

# Stromquellen zum MIG und WIG-Schweißen

Für eine Vielzahl von Bereichen steigen die Anforderungen an die Fügetechnologie, besonders was die Qualität und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse betrifft an. Dies gilt natürlich auch für das Microlichtbogenschweißen. Durch jüngste Entwicklungen am Stromquellenbereich mit dazugehöriger Peripherie wurden neue Anwendungsmöglichkeiten erschlossen.

## 1. Bauarten von Schweißstromquellen

Die für das Lichtbogenschweißen erforderliche Strömstärke bei relativ geringen Spannungswerten können mit unterschiedlichen Stromquellenbauarten erzeugt werden. Charakteristikum aller Bauarten ist der Schweißtrafo, welcher einerseits zur Anpassung von Strom und Spannung und andererseits als galvanische (isolierende) Trennung zwischen der Netzversorgung und dem Schweißstromkreis dient. Entscheidend für die Größe und das Volumen der Stromquelle ist jedoch die Anordnung des Trafos im Energiepfad.

Nachfolgendes Bild zeigt die verschiedenen Bauarten von sogenannten elektronischen Stromquellen.

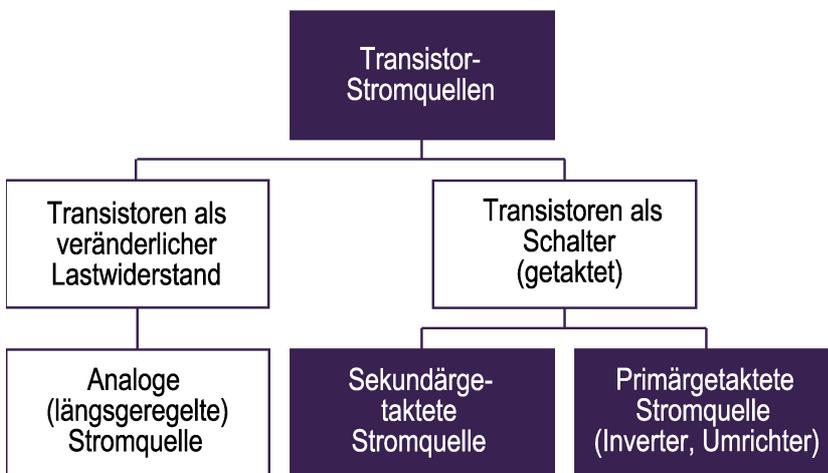


Bild 1: Bauarten von Stromquellen mit Leistungselektronik

### 1.1. Analoge Stromquellen

Die analoge Stromquelle besteht aus einem 50Hz Transformator, einem Gleichrichter und einer Transistorkaskade (viele parallelgeschaltete Einzeltransistoren), welche als stufenlos einstellbarer Vorwiderstand dient. An der Transistorkaskade fällt jener Teil der Spannung ab, welcher nicht für den Schweißprozeß benötigt wird. Die dabei entstehende Verlustleistung erwärmt die Halbleiter. In der Regel werden sie daher mit einem zusätzlichen Wasserkühlkreis gekühlt.

Der Vorteil dieser Anordnung ist in ihrer hohen Reaktionsgeschwindigkeit zu sehen. Der Nachteil ist die enorme Verlustleistung, welche an den Leitungstransistoren entsteht. Ein sehr schlechter elektrischer Wirkungsgrad ist die Folge, weshalb dieses Gerätekonzept praktisch vom Markt verschwunden ist.

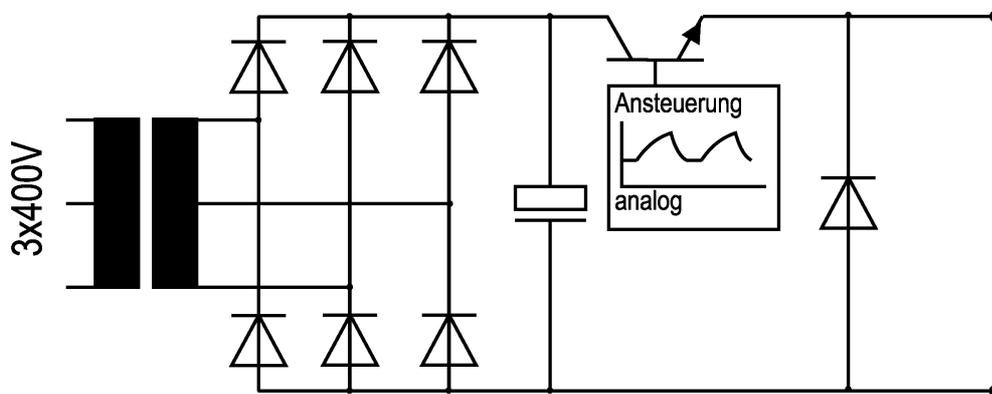


Bild 2: Blockschaltbild einer Analog-Stromquelle

## 1.2. Sekundärgetaktete Stromquelle

Die sekundärgetaktete Stromquelle besteht aus einem voluminösen 50Hz Transformator, einem Gleichrichter und einer Transistorstufe, welche als Schalter dient.

Die Transistorstufe wird periodisch mit der Taktfrequenz (z. B. 20.000 mal pro Sekunde = 20 kHz) ein- und ausgeschaltet. Das periodische Ein- und Ausschalten bezeichnet man als „takten“.

