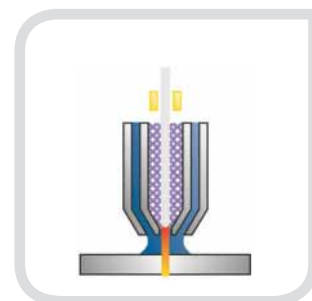




# PLASMA-FIBEL





## 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 Innovation!

Einfach bedienen - einfach losschweißen: Durch die permanente Entwicklung moderner Technologien schafft EWM ausschließlich Schweißgeräte, mit denen jeder, auch der anspruchsvollste Profi, alle Herausforderungen souverän meistert. Und wir arbeiten täglich mit aller Kraft an der Umsetzung neuer Ideen, neuer Fertigungs- und Bedienkonzepte sowie neuer Schweißverfahren für sich verändernde, moderne Werkstoffe.

### Einfach mehr Lösungen!

Unsere Produktpalette ist komplett, perfekt und die Geräte sind einfach einsatzbereit - immer und überall. Von tragbaren Kleinstgeräten für den flexiblen Baustelleneinsatz über Geräte mit einfachster Bedienung für die Produktion bis hin zu Systemen für die Mechanisierung und komplexe automatisierte Roboter-Anwendungen in der Industrie. Unsere flexiblen Schweißgeräteserien bieten immer ideale Lösungen für alle Ansprüche!

### 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.



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

# 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

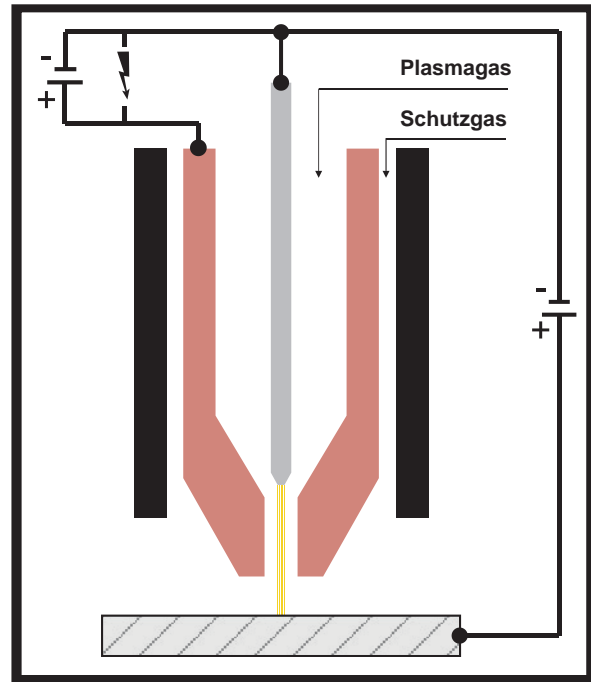
Das Plasmaschweißen ist eines der jüngsten Schmelzschweißverfahren. Es gehört zum Wolfram-Schutzgasschweißen, Kurzzeichen: WP, und wurde erst in den 60iger Jahren in Deutschland eingeführt. Der Internationale Standard ISO 857-1 erklärt das Plasmaschweißen (Prozess-Nr.15) aus dem Englischen übersetzt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

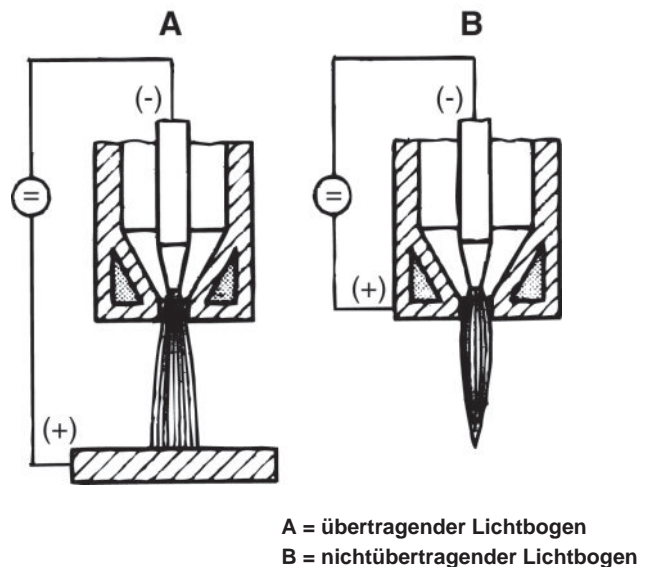
### 2.1 Allgemeines

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.

