sodass nachteilige Auswirkungen in Form von Heißrissigkeit oder verminderter Korrosions-

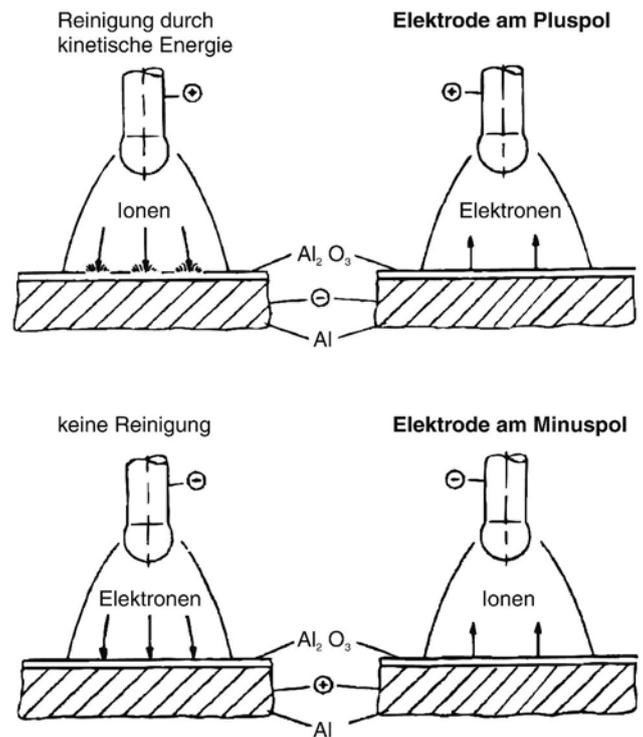
beständigkeit nicht zu befürchten sind. Bei Bauteilen, die später einer Korrosionsbeanspruchung ausgesetzt sind, müssen die vom Schweißen herrührenden Korrosionshäute zumindest auf der produktberührten Seite durch Bürsten, Strahlen, Schleifen oder Beizen entfernt werden, weil unter diesen ein verstärkter Korrosionsangriff erfolgen kann.

### 5.11.3 Aluminium und Aluminiumlegierungen

Das Schweißen von Aluminiumwerkstoffen am Minuspol mit Argon als Schutzgas ist nicht möglich. Die hochschmelzende Oxidschicht auf dem Bad kann damit nicht beseitigt werden. Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) hat einen Schmelzpunkt von etwa  $2050^\circ\text{C}$ . Der Grundwerkstoff, z.B. Reinaluminium schmilzt dagegen schon bei  $650^\circ\text{C}$ . Aluminium hat eine so große chemische Verwandtschaft zu Sauerstoff, sodass sich selbst wenn die Oberfläche des Grundwerkstoffs vor dem Schweißen durch Bürsten oder Schaben oxidfrei gemacht wurde, auf der Badoberfläche schnell wieder solche Häute bilden. Diese schmelzen wegen ihres hohen Schmelzpunktes nur direkt unter dem Lichtbogen teilweise auf. Der größte Teil der Nahtoberfläche wäre beim Schweißen mit Gleichstrom (-Pol) also mit einer festen Schicht von Aluminiumoxid bedeckt. Diese macht die Badbeobachtung unmöglich und erschwert die Zugabe von Zusatzwerkstoff. Zwar könnte diese Oxidschicht durch Verwenden von Flussmitteln, wie beim Löten, beseitigt werden, dies würde aber einen zusätzlichen Aufwand bedeuten.