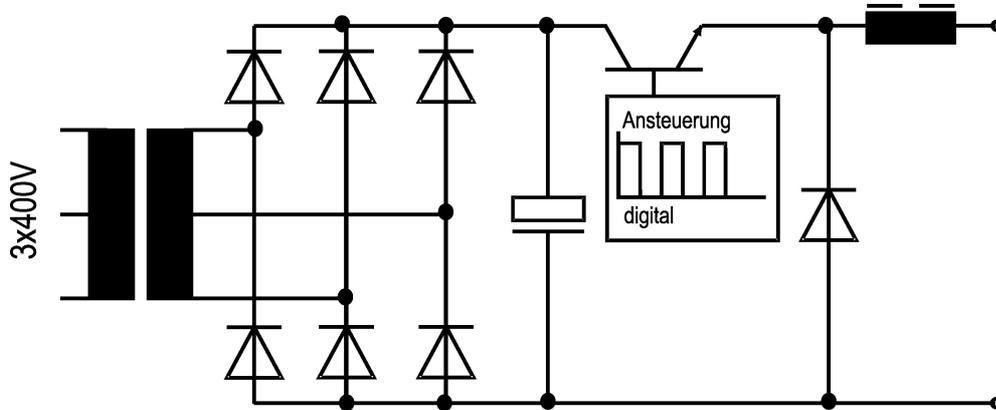


Bild 3: Blockschaltbild einer sekundärgetakteten Stromquelle

Den Transistor in dieser Anordnung kann man sich wie einen mechanischen Lichtschalter vorstellen, welcher ein- und ausgeschaltet wird. Bei einem idealen Schalter fällt weder im geöffneten noch im geschlossenen Zustand eine Verlustleistung an. Dies läßt einen hohen elektrischen Wirkungsgrad erwarten. Halbleiterschalter sind natürlich keine idealen Schaltelemente, d.h. sie sind mit Verlustleistung behaftet. Allerdings ist die Verlustleistung sehr gering. Ein weiterer Vorteil der Transistoren ist in der enormen Schaltgeschwindigkeit zu sehen. Moderne Halbleiterschalter lassen sich in dem für das Schweißen typischen Leistungsbereich bis zu 200 kHz (Kilohertz) hoch takten.

Darüber hinaus haben die Halbleiterschalter die Eigenschaft, daß sie sich mit geringsten elektrischen Leistungen ansteuern lassen. D.h. man kann mit wenigen Watt Steuerleistung eine 20 Kilowatt (500 Ampere) Stromquelle steuern. Je nach verwendeter Transistortype sind für den Schweißbereich folgende Taktfrequenzen üblich:

Halbleitertyp	Schaltsymbol	Taktfrequenz
Bipolarer Transistor		bis zu 30 kHz
MOS (Metall-Oxid-Semikonduktor)		bis zu 200 kHz
IGBT (Isolated Gate Bipolar Transistor)		bis zu 40 kHz

Bild 4: Leistungshalbleiter

Je höher die Taktfrequenz des Transistors, desto geringer ist die Ausgangsstromwelligkeit und desto höher ist die Reaktionsgeschwindigkeit und die Möglichkeit den Schweißprozeß besser zu beeinflussen. Die Höhe der Stromwelligkeit beeinflusst die Stabilität der Plasmasäule des Lichtbogens. Deshalb ist auf eine geringe Welligkeit - speziell im unteren Leistungsbereich (z. B. bei 5A DCWIG) zu achten. Grundsätzlich hängt die Welligkeit des Schweißstroms von der Taktfrequenz ab. Je höher getaktet wird desto geringer ist sie.

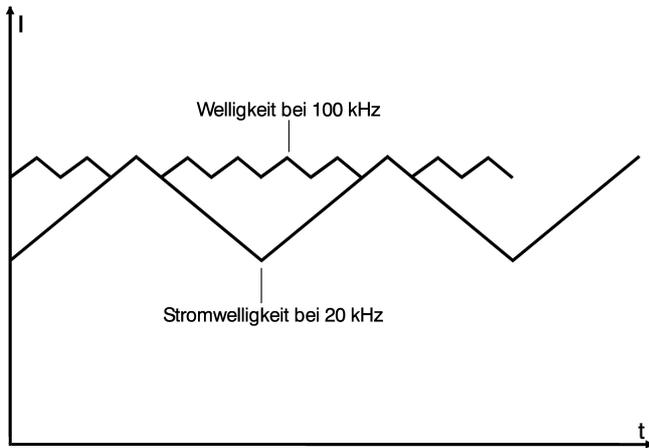


Bild 5: Einfluß der Taktfrequenz auf die Stromwelligkeit

Damit die Schweißleistung bei getakteten Stromquellen in einem großen Bereich frei eingestellt werden kann, muß das Verhältnis der Ein- zur Ausschaltzeit verändert werden. Diese Methode wird als Pulsbreitenmodulation bezeichnet.

Ist das Verhältnis Ein- zur Ausschaltzeit groß, erhält man eine hohe Ausgangsleistung (Mittelwert); ist das Verhältnis Ein- zur Ausschaltzeit klein, erhält man eine geringe Ausgangsleistung.