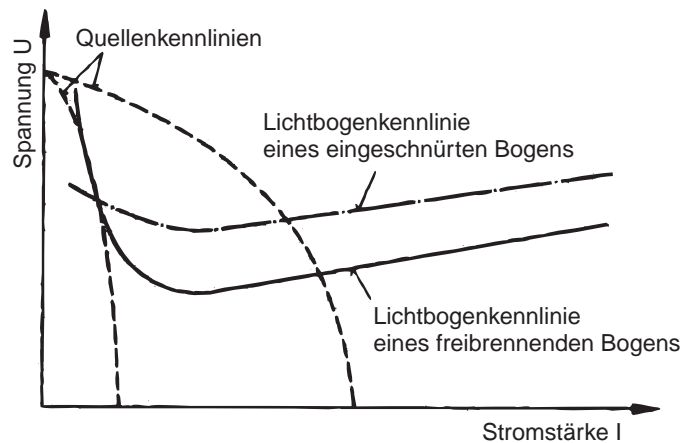
## 3 Einteilung des Plasmaschweißens

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.

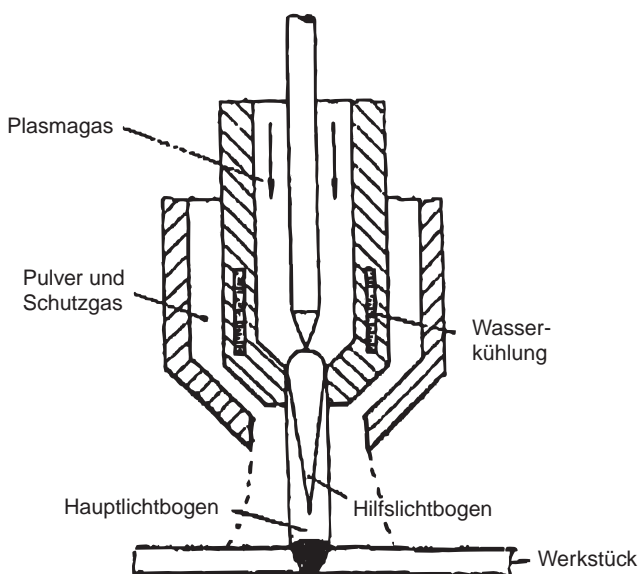
#### 3.1.2 Softplasmaschweißen

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

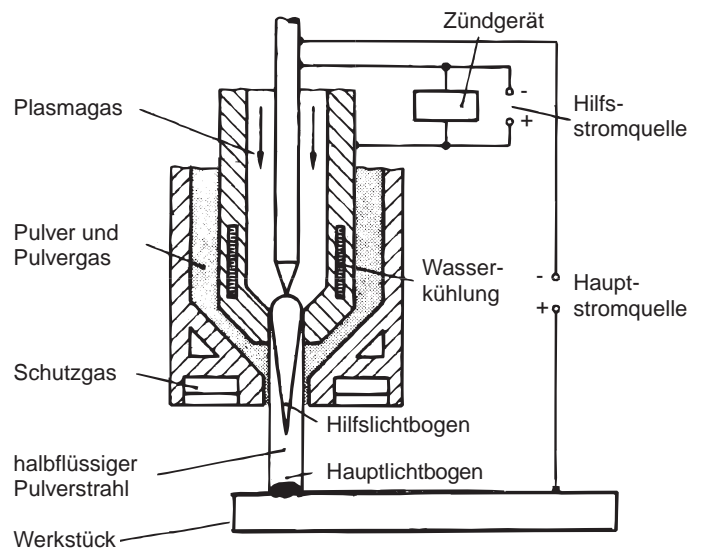


**Bild 4: Prinzip des Plasmapulververbindungsschweißens**

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.