Beim Schweißen mit Gleichstrom am Pluspol bietet sich die Möglichkeit, diese Oxidschicht durch Ladungsträger im Lichtbogen aufzureißen und zu beseitigen. Dafür kommen nur die Ionen infrage, da die Elektronen wegen ihrer geringen Masse nicht genügend kinetische Energie dafür besitzen. **Bild 17** zeigt den Ladungsträgerfluss im Lichtbogen. Wenn der Minuspol an der Elektrode liegt, wandern die Elektronen von der Elektrode zum Werkstück und die Restionen vom Werkstück zur Elektrode. Bei dieser Polung ist eine Reinigungswirkung nicht möglich. Bei umgekehrter Polung treffen dagegen die schwereren Ionen auf die Werkstückoberfläche. Sie können durch ihre kinetische Energie die Oxidschicht aufreißen

und beseitigen. Das Schweißen am heißeren Pluspol hat aber zur Folge, dass die Strombelastbarkeit der Elektrode nur gering ist. Es müssen dicke Elektroden mit halbkugelförmigen Enden verwendet werden. Der Einbrand ist wegen der geringen Strombelastbarkeit relativ gering. Beim Schweißen an Wechselstrom tritt die Reinigungswirkung ein, wenn die positive Halbwelle an der Elektrode liegt. In der danach



**Bild 17: Reinigungseffekt und Elektronenaustrittsarbeit beim Schweißen von Aluminiumlegierungen**

folgenden negativen Halbwelle kann die Elektrode dann wieder abkühlen. Man spricht deshalb auch von der Reinigungs- und der Kühlhalbwelle. Die Strombelastbarkeit ist beim Schweißen an Wechselstrom geringer als beim Gleichstrom-Minuspolverschweißen. Sie ist aber höher als beim Schweißen am Pluspol. Es hat sich gezeigt, dass für eine ausreichende Reinigungswirkung gar nicht die ganze positive Halbwelle benötigt wird, sondern dass 20% oder 30% davon ausreichen. Dies hat man sich bei modernen Stromquellen zu Nutze gemacht, bei denen man die Balance der beiden Halbwellen zueinander z.B. von 20% Plus/80% Minus bis 80% Plus/20% Minus verändern kann. Der geringere Anteil des Pluspols führt zu einer höheren Strombelastbarkeit der Elektrode bzw.

bei gleicher StromEinstellung zu einer längeren Standzeit. Bei diesen sogenannten „Square-Wave-Quellen“ kann meist auch die Frequenz des künstlichen Wechselstromes noch verändert werden, z.B. zwischen 50 Hz und 300 Hz. Auch mit dem Erhöhen der Frequenz ist eine Schonung der Elektrode verbunden.

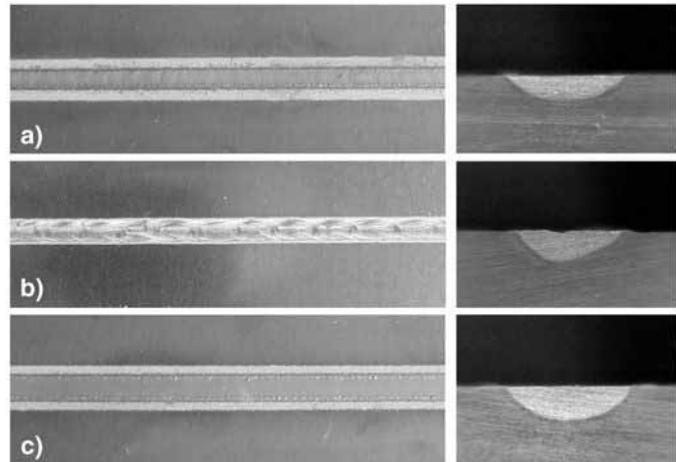
Der rechteckförmige künstliche Wechselstrom hat aber noch einen weiteren Vorteil. Da der Stromverlauf beim Wechsel der Polarität sehr steil ist, sind die Totzeiten des Lichtbogens beim Nulldurchgang wesentlich kürzer als bei einem sinusförmigen Verlauf. Das Wiederzünden erfolgt deshalb sicherer und der Lichtbogen ist insgesamt stabiler. Moderne Stromquellen gestatten das Schweißen mit Gleichstrom, sowie mit sinusförmigem und mit rechteckförmigem Wechselstrom.