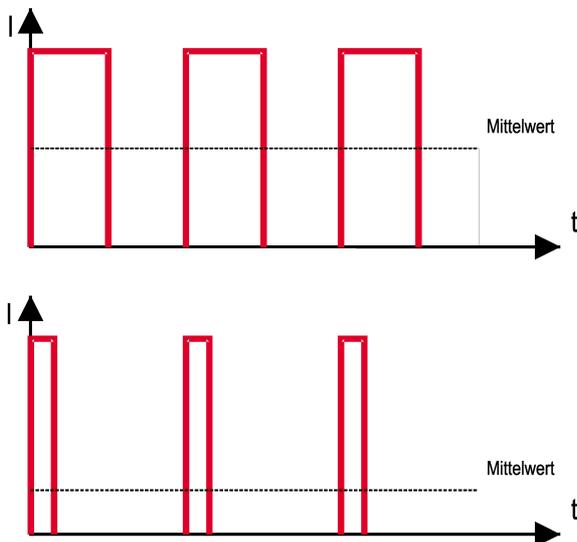


Bild 6: Pulsbreitenmodulation

### 1.3. Primärgetaktete Stromquelle (Inverter)

Kennzeichen von Inverterstromquellen ist, daß der Schweißtransformator im Energiepfad erst nach dem Schalttransistor angeordnet ist. Der Grund dafür ist, daß Gewicht und Volumen von Transformatoren, einem elektrotechnischen Gesetz folgend, von der Frequenz abhängen mit welcher man sie betreibt. Je höher die Frequenz, desto geringer das Volumen.

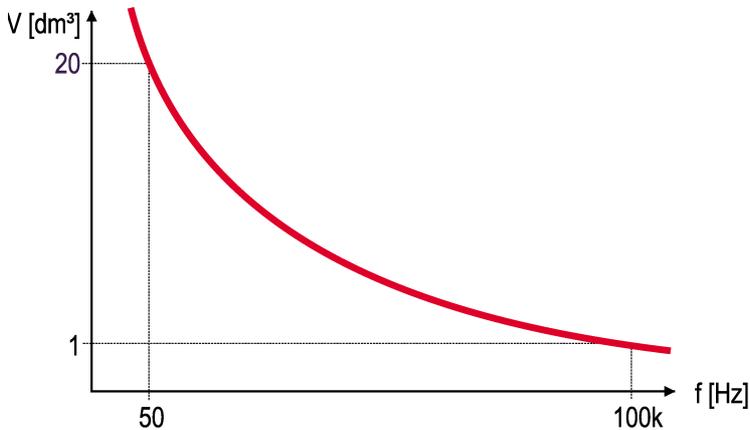


Bild 7: Zusammenhang von Volumen und Frequenz eines Transformators bei einer bestimmten Ausgangsleistung.

Genau diesen Zusammenhang zwischen Volumen und Frequenz nutzen Inverterstromquellen. Daher haben Inverterstromquellen ein geringes Gewicht und eine kleine Baugröße, ohne dabei an Leistungsfähigkeit einzubüßen. Folglich sind sie leichter zu transportieren. Dies ist besonders wichtig für den Baustelleneinsatz. Weiters benötigen Inverter durch das geringe Volumen weniger Stellfläche in den häufig beengten Verhältnissen der Werkstätten und Fertigungsstraßen.

Ein weiterer Vorteil ist im hohen elektrischen Wirkungsgrad (bis zu 90%) zu sehen.

Damit die hohe Taktfrequenz genutzt werden kann, muß zunächst die Netzwechselfspannung gleichgerichtet werden. Daraus leitet sich auch die Bezeichnung Inverterstromquelle (invertieren = umwandeln) ab. Die nach dem Primärgleichrichter vorhandene Gleichspannung wird mit einem Transistorschalter in eine hohe Frequenz umgewandelt und auf die Primärseite des Transformators geschaltet.

Die Ausgangsspannung des Transformators wird anschließend nochmals gleichgerichtet. Inverterstromquellen können Schweißstrombereiche von 2 bis 500A mit stufenloser Verstellung abdecken. Gerade der untere Strombereich ist für das Microlichtbogen-schweißen interessant. Eine geringe Stromwelligkeit ist für eine stabile Lichtbogensäule Voraussetzung.

### 1.4 Systeme mit geschlossenem Regelkreis

Mit dem Einsatz von Elektronik in der Stromquellentechnologie wurden sogenannte geregelte Systeme entwickelt, welche den Schweißstrom oder die Schweißspannung unabhängig von Netzspannungsveränderungen und Netzkabellängen konstant halten.

Zentrales Element ist der geschlossene Regelkreis mit Sensoren für Schweißstrom und Schweißspannung.

Die Istwerte aus dem Schweißprozeß werden vom Mikroprozessor mit den vorgewählten Sollwerten (Schweißparameter) permanent verglichen und Abweichungen unmittelbar über das Stellglied ausgeregelt. Damit ist die Grundvoraussetzung für Reproduzierbarkeit von Schweißergebnissen gegeben.