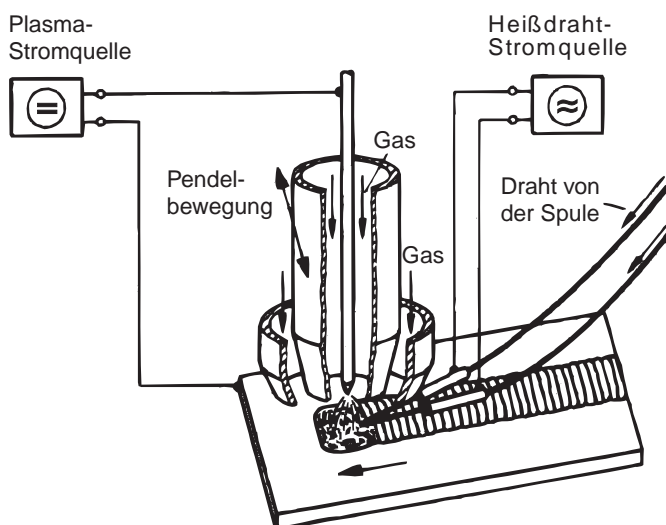
### 3.2 Plasmaauftragschweißen

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.

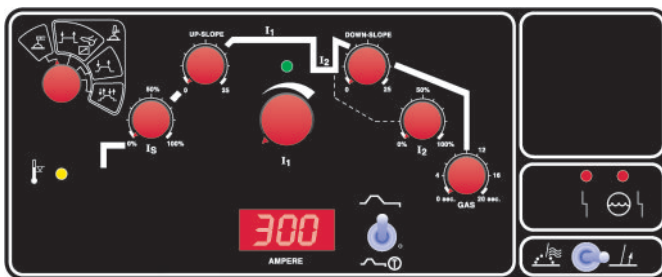
## 4 Einrichtungen zum Plasmaschweißen

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



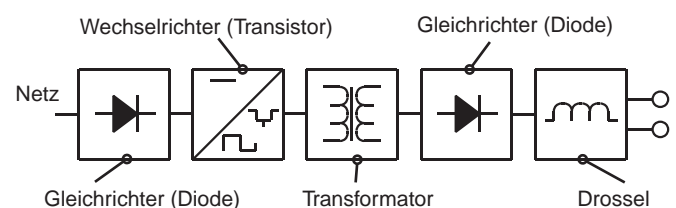
**Bild 8:** Display der Steuerung einer Plasmaschweißanlage

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**

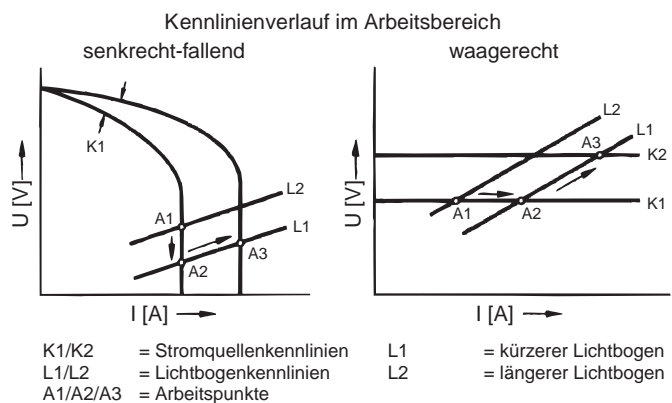
Frequenz des zu transformierenden Stromes abhängig. Dadurch ist es möglich, Leichtgewichtsstromquellen herzustellen. Eine neuzeitliche Anlage für das Plasmaschweißen von Dickblechen mit einer Leistung von 400 A wiegt deshalb einschließlich aller Nebenaggregate nur noch ca. 100 kg – **Bild 10**. Anlagen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