In neuerer Zeit wird auch eine Variante des Minuspolschweißens angewendet, bei der hochheliumhaltiges Schutzgas verwendet wird. Beim manuellen Schweißen muss der Heliumanteil im Schutzgas mindestens 90 % betragen, um eine ausreichende Badbeobachtung für den Schweißer sicherzustellen. Beim maschinellen Schweißen genügt auch ein Heliumanteil von 70 %. Beim Schweißen am Minuspol unter Argon lässt sich wie bereits geschildert, die Oxidhaut nicht aufbrechen. Durch die hohe Temperatur des energiereichen Heliumlichtbogens kann sie aber verflüssigt werden. Damit ist sie nur noch wenig störend. **Bild 18** [4] zeigt im Vergleich die Oberflächenausbildung und den Einbrand beim Plasmaschweißen von Aluminium mit den vorstehend beschriebenen Varianten. Bei der Interpretation der Ergebnisse muss beachtet werden, dass die Schweißungen mit unterschiedlichen Stromstärken durchgeführt wurden.

Eine weitere Besonderheit beim Schweißen des Werkstoffes Aluminium ist seine Porenempfindlichkeit bei der Aufnahme von Wasserstoff. Die Verhältnisse sind wesentlich kritischer als beim Schweißen von Stahl. Während Eisen beim Übergang vom flüssigen in den festen Zustand noch eine Lösungsfähigkeit für Wasserstoff von 8 cm<sup>3</sup>/100 g Schweißgut besitzt, hat Aluminium im festen Zustand praktisch keine Löslichkeit für Wasserstoff mehr. Das heißt, aller Wasserstoff, der beim Schweißen aufgenommen wurde,

muss das Schweißgut verlassen, bevor es erstarrt. Anderenfalls entstehen Poren im Schweißgut.

Quellen für Wasserstoff beim WIG-Schweißen von Aluminium sind in erster Linie Oxidhäute auf dem Grundwerkstoff. Diese binden Feuchtigkeit



**Bild 18: Nahtoberseiten und Einbrand beim Plasmaschweißen von AlMg<sub>3</sub>, t=3mm, kein Zusatz**

- a) Plasma-Pluspolschweißen  
I=35A, U=26V, v<sub>S</sub>=40cm/min,  
Plasmagas: Ar, Schutzgas: 70%Ar / 30%He
- b) Plasma-Minuspolschweißen  
I=70A, U=20V, v<sub>S</sub>=90cm/min,  
Plasmagas: 30%Ar / 70%He, Schutzgas: He
- c) Plasma-Wechselstromschweißen  
I=45A, U=26V, v<sub>S</sub>=40cm/min,  
Plasmagas: Ar, Schutzgas: 70%Ar / 30%He

und müssen deshalb vor dem Schweißen durch Bürsten oder Schaben entfernt werden. Andererseits ist der Lichtbogen ruhiger, wenn sich eine dünne Oxidhaut auf der Oberfläche befindet, weil diese leichter Elektronen aussendet als das reine Metall. Es muss deshalb ein Kompromiss gefunden werden, zwischen einem stabilen Lichtbogen und einer ausreichenden Porensicherheit. Es hat sich als günstig erwiesen, die Werkstückoberflächen vor dem Schweißen gründlich von Oxiden zu befreien, danach aber mit dem Schweißen noch eine oder zwei Stunden zu warten, damit sich eine dünne Oxidschicht neu bilden kann. Auch die auf der Oberfläche der Schweißstäbe gebildeten Oxidhäute tragen zur Porenbildung bei. Zusatzwerkstoffe aus Aluminium sollten deshalb sorgfältig und nicht zu lange gelagert werden.

#### 5.11.4 Sonstige Werkstoffe

Das konzentrierte Wärmeeinbringen des Plasmalichtbogens wirkt sich besonders bei Kupfer und Kupferlegierungen, die eine große Wärmeleitfähigkeit haben, günstig aus. Gegenüber dem WIG-Schweißen kann deshalb die Vorwärmung, die zur Sicherstellung eines ausreichenden Einbrandes, vor allem bei größeren Wanddicken, notwendig ist, verringert werden oder sogar entfallen.