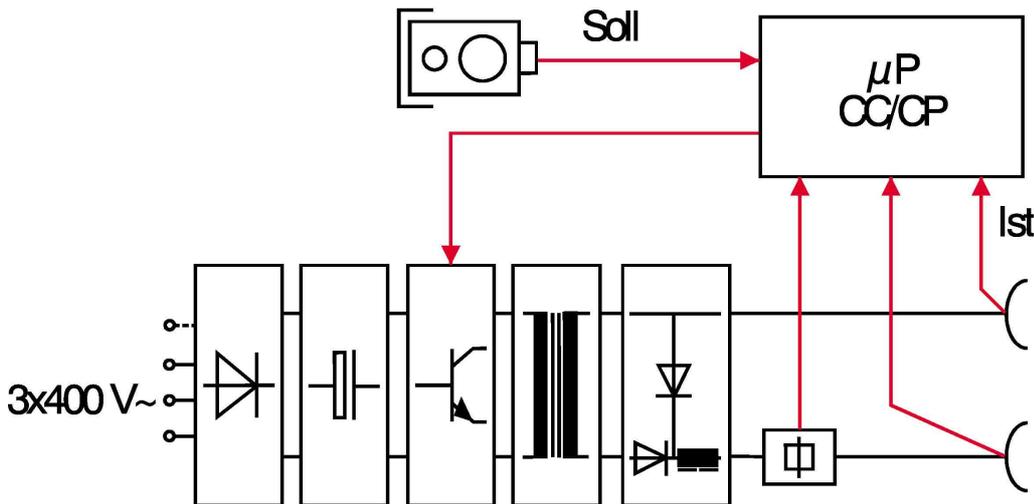


Bild 8: Blockschaltbild einer Inverterstromquelle

Vorteilhaft ist weiters, daß bei Transistorstromquellen die Schweißseigenschaften nicht von der Bauart des Transformators und der Ausgangsdrossel abhängig sind.

Dadurch eröffnen sich ungeahnte Möglichkeiten, mit Hilfe der Elektronik auf die Qualität der Schweißnaht und des Schweißprozesses Einfluß zu nehmen.

## 2. MSG-Schweißen

### 2.1. Werkstoffübergang beim MSG-Schweißen

In Abhängigkeit von der Stromdichte, der Lichtbogenleistung und den eingesetzten Schutzgasen können sich sehr unterschiedliche Werkstoffübergangsarten einstellen, welche jeweils durch eine besondere Art des Lichtbogens charakterisiert sind.

Je nach Blechdicke und Schweißaufgabe werden die einzelnen Lichtbogenarten eingesetzt. Mit Transistorstromquellen kann der Werkstoffübergang speziell beim Kurz- und Impulslichtbogen entscheidend verbessert werden.

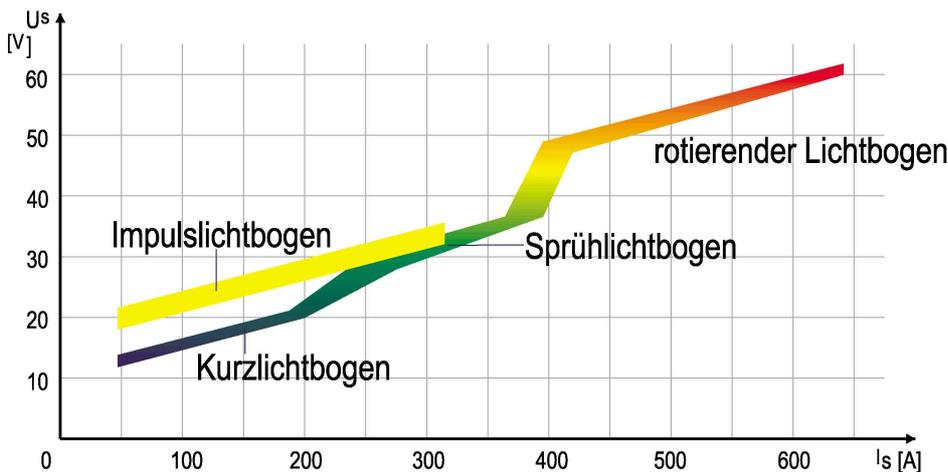


Bild 9: Lichtbogenbereiche beim MSG-Schweißen

Lichtbogenart	Kurzzeichen	Tropfengröße	Werkstoffübergang
Kurzlichtbogen	k	feintropfig	nur im Kurzschluß, gleichmäßig
Übergangslichtbogen	ü	fein- bis grobtropfig	teils im Kurzschluß, teils kurzschlußfrei unregelmäßig
Sprühlichtbogen	s	fein- bis feinstropfig	kurzschlußfrei gleichmäßig
Langlichtbogen	l	grob tropfig	unregelmäßig, im Kurzschluß teils kurzschlußfrei
Impulslichtbogen	P	einstellbar	kurzschlußfrei gleichmäßig

Bild 10: Lichtbogenarten (Einteilung nach DIN 1910, Teil 4)

Die hohe Reaktionsgeschwindigkeit der Inverterstromquelle sowie die daraus resultierenden umfangreichen Beeinflussungsmöglichkeiten des Werkstoffüberganges, können als Grund dafür angeführt werden.

## 2.2. Kurzlichtbogen

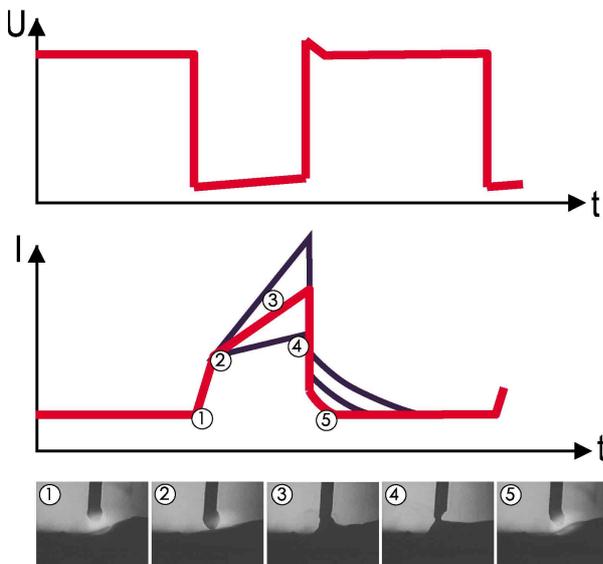


Bild 11: Präzise Kurzschlußbehandlung durch stufenlos einstellbare Drosselfunktion bei transistorisierten Stromquellen.