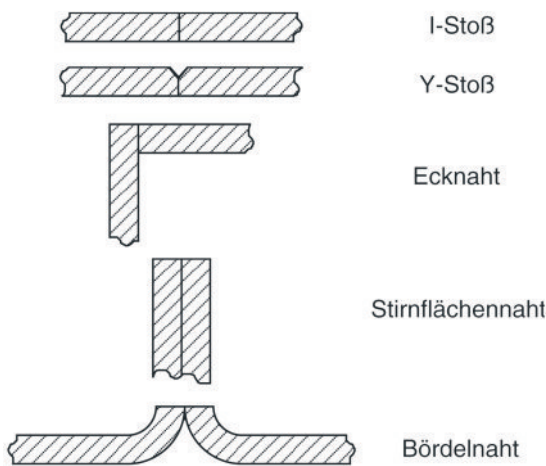
Die Plasmagasmenge ist abhängig von der zu schweißenden Werkstückdicke und damit von der Brennergröße. Sie liegt beim Mikroplasma-schweißen zwischen 0,2 l/min und 1 l/min und beim Dickblechplasma-schweißen zwischen 1 l/min und 6 l/min. Die Menge des äußeren Schutzgases beträgt dementsprechend 5-10 l/min 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 20.



**Bild 14:** Gasdosiereinheit an der Microplasma-schweißanlage "Microplasma 20"

## 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.

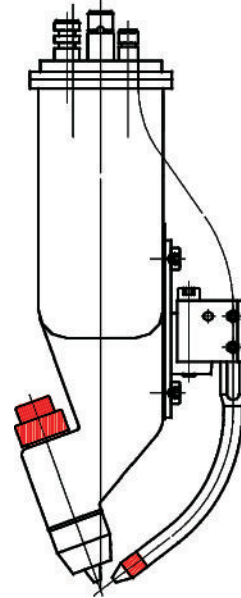


**Bild 15: Typische Fugen für das Plasmaschweißen**

## 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 Mikroplasmaschweißen, beim Softplasmaschweißen, bei Anwendung der Durchdrücktechnik und beim Plasmapulververbindungs-schweißen angewandt. Bei letzterem wird der Schweißzusatz, wie bereits erwähnt, pulverförmig konzentrisch um die Plasmadüse herum zugegeben. Dagegen wird das Plasmaschweißen 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.

Werkstückdicke mm	Schweißstrom A	Schweißspannung V	Plasmagas l/min	Schutzgas l/min	Schweißgeschwindigkeit 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 Mikroplasmaschweißen (Werte aus [5])**

Werkstückdicke mm	Schweißstrom A	Schweißspannung V	Plasmagas l/min	Schutzgas l/min	Schweißgeschwindigkeit 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 Mikroplasmenschweißen und zum Dickblechplasmenschweißen 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 Mikroplasmenschweißen, 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-