Außer den bisher genannten Metallen und Legierungen können noch Nickel und Nickellegierungen erfolgreich plasmageschweißt werden, ferner auch Titan und Titanlegierungen.

#### 5.11.5 Werkstoffe für das Plasmaauftragschweißen

Beim Plasmapulverauftragschweißen werden als Aufschweißwerkstoffe häufig Kobalt-Chrom-Wolfram-Legierungen (Stellite) oder Legierungen auf der Legierungsbasis Nickel-Chrom-Bor (Colmonoy) aufgeschweißt. Durch die getrennte Einstellung der Stromstärke und der Menge des pulverförmigen Zusatzes lassen sich sehr geringe Vermischungen einhalten, sodass sehr dünne Auftragschichten ausreichend sind. Mit dem Plasmaheißdrahtverfahren wurden bisher meist korrosionsbeständige Plattierungen aus CrNi-Stahl aufgetragen, sowie Nickel-Chrom-Legierungen für Zwecke des Verschleißschutzes.

## 6 Anwendung des Plasmaschweißens und -lötens

Mit dem Plasmaschweißen können Verbindungen, angefangen von sehr dünnen Teilen im Folienbereich (Mikroplasmaweldung) bis zu großen Werkstückdicken, geschweißt werden. Mittels der Stichlochtechnik ist es z.B. möglich, bei Stahl bis zu 10 mm als I-Stoß durchzuschweißen. Bei Titan reicht diese obere Grenzdicke sogar bis 12 mm. Darüberhinaus muss eine Y-Fuge angebracht werden.

Beim Auftragschweißen muss man dagegen eine Mindestdicke für den Grundwerkstoff festlegen. Diese beträgt beim Plasmapulverauftragschweißen etwa 4 mm, beim Plasmaheißdrahtschweißen etwa 20 mm.

Das Plasmaverbindungsschweißen wird im Rohrleitungs- und Behälterbau z.B. eingesetzt beim Herstellen längsnahtgeschweißter Rohre aus Edelstahl, zum Schweißen an Behältern, wie Fässer, Lagertanks und Gasflaschen. Im Apparatebau eignet es sich z.B. zum Schweißen von Kompensatoren, Faltenbälgen und Metallsieben. Ein neueres Anwendungsfeld liegt in der Dentaltechnik, wo es in zahntechnischen Labors anstelle des Lötens eingesetzt wird.

Anwendungen für das Plasmaauftragschweißen findet man vor allem im Armaturenbau zum Panzern von Dichtflächen, sowie im Motorenbau beim Aufschweißen von Ventilsitzen.

Das Plasmalöten wird hauptsächlich dort eingesetzt, wo dünne metallbeschichtete Bleche verarbeitet werden. Ein Hauptanwendungsgebiet liegt im Automobilbau, aber auch in anderen Industriezweigen, wo Bleche im Dickenbereich von etwa <1 mm vorkommen.

### 6.1 Anwendungsbeispiele

**Bild 19** zeigt Membranen aus Feinstblechen, an deren Umfang Bördelnähte mittels Mikroplasmaweldung geschweißt wurden.



**Bild 19: Bördelnäht an Membranen**

Ein weiteres Beispiel für das Mikroplasmaweldung zeigt **Bild 20**. Hier geht es um Längsnähte an Schutzgittern für Chemieöfen. Die Dicke der einzelnen Stäbe beträgt 0,15 mm.



**Bild 20: Längsnäht an Schutzgittern für Chemieöfen**

In **Bild 21** sind innere und äußere Rundnähte an Fittings für den Heizungsbau zu sehen, die mittels Plasmaverbindungsschweißen gefügt wurden.