Charakteristisch für den Kurzlichtbogen ist die Brennphase, gefolgt von einer Kurzschlußphase mit Werkstoffübergang. Bei stufengeschalteten bzw. thyristorgeregelten Stromquellen kann die Phase des Kurzschlußaufbruchs nur in Stufen (Veränderung der Drosselanzapfung) verändert werden. Suboptimale Ergebnisse sind die Folge.

Bei transistorisierten Stromquellen hingegen kann diese Phase auf die jeweilige Drahtqualität, Drahtdurchmesser und das verwendete Schutzgas exakt abgestimmt werden. Ein deutlich stabiler brennender Lichtbogen, eine geringe Anzahl von Schweißspritzer - das gilt auch für  $\text{CO}_2$  - sind das Ergebnis.

### 2.3. Impulslichtbogen

Unter Argon und argonreichen Schutzgasen kann durch eine geeignete Parameterauswahl von Grund- und Impulsstrom, ein gesteuerter kurzschlußfreier Werkstoffübergang erreicht werden.

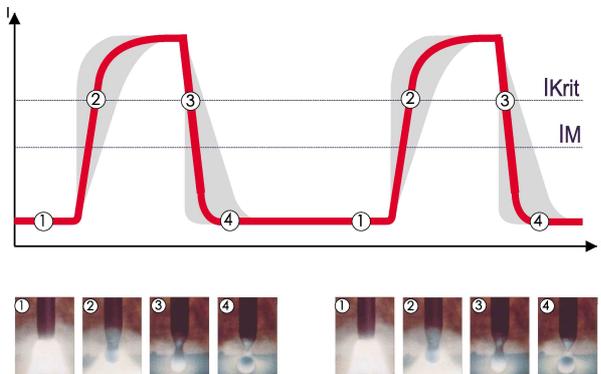


Bild 12: Variable Impulsform einer Inverterstromquelle

Bei optimaler Parameterwahl wird genau ein Tropfen Zusatzwerkstoff pro Impuls von der Drahtelektrode abgelöst. Das Ergebnis ist eine nahezu spritzerfreie Schweißung.

Untersuchungen im Hause Fronius haben gezeigt, daß für unterschiedliche Zusatzwerkstoffe und Schutzgase eine differenzierte Impulsform erforderlich ist.

Das hat dazu geführt, daß für jeden Zusatzwerkstoff eine „maßgeschneiderte“ Impulsform verwendet wird. Der Impulslichtbogen wird zum Schweißen von Aluminium, hochlegierten Stählen und für unlegierte Stähle im Bereich des Überganglichtbogens eingesetzt.

Der Impulslichtbogen erlaubt die Verwendung von größeren Drahtdurchmessern, auch für den Dünnblechbereich.

Größere Drahtdurchmesser sind leichter zu fördern - besonders wichtig für weiche Drähte z. B. Aluminium - und sind zudem meist preisgünstiger.

Mit einer modernen, qualitativ hochwertigen Impulsstromquelle kann ein 0,8mm Aluminiumblech mit 1,2 mm Drahtelektrode verschweißt werden! Gerade bei Aluminium sind dickere Drahtelektroden von besonderem Vorteil. Dickere Drähte haben ein günstigeres Verhältnis von Volumen zu Oberfläche. Daher bringt man weniger Oxyde in das Schmelzbad.

Bei Veränderung der freien Drahtlänge („Stick-out“) - also dem Abstand zwischen Kontaktrohr und Lichtbogen - dürfen keine oder kaum Spritzer auftreten.

Dies gelingt nur, wenn die Prozeßregelung den „Ein Tropfen pro Impuls Werkstoffübergang“ auch bei Stick-out-Änderungen aufrecht hält.

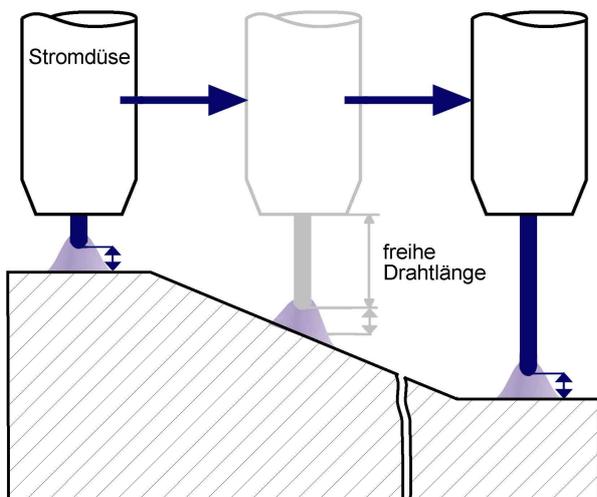


Bild 13: Schweißen über eine Stufe

Bild 14 zeigt die Schweißprobe und den Makroschliff bei Schweißbeginn und -ende. Aufgrund der genauen und extrem schnellen Lichtbogenlängenregelung sind keine Schweißspritzer auf der Probe (Grundwerkstoff 1.4301) zu erkennen. Auch die Einbrandverhältnisse sind nahezu konstant geblieben.