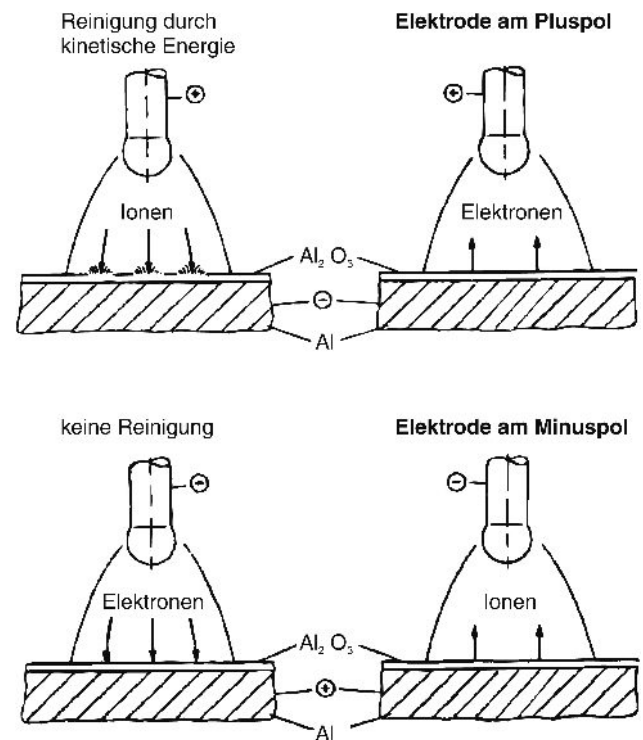
beständigkeit nicht zu befürchten sind. Bei Bauteilen, die später einer Korrosionsbeanspruchung ausgesetzt sind, müssen die vom Schweißen herrührenden Korrosionshäute zumindest auf der produktberührten Seite durch Bürsten, Strahlen, Schleifen oder Beizen entfernt werden, weil unter diesen ein verstärkter 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 ( $Al_2O_3$ ) hat einen Schmelzpunkt von etwa  $2050^\circ C$ . Der Grundwerkstoff, z.B. Reinaluminium schmilzt dagegen schon bei  $650^\circ C$ . 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.

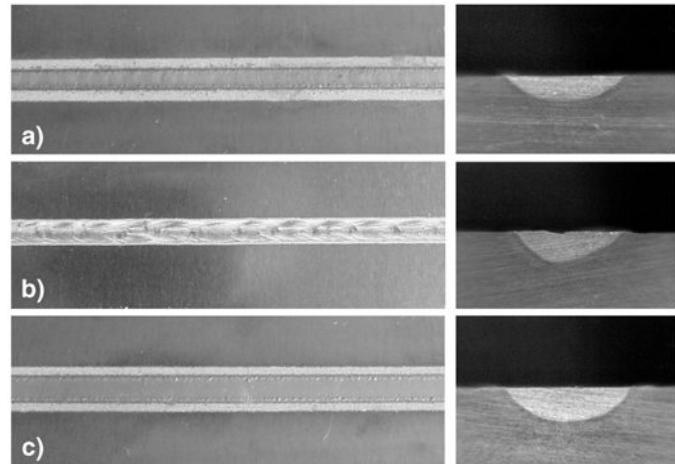
Der rechteckförmige künstliche Wechselstrom hat aber noch einen weiteren Vorteil. Da der Stromverlauf beim Wechsel der Polarität sehr steil ist, sind die Totzeiten des Lichtbogens beim Nulldurchgang wesentlich kürzer als bei einem sinusförmigen Verlauf. Das Wiederzünden erfolgt deshalb sicherer und der 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 Plasmapulverauftragschweißen 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

Satz: EWM HIGHTEC WELDING GmbH, Mündersbach  
Druck: Müller Digitaldruck GmbH, Montabaur



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.



# INTERESSIEREN SIE SICH FÜR WEITERE SCHWEISSTECHNISCHE THEMEN? WIR BIETEN IHNEN FOLGENDE INFORMATIONEN:

Aus der Dokumentationsreihe "Wissen - rund um das Schweißen" sind Fabeln für das E-Hand-, WIG-, Plasma- und MIG/MAG-Schweißverfahren erhältlich.



Poster (DINA1)  
"Verfahren der Lichtbogen - Schweißtechnik"



Prospekte der gesamten Produktpalette



Fachaufsätze u.a. zu den Themen MAG-Hochleistungs-, Plasma-Aluminium- oder WIG-Impuls-Schweißen.



Alle Informationen finden Sie auch im Internet unter [www.ewm.de](http://www.ewm.de)



Verkauf, Beratung, Service

**EWM** / **HIGHTEC<sup>®</sup> WELDING**

E I N F A C H M E H R

EWM

HIGHTEC WELDING GmbH

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

Phone +49(0)2680-18 10 · Fax +49(0)2680-18 1244

[www.ewm.de](http://www.ewm.de) · [info@ewm.de](mailto:info@ewm.de)