**Bild 21: Innen- bzw. Außennaht an Fittings für den Heizungsbau**

**Bild 22** zeigt die Anwendung des manuellen Plasmalötens in der Automobilindustrie am Türschweller einer BMW-PKW-Karosserie. Hier wird der Zusatzwerkstoff manuell in Stabform zugegeben.



**Bild 22: Manuelles Plasmalöten am Türschweller einer BMW-PKW-Karosserie**

## 6.2 Vergleich mit dem WIG-Schweißen

Es liegt nahe, das Plasmaschweißen mit dem nah verwandten WIG-Schweißen zu vergleichen. Neben der bereits erwähnten höheren Schweißgeschwindigkeit des Plasmaverfahrens gibt es weitere Vorteile, denen allerdings auch einige Nachteile gegenüberstehen. Vor- und Nachteile sind in **Tabelle 4** gegenübergestellt.

Plasmaschweißen (im Vergleich zum WIG-Schweißen)	
Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• geringere Empfindlichkeit gegenüber Längenänderungen des Lichtbogens</li> <li>• größere Stabilität des Lichtbogens</li> <li>• tieferer Einbrand und konzentrierteres Wärmeeinbringen</li> <li>• längere Standzeiten der Wolframelektrode</li> <li>• leichteres Auffinden des Schweißnahtbeginns durch einen Pilotlichtbogen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• höhere Investitionskosten</li> <li>• bei höheren Leistungen unhandlicher Brenner</li> <li>• geringere Eignung für Zwangslagen</li> </ul>

**Tabelle 4: Vergleich zwischen dem WIG- und dem Plasmaschweißen beim Verbindungsschweißen**

## 7 Schrifttum:

[1] Killing, R.: Handbuch der Schweißverfahren Band 1: Lichtbogenschweißverfahren  
Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 76/I,  
DVS-Verlag Düsseldorf 1999

[2] Chruszez, M., R. Killing, H. Köstermann und J. Marksmann: Plasma-Pulver-Verbindungsschweißen – ein Verfahren mit besonderen Einsatzbereichen  
DVS-Berichte Band 194, S. 21-26,  
DVS-Verlag Düsseldorf 1998

[3] Aichele, G.: Leistungskennwerte für Schweißen und Schneiden, Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 72,  
DVS-Verlag Düsseldorf 1994

[4] Dzelnitzki, D.: Plasmaschweißen von Aluminium – Gleich- oder Wechselstrom  
DVS-Jahrbuch Schweißtechnik 2000, S.141-156  
DVS-Verlag Düsseldorf 1999

## 8 Impressum

Die PLASMA-Fibel, 1. Ausgabe 2004

Aus der Schriftenreihe EWM-Wissen –rund ums Schweißen,  
Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, verboten. Kein Teil dieser Broschüre darf ohne schriftliche Einwilligung von EWM in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© EWM HIGHTEC WELDING GmbH

Dr.-Günter-Henle-Str. 8 · D-56271 Mündersbach

Fon: +49(0)2680.181-121 · Fax: +49(0)2680.181-161

mailto:info@ewm.de · http://www.ewm.de



A large rectangular area with rounded corners, divided into 20 horizontal lines, intended for taking notes.





FÜR JEDES MATERIAL DAS RICHTIGE SCHWEISSGERÄT

## FÜR JEDE AUFGABE DIE RICHTIGE LÖSUNG

**PiCO**



**DIE KLEINEN, STARKEN  
E-HAND-SCHWEISSGERÄTE**

Die PICO-Geräte sind speziell entwickelt für den Baustellen- und Montageeinsatz: Kompakt und leistungsfähig, ideal für Anwendungen im Freien.



**PiCOTIG** **TRITON** **TETRIX**



**DIE FLEXIBLEN  
WIG-SCHWEISSGERÄTE**

Dank einfachster Bedienung und ausgezeichneten Schweißigenschaften erzielen die WIG-Schweißgeräte-Familien bei allen Anwendungen hervorragende Ergebnisse – egal ob auf Montage oder in der Produktion.