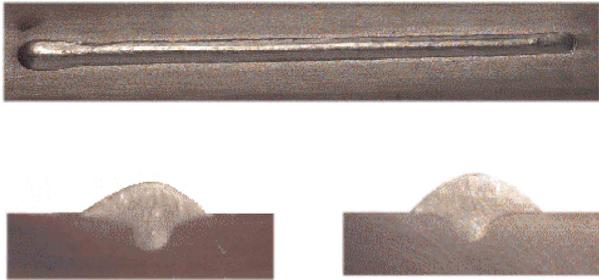


Bild 14: Nahtaussehen bei einer Kontaktrohrabstandsänderung von 8 auf 35mm. Durch die exakte Lichtbogenlängenregelung treten kaum Schweißspritzer auf.

## 2.4 Synergic Betrieb

Die in diesem Kapitel beschriebenen Ergebnisse sind nur durch eine Vielzahl von stufenlos einstellbaren Parametern (etwa 30 Parameter) möglich. So kann die Tropfenablösung beim Impulslichtbogenschweißen bzw. die Kurzschlußbehandlung beim Kurzlichtbogenschweißen für ein großes Feld an Zusatzwerkstoffen problemlos verbessert werden. Diese zusätzlichen Parameter erschweren die Bedienung der Stromquellen und würden dadurch den Benutzerkreis auf Experten beschränken.

Mit Hilfe des sogenannten Synergic-Betriebes (Einknopfbedienung) - mit vorprogrammierten Parametern für jede beliebige Draht/Gaskombination - ist die Anlage für den Anwender sehr einfach zu bedienen. Der Gerätehersteller übernimmt die Aufgabe der Parameteroptimierung für viele verschiedene Grund- und Zusatzwerkstoffe sowie Schutzgase. Diese wissenschaftlichen Ergebnisse werden in einem EPROM - einem elektronischen Speicherbaustein - in Form einer Datenbank abgespeichert. Der Anwender trifft lediglich die Zusatzwerkstoffauswahl direkt an der Stromquelle; der integrierte Mikroprozessor sorgt für eine stufenlose Leistungsauswahl vom Minimal- bis zum Maximalbereich.

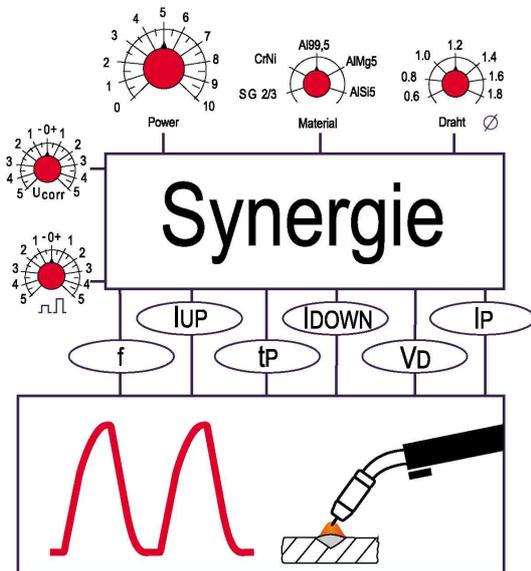


Bild 15: Synergic Betrieb

Transistorisierte MSG Stromquellen bieten dem Anwender eine Fülle von Vorteilen bei den Schweiß- und Zündeigenschaften, bei gleichzeitig einfacher Benutzerführung.



*Bild 16: 450 A Inverterstromquelle mit 60 kHz Taktfrequenz und Synergicbetrieb*

## **2.5 Zünden des MIG-Lichtbogens**

Von besonderer Bedeutung für einen automatisierten Schweißprozeß ist der Zündablauf. Eine besonders interessante Variante ist das spritzerfreie Zünden des MIG-Lichtbogens. Dies ist durch einen drehzahlgeregelten Drahtantrieb, welcher möglichst nahe an der Schweißstelle sitzt und eine entsprechend auf Stromquelle und Drahtantrieb abgestimmte Steuer- und Regelelektronik möglich. Bei dieser Zündvariante wird die Drahtelektrode an das Werkstück geführt bis es zu einer Berührung kommt. Durch die Regelelektronik der Stromquelle wird der Kurzschlußstrom auf einige wenige Ampere begrenzt. Nach erfolgter Berührung wird die Richtung der Drahtelektrode umgekehrt. Beim Abheben vom Werkstück entsteht ein kleiner Lichtbogen. Nun wird die Richtung der Drahtelektrode nochmals umgekehrt. Der Schweißprozeß beginnt mit dem ersten gesteuerten Werkstoffübergang durch Impulstechnik. Der gesamte Vorgang läuft innerhalb von Bruchteilen einer Sekunde ab und ist absolut reproduzierbar. Die Zündung verursacht im Gegensatz zur konventionellen Zündung keine Schweißspritzer.



*Bild 17 : Robacta Drive Brenner zur spritzerfreien Zündung des MIG-Lichtbogens*

## **3. WIG-Schweißen**

### **3.1. WIG-Wechselstromschweißen**

Bei der WIG-Schweißung von Aluminium und dessen Legierungen wird üblicherweise mit Wechselstrom (AC = Alternating Current) gearbeitet.