**SATURN** **WEGA**

**PHOENIX**

**VON KONVENTIONELL BIS DIGITAL – DIE MIG/MAG-SCHWEISSGERÄTE**

1000fach bewährt: die robusten Stufengeschalteten – geeignet für Einsatzbereiche in Industrie und Handwerk, in denen es rau zugeht.



Volldigitale Inverter-Geräteserie mit einfachster Bedienung und höchstem Komfort für alle Anforderungen von manuellen bis hin zu komplexen automatisierten MIG/MAG- Impuls- und Standard-Anwendungen.



**inverter MICROPLASMA** **TETRIX PLASMA**



**BESSER GEHT'S NICHT –  
DIE PLASMA-SCHWEISSGERÄTE**

Die innovativen Plasma-Schweißgeräte erreichen immer höchste Schweißnahtqualität. Sie ermöglichen wirtschaftlich Ergebnisse auf maximalem Niveau.



Weitere Informationen finden Sie auf unserer Homepage



**SIMPLY MORE**



[www.ewm.de](http://www.ewm.de)

**EWM HIGHTEC WELDING GmbH**  
Dr.-Günter-Henle-Straße 8 · D-56271 Mündersbach  
Phone +49(0)26 80-18 10 · Fax +49(0)26 80-18 12 44  
[www.ewm.de](http://www.ewm.de) · [info@ewm.de](mailto:info@ewm.de)

#### **EWM Tschechien**

**EWM HIGHTEC WELDING s.r.o.**  
Tr. 9. května 718 · CZ-407 53 Jiríkov  
Phone +420(0)412 358-551 · Fax +420(0)412 358-504  
[www.ewm.cz](http://www.ewm.cz) · [info@ewm.cz](mailto:info@ewm.cz)

**EWM HIGHTEC WELDING Sales s.r.o.**  
**Niederlassung Sales & Service**  
Prodejní a poradenské centrum  
Tyršova 2106 · CZ-256 01 Benešov u Prahy  
Phone +420(0)317.729-517 · Fax +420(0)317.729-712  
[www.ewm.cz](http://www.ewm.cz) · [sales@ewm.cz](mailto:sales@ewm.cz)

#### **EWM China**

**EWM HIGHTEC WELDING (Kunshan) Ltd.**  
No. 601 Hengchangjing Road Zhoushi Development Zone,  
CN-215337 Kunshan / Jiangsu  
Phone +86(0)512.57867188 · Fax +86(0)512.57867182  
[www.ewm.cn](http://www.ewm.cn) · [info@ewm.cn](mailto:info@ewm.cn)

#### **EWM Handel**

**EWM SCHWEISSTECHNIK-HANDELS GmbH**  
**Hauptsitz**  
In der Florinskaul 14-16 · D-56218 Mülheim-Kärlich  
Phone +49(0)261.988 898-0 · Fax +49(0)261.988 898-20  
[www.ewm-handel.de](http://www.ewm-handel.de) · [info@ewm-handel.de](mailto:info@ewm-handel.de)

**EWM SCHWEISSTECHNIK-HANDELS GmbH**  
**Niederlassung Köln**  
Sachsstraße 28  
D-50259 Pulheim-Brauweiler  
Phone +49(0)2234.697 047 · Fax +49(0)2234.697 048  
[www.ewm-handel.de](http://www.ewm-handel.de) · [nl-koeln@ewm-handel.de](mailto:nl-koeln@ewm-handel.de)

#### **EWM Österreich**

**EWM HIGHTEC WELDING GmbH**  
Scharnsteinerstr. 15  
A-4810 Gmunden, Österreich  
Phone +43(0)7612 778 02-0 · Fax +43(0)7612 778 02-20  
[www.ewm.at](http://www.ewm.at) · [office@ewm.at](mailto:office@ewm.at)

Verkauf, Beratung, Service