Um das Grundmaterial (Schmelztemperatur cirka 650°C) aufzuschmelzen, muß zuerst die darüberliegende hochschmelzende Oxydschicht ( $Al_2O_3$ , Schmelztemperatur ca. 2000°C) zerstört werden. Der Reinigungseffekt tritt jedoch nur mit der positiv gepolten Wolframelektrode auf. In der Plusphase des Wechselstromes treten Anionen (positiv geladene Atome) aus dem Pluspol aus, und treffen beschleunigt auf der Oxydschicht auf. Durch die freiwerdende kinetische Energie der auftreffenden Anionen wird die Oxydschicht zerstört (Reinigungseffekt), und in der darauf folgenden Minusphase kann das freigelegte Grundmaterial aufgeschmolzen werden.

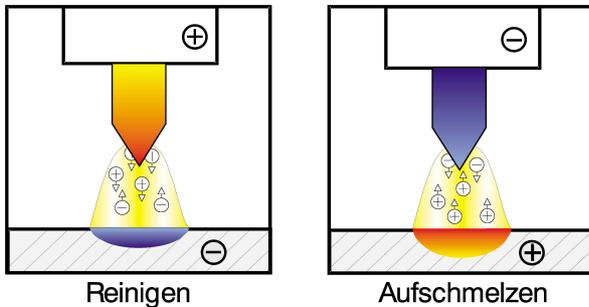


Bild 18 : Der WIG-Wechselstromschweißprozeß mit den periodischen Wirkungen

Beim periodischen Durchlaufen des natürlichen Nulldurchganges des Wechselstroms erlischt für kurze Zeit der Lichtbogen. Das Wiederspüngen erfolgt wahlweise durch Überlagerung von Hochfrequenzzündimpulsen, oder durch steiflankigen, rechteckförmigen Wechselstrom. Beide Methoden haben ihre spezifischen Vor- und Nachteile. Die mit der Stromänderung einhergehende Änderung der Lichtbogensäule verursacht ähnlich einem Lautsprecher eine Emission von Schall. Versuche haben gezeigt, daß verschiedene Schweißstromkurvenformen differenzierte Lärmentwicklungen durch ihre Oberwellen verursachen.

Sinusförmige Ströme sind sehr leise, jedoch ist ein Hochfrequenzimpuls zur Wiederspüngen nach dem Nulldurchgang notwendig. Bei Rechteckstromquellen entfällt diese Überlagerung, allerdings ist eine erhebliche Geräuschentwicklung der Preis für einen stabilen Lichtbogen.

Die Lösung des Problems, nämlich ein stabiler Lichtbogen mit geringer Geräuschentwicklung ist seit langem versucht worden. Mit Hilfe der Fuzzy Logik, einer dem menschlichen Denken nachempfundenen Logikart, und einer ausgefeilten Hardware war es erstmals möglich das Problem einer Lösung zuzuführen.

Durch eine unscharfe Anpassung der Schweißstromkurvenform wird zu jeder beliebigen Stromstärke der physikalisch leiseste Lichtbogen eingestellt. Dies ist insofern von Bedeutung, da für eine ordnungsgemäße Schweißung die akustische Wahrnehmung des Lichtbogengeräusches durch den Schweißler eine zentrale Rolle spielt.

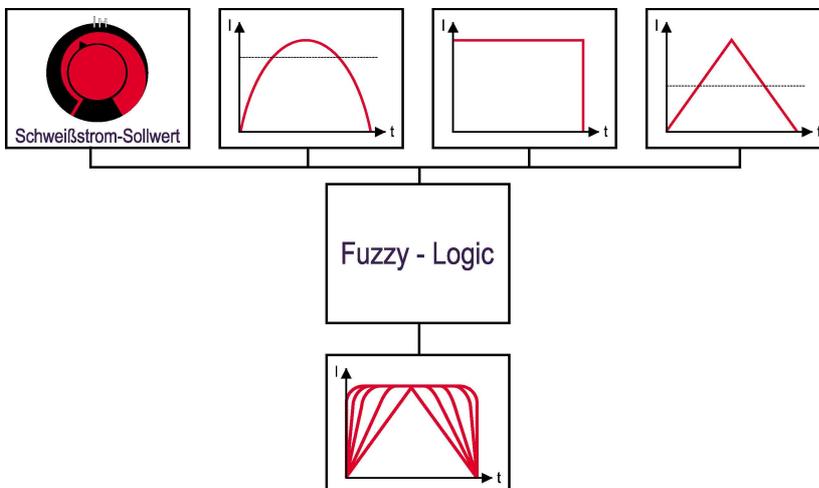


Bild 19: Stufenlose AC-Stromkurvenerzeugung mittels Fuzzy-Logik

Der Lichtbogen der Fronius Magic Wave 2600 liegt im gesamten Strombereich (5 bis 300 Ampere) unter jenem Schallpegelgrenzwert, welcher in den einschlägigen Arbeitsschutzbestimmungen als Untergrenze für die Verwendung eines Gehörschutzes festgelegt ist.



Bild 20: Magic Wave 2600

Ein weiteres Ergebnis dieser Kombination aus Hard- und Software ist der stabile Wechselstromlichtbogen, der auch bei großflächigen Aufschmelzungen von Reinaluminium, oder beim Überschweißen von bestehenden Schweißraupen keine seiner Eigenschaften verliert.

Durch einen hohen Lichtbogendruck, bedingt durch die Form der Lichtbogensäule mit einhergehender geringer Elektrodenbelastung bei den Invertern, wird die Wurzel bei Kehlnähten exakt erfaßt. Dadurch ergibt sich eine bessere Nahtgeometrie und somit ein optimaler Kraftlinienverlauf.



Elektrodentype WC20  
Kalotte Ø3,2  
Material AlMg3 / 5mm  
Balance 0  
Is=185 A Us=15,6 V

Elektrodentype WC20  
Kalotte Ø1,0  
Material AlMg3 / 5mm  
Balance -5  
Is=185 A Us=15,6 V

Bild 21: Vergleich der Wurzel erfassung bei Kehlnähten mit unterschiedlichen Kalottendurchmessern

### 3.2. Zünden des WIG-Lichtbogens

Als ein wesentliches Beurteilungskriterium für Stromquellen sind die Zündeigenschaften des Gerätes zu sehen. Durch die schnelle Stromanstiegsgeschwindigkeit, und die richtige Dosierung der Zündenergie für einen vorgewählten Elektrodendurchmesser, ergibt sich eine sich rasch stabilisierende Zündphase.

Der WIG-Lichtbogen wird üblicherweise berührungslos durch hochfrequente Spannungsimpulse (maximal 10.000 Volt für einige Microsekunden) gezündet. Diese Impulse führen in vielen Fällen zu Störungen in Computersystemen, welche zur Prozeßsteuerung und -überwachung eingesetzt sind. Dieser stark nachteilige Effekt kann durch eine elektronische Hochfrequenz erheblich reduziert werden indem die Anzahl der Hochspannungsimpulse pro Zeiteinheit reduziert wird. Dies ermöglicht die von Fronius entwickelte Hochfrequenzzündeinheit mit einstellbarer Zündwiederholfrequenz.

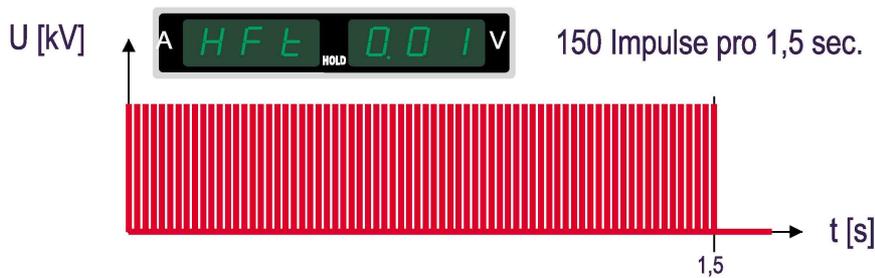
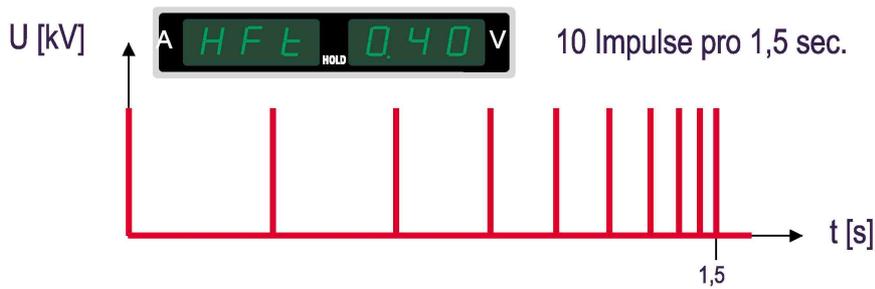


Bild 22: Elektronische Hochfrequenz

Das RPI-Verfahren (Reversed Polarity Ignition), welches nur bei der Fronius Magic Wave 2600 verfügbar ist, verbessert die Zündung des WIG-Gleichstromlichtbogens.

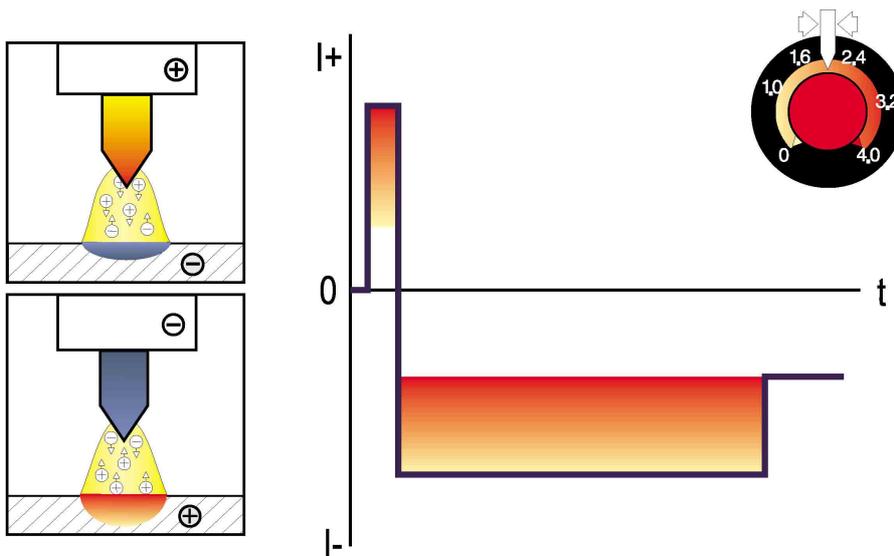


Bild 23: RPI-Zündung

Dabei wird für Bruchteile von Sekunden der Pluspol an die sonst negativ gepolte Wolframelektrode angelegt, und der Aufbau der Lichtbogensäule dadurch erleichtert. Die RPI-Zündung wird bevorzugt in mechanisierten und automatisierten Anwendungen eingesetzt, da gerade bei diesen Einsätzen ein störungsfreier Lichtbogen gefordert ist.

Autor: Mag. Heinz Hackl, Wels Thalheim